



# Einstein in the 21st Century

## Introduzione alla fisica delle particelle



- **Un po' di storia**
- **Il Modello Standard: particelle e forze**
- **Uno sguardo su una recente scoperta**

Padova 14 Dicembre 2004

*Patrizia Azzi*



- La Fisica delle particelle affronta le domande fondamentali della storia del pensiero:

- Come funziona l'Universo?
- Da dove viene?
- Dove va?

- Quali sono i componenti ultimi della materia?
- Come “si muovono”?
- Che cosa “li muove”?

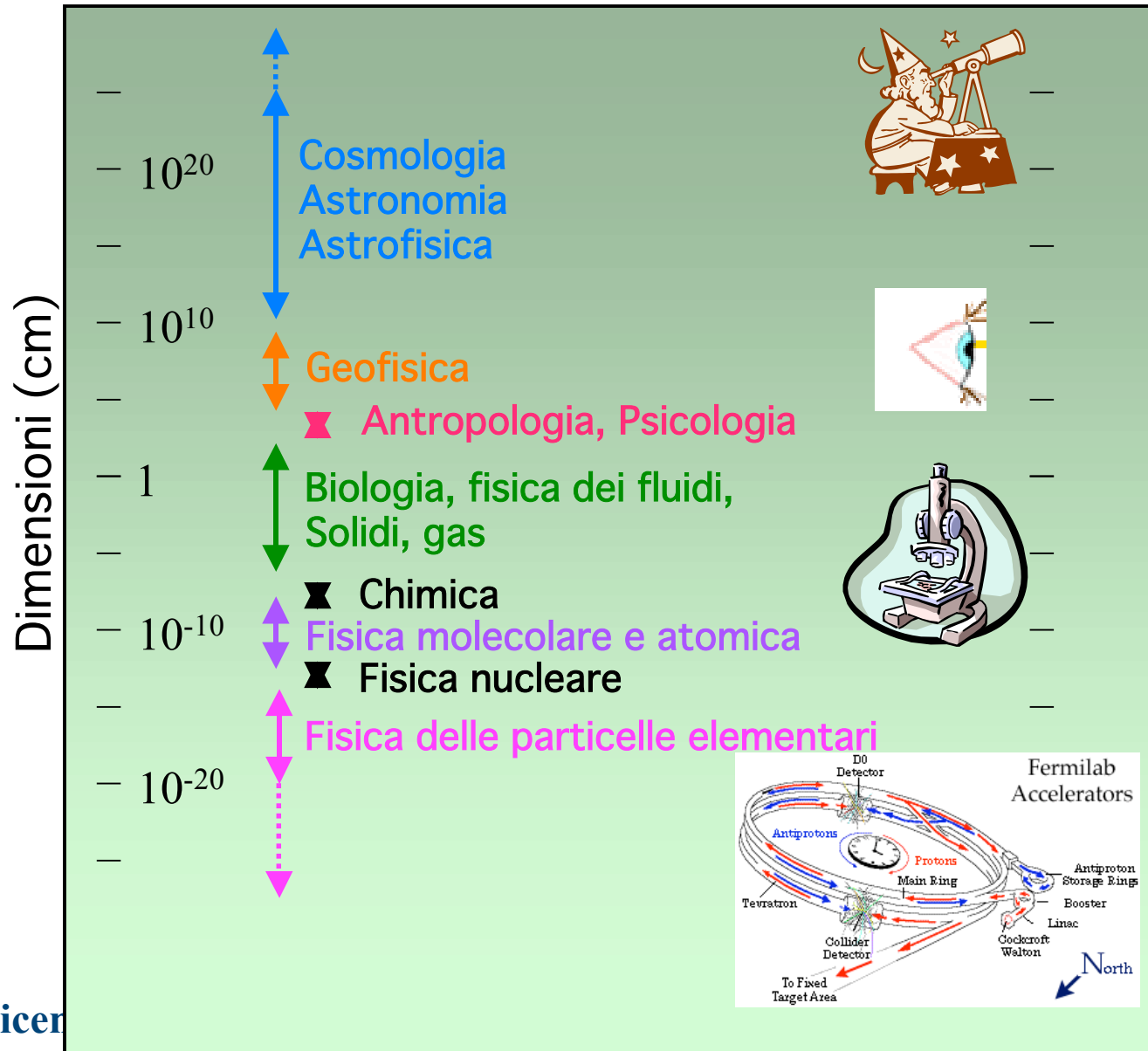


- *La Fisica delle Particelle non e' solo una classificazione "zoologica" delle particelle esistenti in Natura, bensì' aspira a comprendere il motivo della loro esistenza e le regole che le governano*
- Molti altri rami della Fisica sono quindi riconducibili ad essa:
  - La **comprensione del Big Bang** passa attraverso la comprensione della gravita' quantistica ossia la spiegazione del comportamento della Natura quando i campi gravitazionali hanno intensita' confrontabili alle forze nucleari
  - La **comprensione della struttura a larga scala dell'Universo** (Inflazione, Costante Cosmologica) andra' ricercata nella teoria finale unificata e nello spettro di particelle che la compongono



