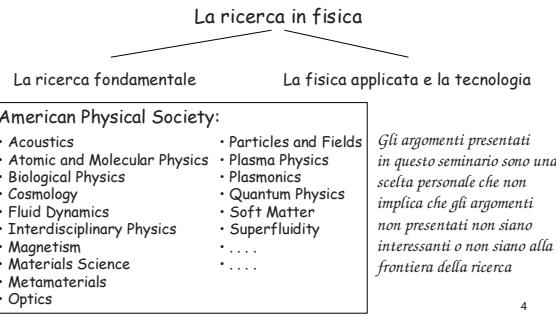


## Seminario 1: Alcuni cenni sulle frontiere della ricerca in fisica



## Seminario 1: Alcuni cenni sulle frontiere della ricerca in fisica

- Le particelle elementari
- L'origine della massa e il bosone di Higgs
- La materia oscura (una particella sconosciuta che costituisce l'80% della materia dell'Universo ?)
- L'energia oscura (il 70% della energia dell'Universo è composta da Energia Oscura, la cui origine è a noi ignota)
- La nanotecnologia
- La fisica nella medicina

Il primo seminario è tenuto a un livello "popolare" con lo scopo di stimolare la curiosità piuttosto che spiegare.

5

## Le particelle elementari

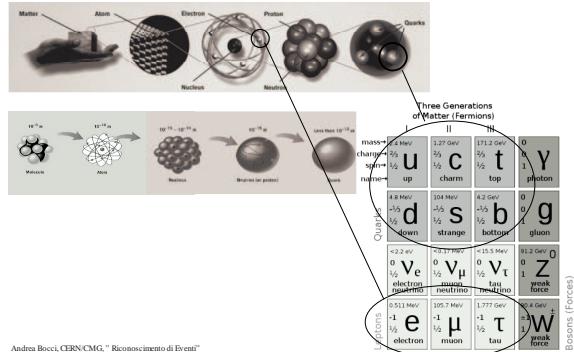
Le particelle elementari sono soggette agli stessi principi fondamentali della fisica che si imparano a scuola:

- "F=ma"
- Causalità (la causa precede l'effetto)
- Conservazione dell'energia (E), quantità di moto (p) e momento angolare (L) (invarianza delle leggi fisiche rispetto a traslazioni spaziali e temporali e rotazioni)
- Princípio della relatività speciale (Einstein)
- Meccanica quantistica (dualità onda-particella, principio di indeterminazione, quantizzazione dei livelli energetici, ecc.)

6

Michelangelo Mangano, CERN, "Introduzione ai principi fondamentali della fisica delle particelle"

## La composizione della materia



## Le particelle elementari

### Particelle del modello standard

Three Generations of Matter (Fermions)		
I	II	III
up	charm	top
down	strange	bottom
u	c	t
d	s	b
electron	muon	tau
neutrino	neutrino	neutrino
0.511 MeV	106.7 MeV	1777 GeV
-1/2 eV	-1/2 MeV	-1/2 GeV
2/3 e	2/3 e	2/3 e
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1	1	1

Andrea Bocci, CERN/CMG, "Riconoscimento di Eventi"

Lo spin:

- In meccanica quantistica ogni particella possiede un spin.
- Il valore dello spin definisce lo stato quantistico.

spin semi-intero "fermioni" Particelle materia solo uno in ogni stato

spin intero "bosoni" Particelle forza più in ogni stato possibile

Meccanica quantistica:

8

## Le particelle elementari

### Particelle "stabili"

#### Leptoni

<2.4 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1	1	1

Stabili (Invisibili)

0.511 MeV	0	0
-1	1/2	1/2
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1	1	1

Stabili

2,2 μs

660 m

Andrea Bocci, CERN/CMG, "Riconoscimento di Eventi"