# Einstein in the 21st Century

## Un confronto dimensionale



Padova 14 Dicem





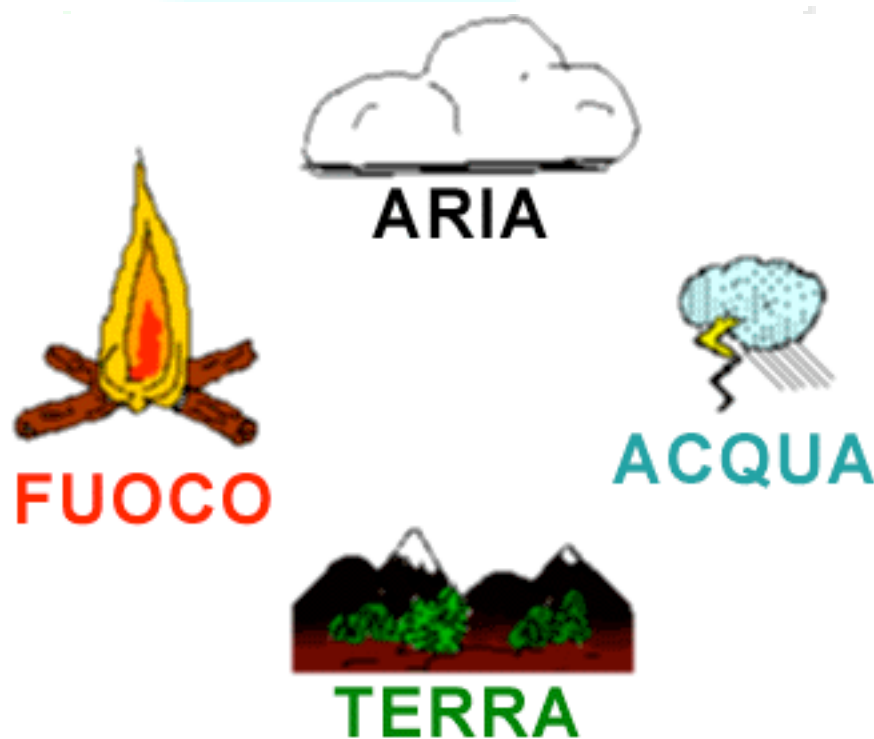
- L'uomo è giunto a capire che la materia è in realtà un agglomerato di pochi elementi fondamentali, che costituiscono tutto il mondo della natura.
- La parola "**fondamentale**" è una parola chiave:
  - Per elementi fondamentali noi intendiamo oggetti che sono semplici e privi di struttura interna (cioe' non composti da qualcosa di più piccolo)

•Domande:

- Esistono mattoni fondamentali?
- Quali sono I mattoni fondamentali?
- Come interagiscono?
- Come determinano le proprieta' dell'Universo?



Nell'antichità l'uomo pensava che ogni cosa nel mondo fosse un composto dei quattro elementi:





- Circa 2500 anni fa i filosofi greci cominciarono a chiedersi: “di cosa e’ fatto il mondo?” e a cercare risposte usando la logica anziche’ la religione
  - Talete di Mileto (600 AC): acqua...
  - Anassimene: aria...
  - Pitagora: numeri...
  - Eraclito: fuoco...
  - Empedocle:
    - Quattro elementi: Acqua, aria, terra, fuoco
    - Uniti o separati da forze “moralì” (amore e odio)...
  - Democrito (~400 AC):
    - Tutto costituito da particelle invisibili e indivisibili: atomi
    - Hanno peso e forma diversa e si combinano a formare nuove sostanze





# Einstein in the 21st Century

## L'atomo e' fondamentale?



- Alchimia → Chimica (1780 → 1870)
  - Classificazione degli atomi in base alle proprietà chimiche
  - Evidenza di una “periodicità” (Mendeleev)
  - Indicazioni di una struttura comune degli elementi

**ELEMENTS**

Hydrogen	1	Strontian	46
Azote	5	Barytes	68
Carbon	5	Iron	50
Oxygen	7	Zinc	56
Phosphorus	9	Copper	56
Sulphur	13	Lead	90
Magnesia	20	Silver	190
Lime	24	Gold	190
Soda	28	Platina	190
Potash	42	Mercury	167

**La Tavola Periodica**

1	2																	10
1	2																	10
3	4																	10
11	12																	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113						

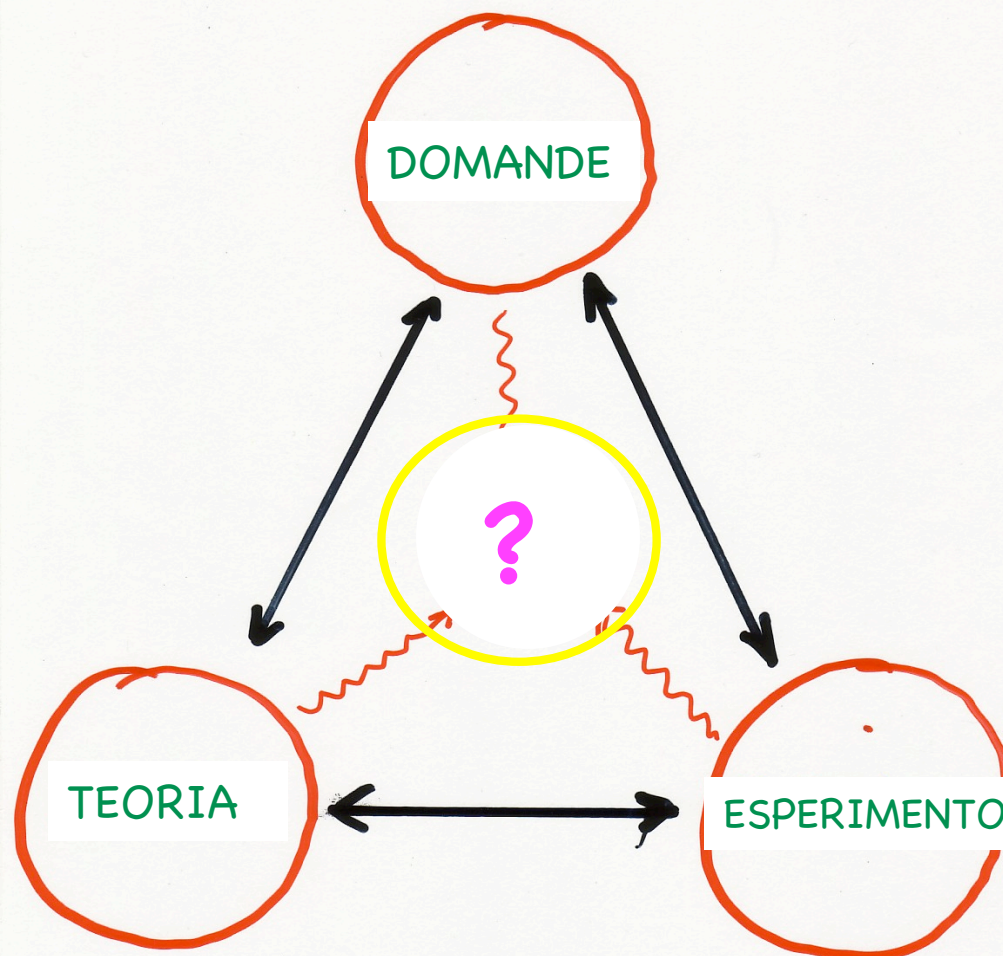
\* Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