### Mesoni

2.4 MeV	2.4 MeV	2.4 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

2.4 MeV	2.4 MeV	2.4 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

4.8 MeV	4.8 MeV	4.8 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

4.8 MeV	4.8 MeV	4.8 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

2.4 MeV	2.4 MeV	2.4 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

2.4 MeV	2.4 MeV	2.4 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

2.4 MeV	2.4 MeV	2.4 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

2.4 MeV	2.4 MeV	2.4 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

2.4 MeV	2.4 MeV	2.4 MeV
1/2	1/2	1/2
0	0	0
1/2	1/2	1/2
0	0	0

26 ns  
7,8 m

12 ns  
3,7 m

50 ns  
15 m

Stabile

Barioni

880 s  
1.8 AU

Andrea Bocci, CERN/CMG, "Riconoscimento di Eventi"

## Le particelle elementari

Cosa si studia nella fisica delle particelle elementari

- I costituenti elementari della materia
- Le forze fondamentali che li governano
- L'origine, il contenuto e la struttura dell'Universo
- Esempio di laboratorio: CERN
- Il plasma di quarks e gluoni  
(come diventa la materia nucleare a energie e densità elevatissime?)
- L'asimmetria tra materia e antimateria  
(dove è finita tutta l'antimateria dell'Universo?)
- La supersimmetria  
(forse il Modello Standard è più complicato: c'è un partner supersimmetrico per ogni tipo di particella nota!)
- Le dimensioni dello spazio-tempo  
(forse ci sono più di 3 dimensioni spaziali!)

10

Marco Cirelli, CERN, "Benvenuti al CERN!"

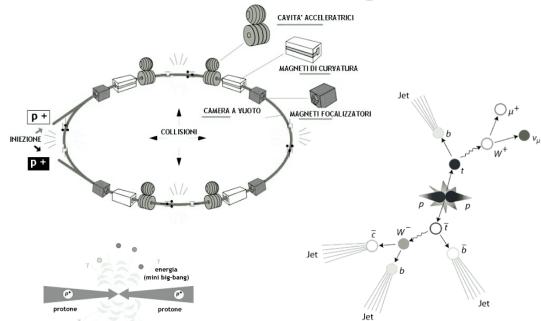
## CERN

- 2256 staff
- ~700 altro personale
- ~9500 utenti
- Budget ~1400 milioni di euro



Marco Cirelli, CERN, "Benvenuti al CERN!"

## CERN



12

Marco Cirelli, CERN, "Benvenuti al CERN!"

## Le particelle elementari: grandezze fondamentali

### Mass:

- Composite particles  $\rightarrow$  dynamical origin, calculable:  $M=E/c^2$ ,  $E=T+U$
- Fundamental particles  $\rightarrow$  assigned parameter; origin ???

### Charge:

- Which type (electric, weak, strong)?
- Are there other charges?? What is the origin of charge??

### Spin (intrinsic angular momentum):

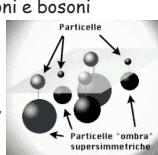
- Integer  $\rightarrow$  bosons, Semiinteger  $\rightarrow$  fermions
- Origin??
- Pauli principle (two identical fermions cannot occupy the same quantum state) at the origin of matter stability and diversity

13

Michelangelo Mangano, CERN, "Introduzione ai principi fondamentali della fisica delle particelle"

## Le particelle elementari: La Supersimmetria

- La supersimmetria è una simmetria tra fermioni e bosoni
- Associa una particella bosonica ad ogni particella fermionica e viceversa.
- Fino ad ora non è mai stata individuata sperimentalmente una particella supersimmetrica,
- La supersimmetria, se esiste, deve essere una simmetria rotta così da permettere che i superpartners possano avere una massa maggiore delle corrispondenti particelle presenti nel Modello Standard.
- In alcune versioni, collega particelle ordinarie con il gravitone  $\Rightarrow$  spiega la coesistenza della forza di gravità con le altre forze!



Michelangelo Mangano, CERN, "Introduzione ai principi fondamentali della fisica delle particelle"  
<http://it.wikipedia.org/wiki/Supersimmetria>

14

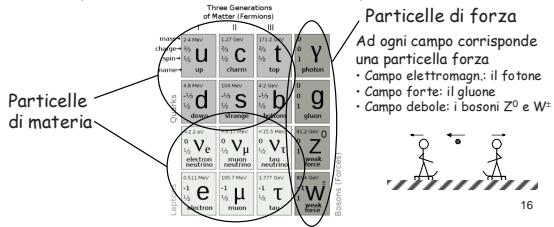
## L'origine della massa e il bosone di Higgs

15

## L'origine della massa e il bosone di Higgs

La descrizione delle particelle elementari e delle loro interazioni è basata su modelli matematici molto complessi.