+ Actinide Series

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr





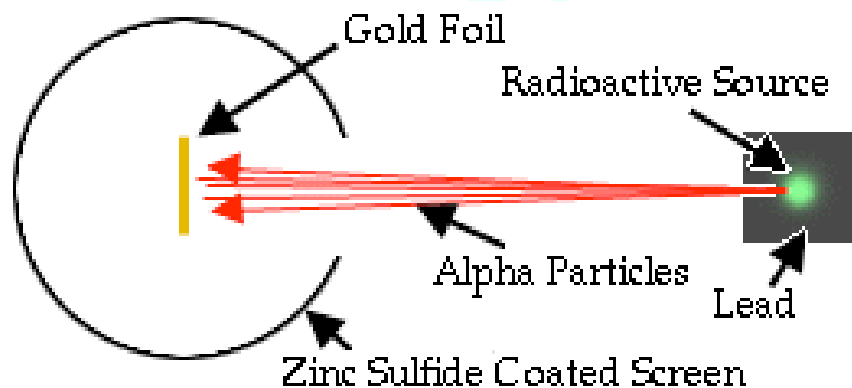
- Ricorriamo all'**esperimento**:
  - si guarda dentro l'atomo, usando particelle come sonde
  - L'atomo ha una struttura interna, e non e' una semplice "pallina" permeabile



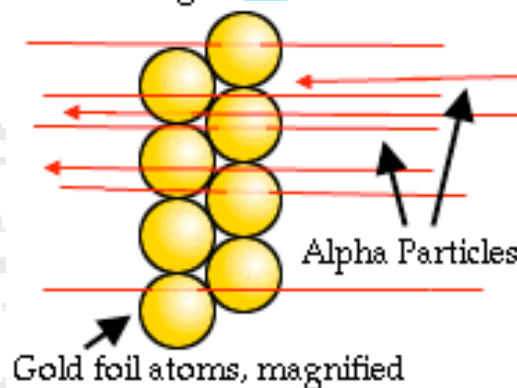
# Come si guarda dentro la materia?

Rutherford (~1910) – classico esperimento bombardamento di particelle su bersaglio (foglio d'oro)

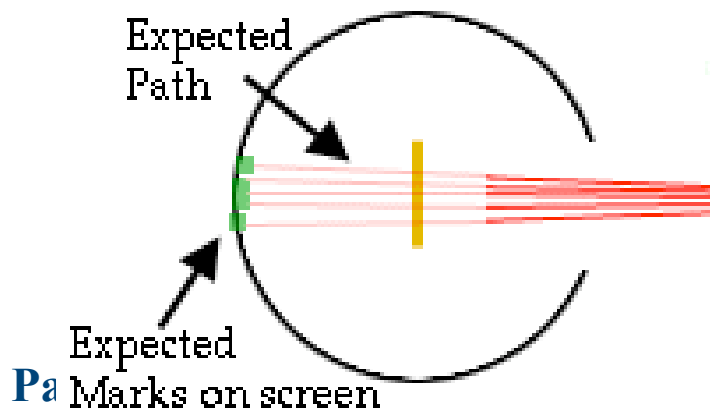
## Esperimento di Geiger & Marsden



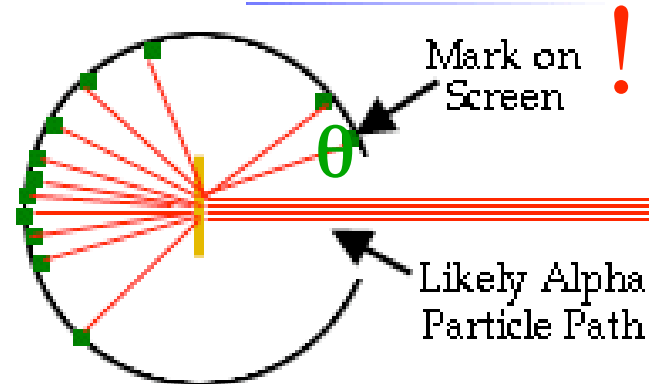
### Detail of Gold Foil According to old Atom Model



### The Predicted Result:



### Result:



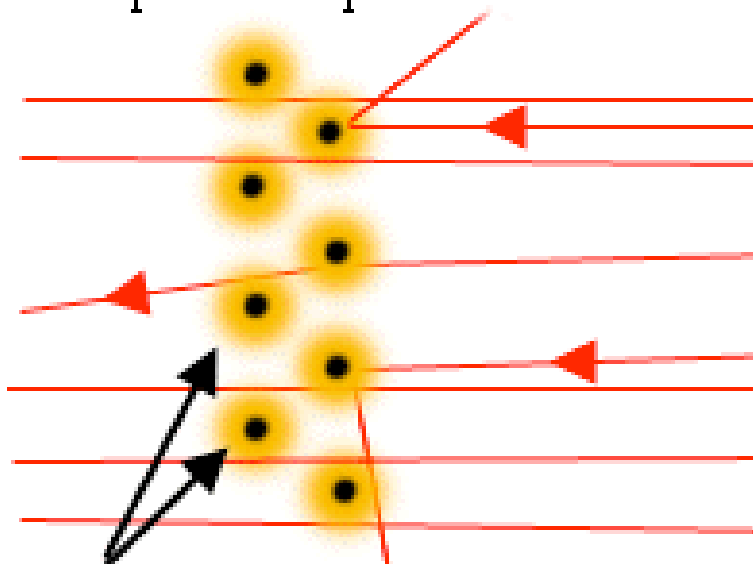
Patrizia Azzi



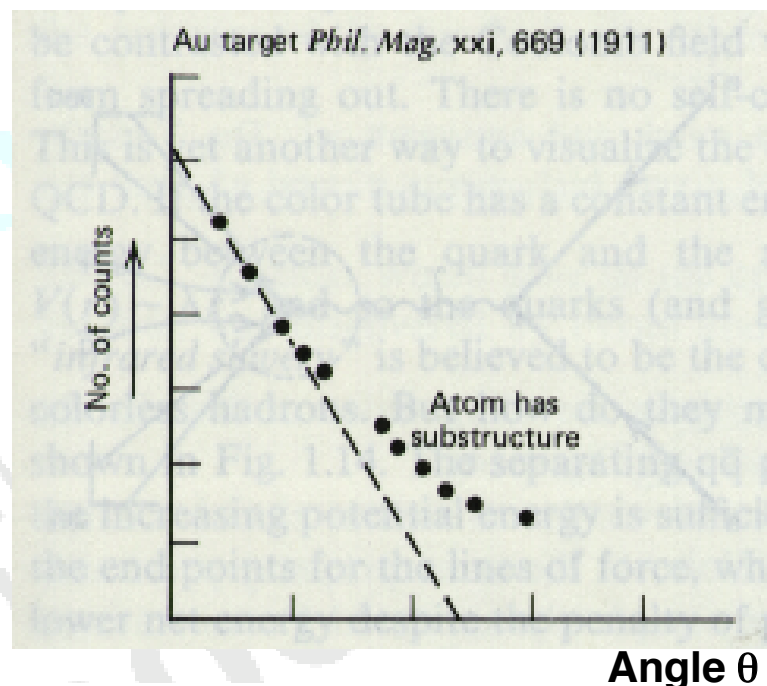


# Modello atomico di Rutherford

### The Positive Nucleus Theory Explains Alpha Deflection



Gold Foil Atoms, magnified



### Conclusione

L'atomo contiene un nucleo di carica positiva di dimensione

$< 10 \text{ fm}$  [1 fm =  $10^{-13} \text{ cm}$ ]

0.000,000,000,000,1 cm



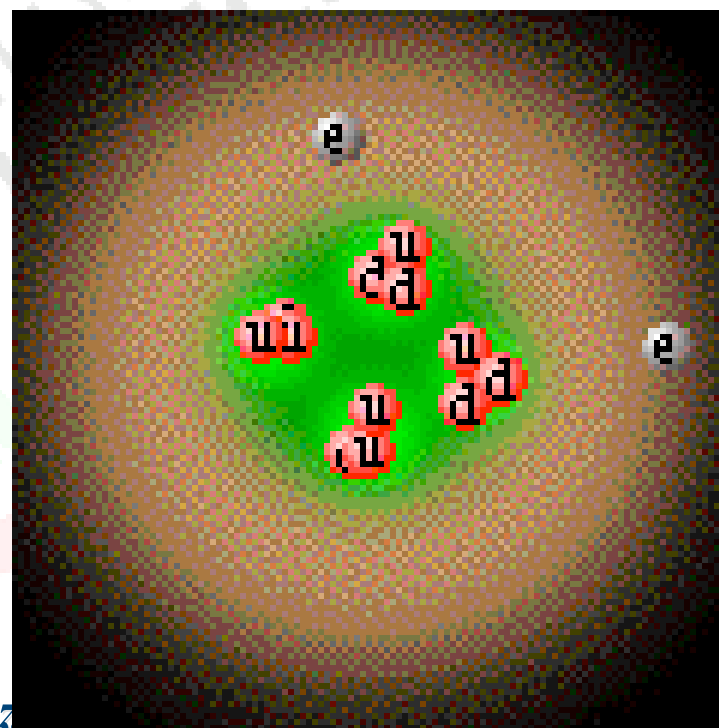
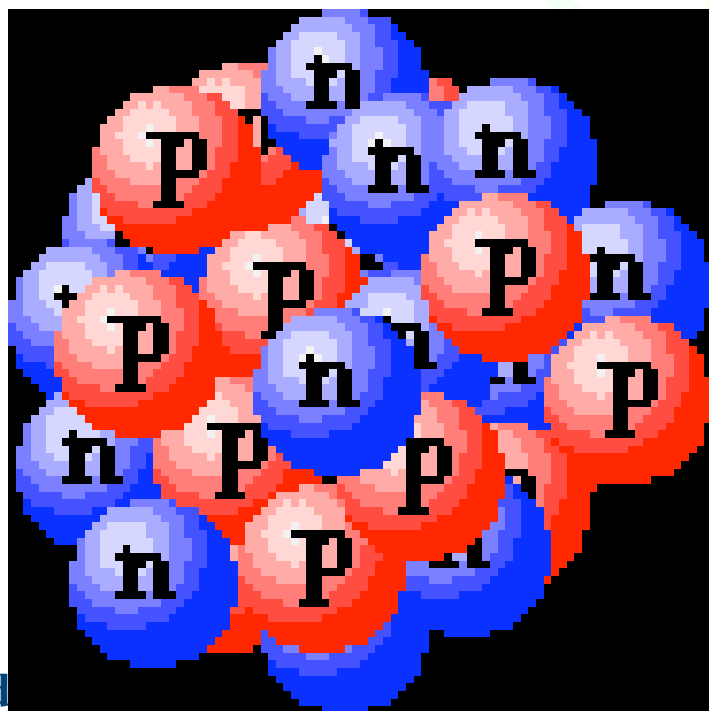
# Einstein in the 21st Century

## Il nucleo e' fondamentale?



- Il **nucleo** e' composto di protoni(carica elettrica positiva) e di neutroni (privi di carica elettrica)
- Anche i **protoni** e i **neutroni** hanno una struttura: sono composti da particelle fondamentali chiamate quark.