Il modello attualmente accettato si chiama "Il Modello Standard" ed è una teoria di campi che contiene i modelli "Quantum Electro Dynamics (QED)" e "Quantum Chromo Dynamics (QCD)".

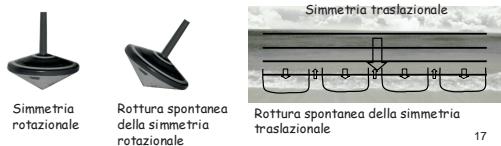


## L'origine della massa e il bosone di Higgs

I modelli matematici sono basati su simmetrie:

- Invarianza rispetto a trasformazioni temporali (conservazione dell'energia)
- simmetria di traslazione (conservazione della quantità di moto)
- simmetria di rotazione (conservazione del momento angolare)
- ...
- Parity (space inversion)
- Time-reversal (reversal of motion)
- ...
- Gauge symmetry (ad es:  $V \rightarrow V + k$ , ma  $E = -dV/dx$  non cambia)

Rottura spontanea di una simmetria:

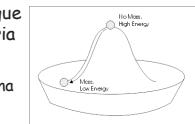


## L'origine della massa e il bosone di Higgs

Nel costruzione del modello standard segue dalle simmetrie che le particelle di materia (i leptoni), non hanno massa.

Con la proposta di una rottura spontanea di una gauge symmetry le equazioni del modello possono essere riscritte in forma che può essere interpretata:

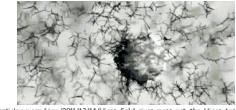
- Un nuovo campo (il campo di Higgs)
- Le particelle di materia acquistano massa tramite interazione con il campo di Higgs



È una costruzione teorica o ha qualcosa a che fare con la realtà?

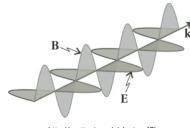
## L'origine della massa e il bosone di Higgs

Il campo di Higgs è come un mezzo continuo in cui l'universo è immerso. Le particelle, interagendo con esso, acquistano l'inerzia caratteristica delle particelle con massa.



La luce che si propaga in un mezzo "rallenta" a causa delle continue interazioni col mezzo stesso

Il tempo necessario per attraversare il mezzo è maggiore che se la luce attraversasse il vuoto



$$\Rightarrow c_{\text{medium}} < c_{\text{vacuum}}$$

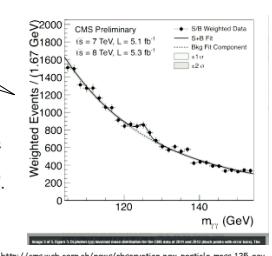
Michelangelo Mangano, CERN. "Introduzione ai principi fondamentali della fisica delle particelle"

## L'origine della massa e il bosone di Higgs

È una costruzione teorica o ha qualcosa a che fare con la realtà?

Se esiste il campo di Higgs dovrebbe esistere anche la particella-forza associata con il campo.

Di-photon ( $\gamma\gamma$ ) invariant mass distribution for the CMS data of 2011 and 2012



L'osservazione della particella di Higgs conferma l'interpretazione della rottura spontanea di una simmetria e il modello standard.

## L'origine della massa e il bosone di Higgs

Domande aperte:

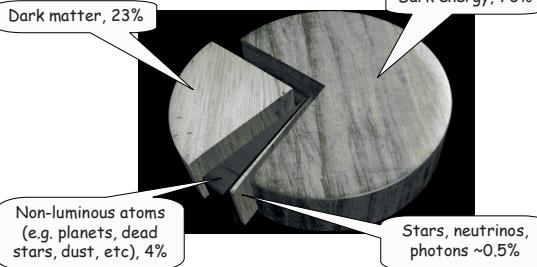
- Che cos'è la massa?
- Implicazioni per le teorie della gravitazione?
- Implicazioni per la materia oscura?
- Implicazioni per l'energia oscura?
- La dualità onda-particella
- ...
- ...