*Ma per vedere questo ci vuole ancora un po' di tempo...*

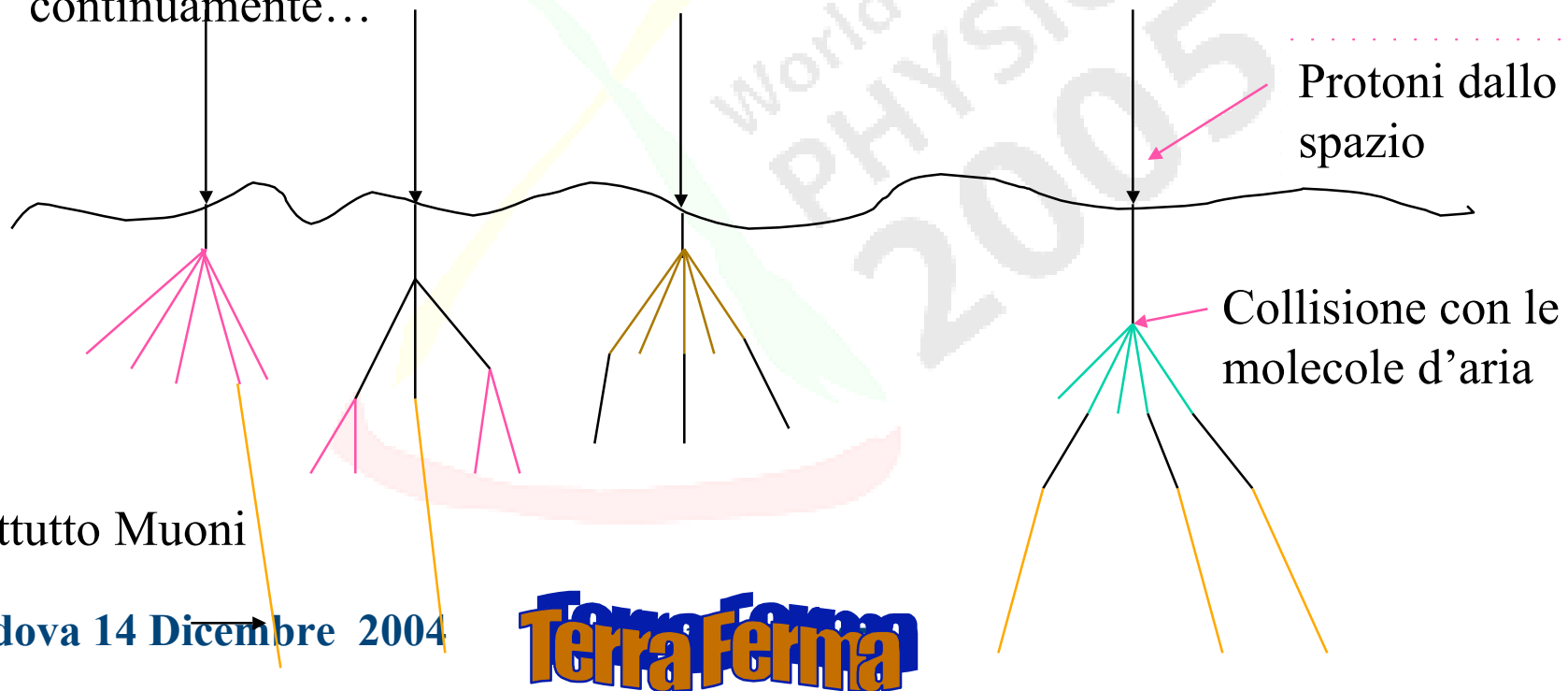




# Una sorgente naturale di particelle

- I fisici delle particelle scoprirono ben presto che in natura vi era una copiosa sorgente di particelle di alta energia: *i raggi cosmici*

I raggi cosmici sono particelle cariche di alta energia, soprattutto protoni, che provengono dallo spazio e arrivano fino alla superficie atmosferica della terra. Collisioni fra raggi cosmici e molecole di aria avvengono continuamente...



Soprattutto Muoni

Padova 14 Dicembre 2004

Terra Terra  
**Terra Fermo**



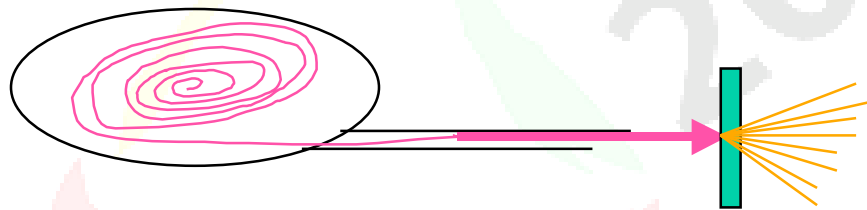
# Einstein in the 21st Century

## L'”epslosione” delle particelle



- Lo studio delle interazioni dei raggi cosmici porto' alla scoperta di un grande numero di nuove particelle:
  - 1931 - Il positrone ( $e^+$ )
  - 1936 - il muone ( $m$ )
  - 1947 - Pioni, kaoni, iperoni

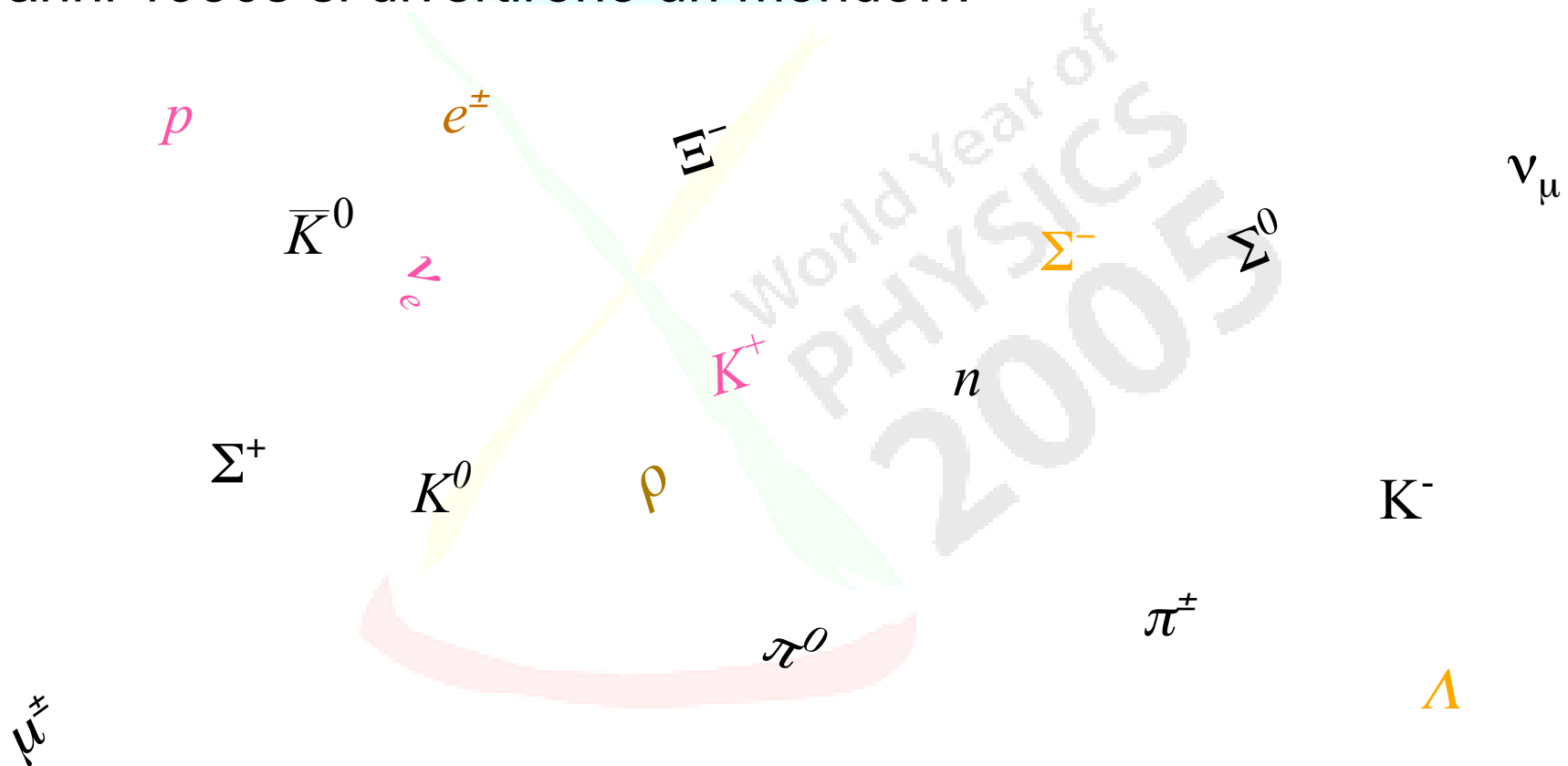
Nello stesso tempo Ernest Lawrence imparava a costruire acceleratori di particelle in laboratorio...



Ottenendo intensita' molto piu' grandi che nei raggi cosmici!



Con i nuovi acceleratori di particelle e nuovi rivelatori (camera a bolle) a disposizione i fisici delle particelle negli anni 1950s si divertirono un mondo...