## La materia oscura

22

## La materia oscura

L'universo contiene molta più materia di quella che interagisce con l'interazione elettromagnetica



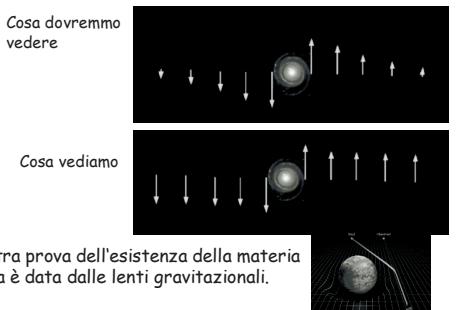
23

Michelangelo Mangano, CERN, "Introduzione ai principi fondamentali della fisica delle particelle"

## La materia oscura

Un'importante evidenza osservativa della necessità della materia oscura fu fornita dalle curve di rotazione delle galassie a spirale

Wikimedia



Antonio Riotto, CERN, "Dall'Infinitamente Piccolo all'Infinitamente Grande"

24

Un'altra prova dell'esistenza della materia oscura è data dalle lenti gravitazionali.

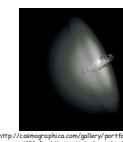
## La materia oscura

La massa oscura è divisa in barionica e non barionica:

- La materia oscura barionica è quella composta da materia del tutto simile a quella che costituisce le stelle, i pianeti, la polvere interstellare, ecc., che però non emette radiazioni;
- La materia oscura non barionica è composta da materia intrinsecamente diversa e non ancora scoperta.

WIMPs

Particelle supersimmetriche  
Assioni



http://canisgraphica.ca/gallery/portfolios/2007/content/A01\_DarkMatterHalo\_spiral.html



Le galassie mostrano segni di essere composte da un grande alone di materia oscura con la materia visibile concentrata in un disco al centro dell'alone

http://chandra.xray.mit.edu/25\_gal.html

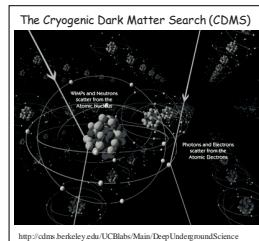
## La materia oscura: WIMPs

WIMP, che sta per Weakly Interacting Massive Particle, indica un'ipotetica particella

- dotata di massa,
- interagisce debolmente con la materia normale
  - solo tramite la gravità
  - e la forza nucleare debole.

È un acronimo utilizzato in Cosmologia Standard per indicare le caratteristiche del candidato ottimale di Materia Oscura non barionica.

Wikimedia



http://cdms.berkeley.edu/UCBabs/Main/DeepUndergroundScience

26

Antonio Riotto, CERN, "Dall'Infinitamente Piccolo all'Infinitamente Grande"

## La materia oscura: Assioni

L'assione è una ipotetica particella elementare.

Secondo previsioni teoriche, l'assione

- non ha carica elettrica,
- ha massa molto piccola, compresa tra  $10^{-6}$  e  $10^{-2}$  eV/c<sup>2</sup>,
- non ha spin,
- interagisce con la materia ordinaria (elettroni, protoni, ecc...) solo molto debolmente, ragione per cui è considerato una particella praticamente invisibile

Come dimostrato da Gerardus t'Hooft, senza l'introduzione degli assioni le equazioni della cromodinamica quantistica predicono che in alcuni casi l'interazione nucleare forte possa violare sia la simmetria di carica sia quella di parità

27

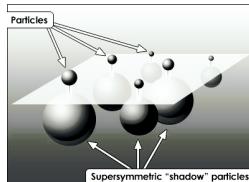
Antonio Riotto, CERN, "Dall'Infinitamente Piccolo all'Infinitamente Grande"

## La materia oscura: Neutralino

Il neutralino è una ipotetica particella supersimmetrica.