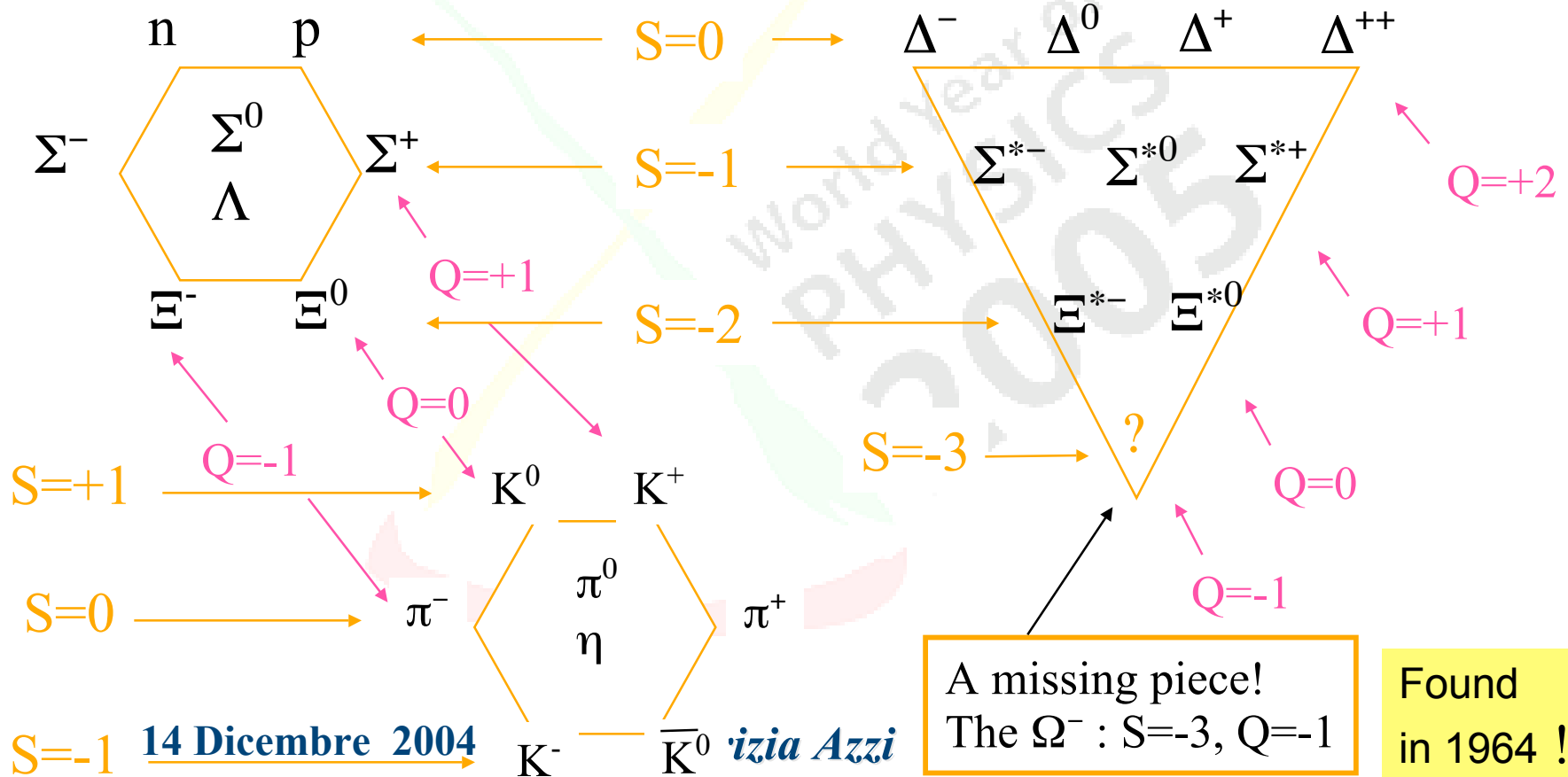


Padova 14 Dicembre 2004

Patrizia Azzi



Nel 1961 Gell-Mann & Ne'eman ebbero per la fisica delle particelle lo stesso ruolo di Mendeleev 100 anni prima con gli atomi "fondamentali"







# Einstein in the 21st Century

## Ordine $\Rightarrow$ Costituenti fondamentali



- Proprio come l'ordine della tavola periodica era dovuto ai tre componenti fondamentali, così Gell-Mann e Zweig proposero che tutti gli "adroni" fossero costituiti da tre oggetti che vennero chiamati "quarks"

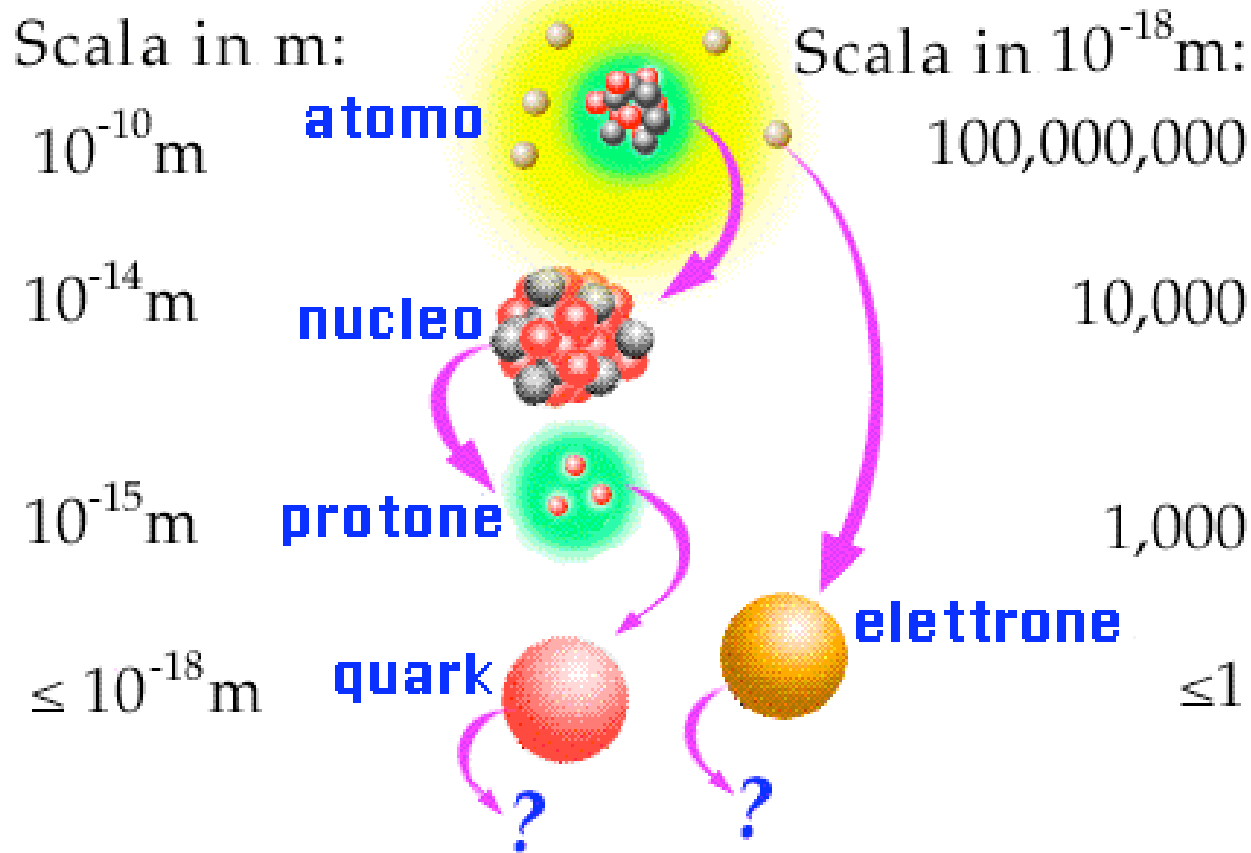
UP

DOWN

Strange

I quark hanno cariche elettriche pari a  $2/3$ ,  $-1/3$ .  $-1/3$  della carica dell'elettrone