Il neutralino è la particella supersimmetrica stabile più leggera.  
• È un fermione  
• Ha una massa  $\sim 10-10000$  GeV/ $c^2$   
( $m_{\text{protone}} = 1$  GeV/ $c^2$ )

wikipedia



<http://www.particleadventure.org/supersymmetry.html>

28

## La materia oscura

Una minoranza di ricercatori non considera soddisfacente l'ipotesi della materia oscura come spiegazione degli effetti osservati.

In maggioranza queste teorie sono basate su una gravitazione modificata, sostituendo le leggi di Newton e Einstein.

Antonio Riotto, CERN, "Dall'Infinitamente Piccolo all'Infinitamente Grande"

29

## L'energia oscura

### 1998: i cosmologi trovano evidenza che l'Universo accelera!

- Osservazioni di supernovae di tipo Ia  
Standard candles: measure distance by analyzing how dim they appear.  
Analyzing redshift (doppler effect)  $\Rightarrow$  velocity



<http://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy/>

30

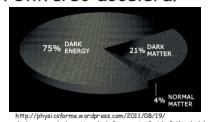
## L'energia oscura

1998: i cosmologi trovano evidenza che l'Universo accelera!

Per spiegare l'accelerazione dell'Universo dobbiamo ipotizzare l'esistenza della ENERGIA OSCURA che contribuisce al 70% della energia dell'Universo

Il 70% della energia dell'Universo è composta da Energia Oscura, la cui origine è a noi ignota

Antonio Riotto, CERN, "Dall'Infinitamente Piccolo all'Infinitamente Grande"



<http://physicsoftheuniverse.com/2011/08/15/dark-energy-dark-matter-dark-force-reality-trials-of-the-dark/>

### What Is Dark Energy?

More is unknown than is known. We know how much dark energy there is because we know how it affects the Universe's expansion. Other than that, it is a complete mystery.

<http://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy/>

31

## L'energia oscura

1998: i cosmologi trovano l'evidenza che l'Universo accelera!

- la radiazione cosmica di fondo,
- l'età dell'universo,
- le abbondanze degli elementi dovute alla nucleosintesi primordiale,
- la struttura a grande scala dell'universo e le misurazioni del parametro di Hubble

[http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=energia\\_oscura](http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=energia_oscura)  
[http://hubblesite.org/hubble\\_dark\\_energy/dark\\_type1a\\_supernovae.php](http://hubblesite.org/hubble_dark_energy/dark_type1a_supernovae.php)



[http://hubblesite.org/hubble\\_dark\\_energy/dark\\_type1a\\_supernovae.php](http://hubblesite.org/hubble_dark_energy/dark_type1a_supernovae.php)

32

## L'energia oscura

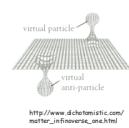
Principali forme proposte di energia oscura

### Costante cosmologica

simile, qualitativamente, ad una forza antigravitazionale su larga scala  
Un volume di spazio possiede un'energia intrinseca e fondamentale, chiamata energia del vuoto. Dato che quest'energia è una proprietà dello spazio stesso, non viene diluita quando lo spazio si espande. Mano a mano che più spazio viene ad esistere, più di quest'energia appare. Come risultato di quest'energia l'universo si espande sempre più velocemente.

### Teorie quantistiche dei campi

In questa teoria lo "spazio vuoto" è pieno di particelle virtuali che si creano e si annullano continuamente in piccoli intervalli di tempo. Ma la maggior parte delle teorie quantistiche dei campi prevedono un valore troppo grande per l'energia oscura,  $10^{122}$  volte troppo grande!



[http://www.dchamonic.com/matter\\_inuniverse.html](http://www.dchamonic.com/matter_inuniverse.html)

[http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=energia\\_oscura](http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=energia_oscura)

33

## L'energia oscura

Principali forme proposte di energia oscura

- **Quintessenza**

Un nuovo tipo di campo, o fluido dinamico, di energia. Qualcosa che riempie tutto lo spazio e che ha un effetto opposto sull'espansione dell'universo rispetto alla materia e energia normali. Non ci sono prove dell'esistenza della quintessenza attualmente e non sappiamo com'è, con cosa interagisce o perché esiste. Ma non può essere eliminata a priori

[http://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_dark](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_dark)  
<http://science.nasa.gov/astrophysics/focus/cur/whatisdarkenergy/>

- **Altre ipotesi**

L'energia oscura e l'accelerazione cosmica siano prova di un fallimento della relatività generale su grande scala.

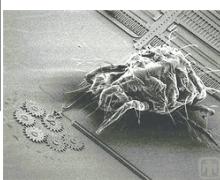
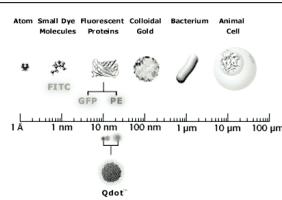
34

## Nanotecnologia

35

## Nanotecnologia

La nanotecnologia è un ramo della scienza applicata e della tecnologia che si occupa del controllo della materia su scala dimensionale tra circa 0,1 e 100 nanometri



Quanti atomi possono stare in un oggetto con un lato di 10 nm?  
circa  $100 \cdot 100 \cdot 100 = 10^9$

36

## Il futuro Fantascienza o realtà?

Foto: <http://www.nanorobodesign.com/>



Nano robot

Auto-assemblaggio e autoreplicazione

Migliorare le prestazioni del corpo umano?

- Migliorare la vista
- Migliorare la memoria
- Comunicazione

37

## L'inizio della Nanotecnologia

Discorso tenuto da Richard Feynman nel 1959, intitolato "There is plenty of room at the bottom"

As seen as I mention this, people tell me about miniaturization, and I say to them, it has progressed today. They tell me about electric motors that are the size of the nail on your small finger. And there is a device on the market, they tell me, by which you can write the Lord's Prayer on the head of a pin. I say that is not the direction I want to go. I want to go in the direction I tried to discuss. It is a staggeringly small world that is below. In the year 2000, when they look back at this age, they will wonder why it was not until the year 1959 that anybody began seriously to move in this direction.

Richard P. Feynman, 1959

This image was written using Dip-Pen Nanolithography, and imaged using lateral force microscopy mode of an atomic force microscope. [Mirkin Group, Northwestern University](#).

38

## L'inizio della Nanotecnologia

Il discorso da Richard Feynman il 29 dicembre 1959 "There is plenty of room at the bottom"



Come possiamo fabbricare oggetti in scala nm?

I metodi consistevano nel progettare una serie di macchine utensili in scala 1:10, quindi utilizzarli per sviluppare e controllare la generazione successiva di utensili, in scala 1:100, e così via.

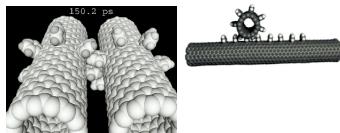
39

## La nanotecnologia

Nella nanotecnologia i confini tra tecnologia, fisica, chimica e biologia vengono cancellati.

La nanoscienza comprende un mondo di atomi, molecole, macromolecole, atomi artificiali e come questi oggetti possono essere assemblati per formare delle strutture e delle funzioni

Progettare e costruire con gli atomi



[http://people.nas.nasa.gov/~globus/papers/MGMS\\_EC1/simulation/data](http://people.nas.nasa.gov/~globus/papers/MGMS_EC1/simulation/data)

40

## Motivi per lo sviluppo della nanotecnologia

- Produrre componenti sempre più piccoli nel settore dell'elettronica e informatica
  - Componenti più veloci
  - Componenti che consumano meno energia
  - Più memoria
  - Componenti con delle proprietà particolari
- Fabbricazione di materiali particolari
  - Materiali forti
  - Materiali autopulenti
- Creare strumenti e utensili che possono studiare fenomeni a livello molecolare, ad esempio nella medicina.
- Medicina e sanità.

## La nanotecnologia: Fondi

La nanotecnologia è uno dei settori che riceve più risorse nel mondo.

Anno 2005, gli USA hanno investito circa \$1 000 000 000 nella nanotecnologia, mentre il totale investito nel mondo era circa \$2 000 000 000.

Oggi ci sono circa 20 000-30 000 ricercatori nella nanotecnologia nel mondo.

Si stima che entro 10-15 anni saranno impiegate circa due milioni di persone nel settore nel mondo.

42

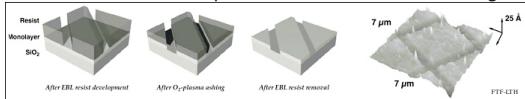
## La nanotecnologia: Applicazioni

La grande commercializzazione della nanotecnologia sta ancora nel futuro.

Però, esistono già tante applicazioni:

- Electronics and optronics
- Biomedicin
- Cosmetics
- Energy production
- Catalystors
- Improved surface properties for different materials
- Vestiti più forti
- Vestiti che non si sporcano
- Finestre autopulenti
- Materiali plastici che conducono elettricità
- Nanocristalli nella medicina

Fabbricazione di nanosuperficie adatte a molecole biologiche



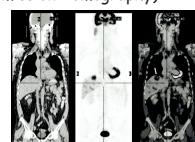
## La fisica nella medicina

44



## La fisica nella medicina Diagnostica per immagini

- Ecografia - ultrasuoni
- Radiografia - raggi X
- Tomografia a risonanza magnetica (Magnetic Resonance Imaging, MRI)
- Tomografia a emissione di positroni (PET Positron Emission Tomography)
- ...
- ...



La fisica dell'apparecchio medico?  
Come trasformare il segnale fisico in un'immagine del corpo

45

## PET Positron Emission Tomography

- Iniezione di un radiofarmaco, legato chimicamente a una molecola attiva a livello metabolico.
- Tempo di dimezzamento, come  $^{11}\text{C}$  (~20 min),  $^{13}\text{N}$  (~10 min),  $^{15}\text{O}$  (~2 min) e  $^{18}\text{F}$  (~110 min).
- Il soggetto viene posizionato nello scanner.
- L'isotopo di breve vita media decade, emettendo un positrone.
- Il positrone si annichila con un elettrone, producendo una coppia di fotoni gamma entrambi di energia 511 KeV emessi in direzioni opposte tra loro.
- Questi due fotoni sono rilevati simultaneamente.
- Si può ricostruire l'ipotetica posizione del corpo da cui sono stati emessi,

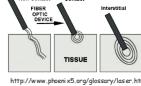


[http://it.wikipedia.org/wiki/Tomografia\\_a\\_emissione\\_di\\_positroni](http://it.wikipedia.org/wiki/Tomografia_a_emissione_di_positroni)

## La fisica nella medicina

### Terapie

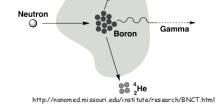
- Laser



- Adroterapia

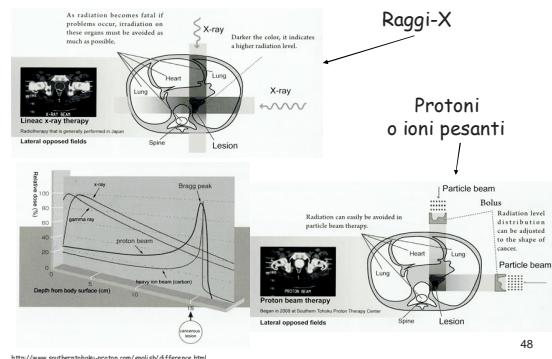


- Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



47

## Adroterapia per tumori



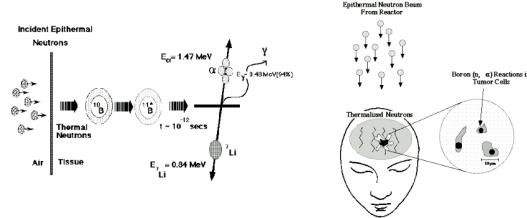
48

## Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)

La BNCT sfrutta l'azione sinergica di due componenti:

- l'isotopo stabile  $^{10}\text{B}$  che viene concentrato nelle cellule cancerogene
- un raggio di neutroni a bassa energia.

<http://lan.chunis.it/didattica/informatica/BNCT/BNCT.html>



49