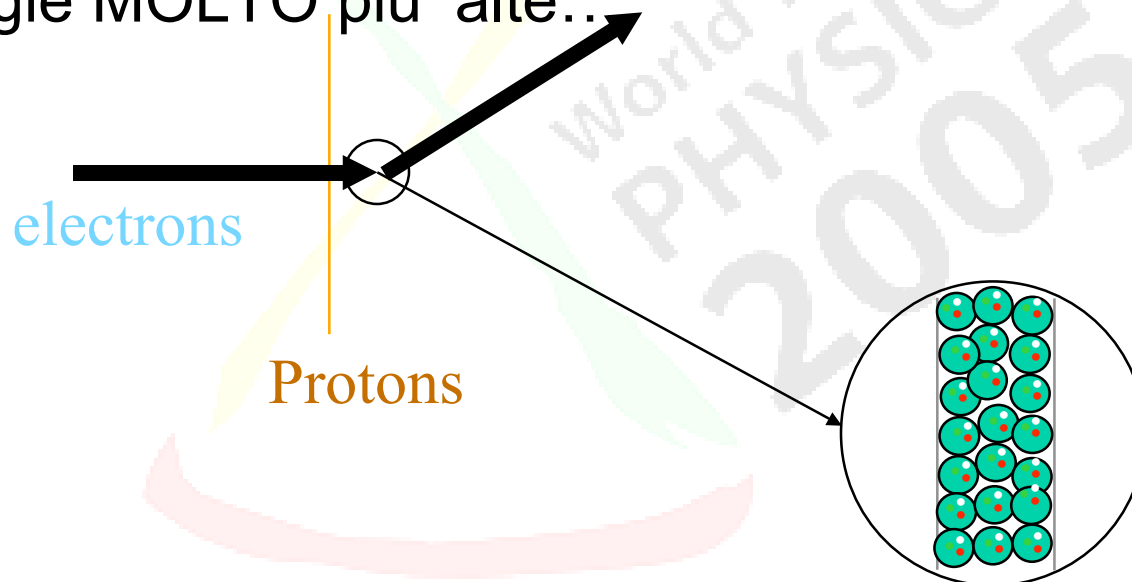
p	uud	$\Delta^{++}$	uuu	$K^+$	$u\bar{s}$
n	udd	$\Delta^+$	uud	$K^0$	$d\bar{s}$
$\pi^+$	$u\bar{d}$	$\Delta^0$	udd	$K^-$	$s\bar{u}$
$\pi^0$	$u\bar{u}$	$\Delta^-$	ddd	$K^0$	$s\bar{d}$
$\pi^-$	$d\bar{u}$	$\Omega^-$	sss		



- I quark e gli elettroni sono più piccoli di  $10^{-18}$  metri:
  - è possibile addirittura che non abbiano dimensione
  - *E' anche possibile che i quark e gli elettroni non siano elementari, ma composti di particelle più elementari ancora...*



- Questa descrizione e' molto interessante, ma i quark per ora sono entita' matematiche...
  - **L'esperimento confermera' la loro esistenza!!!**
- Proviamo a ripetere l'esperimento di Rutherford ad energie MOLTO piu' alte..



Si dimostra che il protone e' costituito da altri oggetti piu' fondamentali!



- I fisici hanno elaborato una teoria, chiamata Modello Standard che vuole descrivere:
  - tutta la materia
  - tutte le forze dell'universo (escludendo per ora la gravità)
- La sua bellezza sta nella capacità di spiegare centinaia di particelle e interazioni complesse con poche particelle e interazioni fondamentali

**Semplicità'**



# Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

## FERMIONS

**matter constituents**  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	<1×10 <sup>-8</sup>	0
e electron	0.000511	-1
$\nu_\mu$ muon neutrino	<0.0002	0
$\mu$ muon	0.106	-1
$\nu_\tau$ tau neutrino	<0.02	0
$\tau$ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3

**Spin** is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of  $\hbar$ , which is the quantum unit of angular momentum, where  $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$  GeV s =  $1.05 \times 10^{-34}$  J s.

**Electric charges** are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is  $1.60 \times 10^{-19}$  coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c<sup>2</sup> (remember  $E = mc^2$ ), where 1 GeV =  $10^9$  eV =  $1.60 \times 10^{-10}$  joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c<sup>2</sup> =  $1.67 \times 10^{-27}$  kg.

## BOSONS

**force carriers**  
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0
W <sup>-</sup>	80.4	-1
W <sup>+</sup>	80.4	+1
Z <sup>0</sup>	91.187	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
g gluon	0	0

### Color Charge

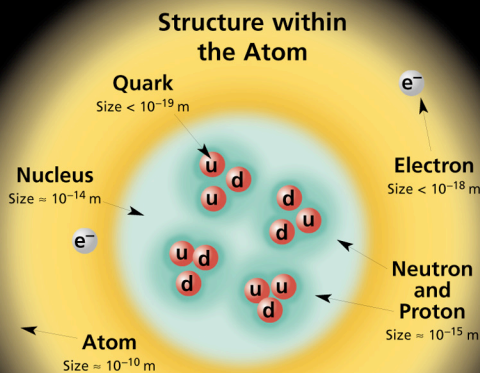
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

### Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons**  $q\bar{q}$  and **baryons**  $qqq$ .

### Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

## PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons $qqq$ and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
$\Lambda$	lambda	uds	0	1.116	1/2
$\Omega^-$	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property	Interaction	Gravitational	Weak	Electromagnetic	Strong	
		Mass - Energy	(Electroweak)		Fundamental	Residual
Acts on:		Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:		Graviton (not yet observed)	W <sup>+</sup> W <sup>-</sup> Z <sup>0</sup>	$\gamma$	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag. for two u quarks at:	$10^{-18}$ m $3 \times 10^{-17}$ m for two protons in nucleus	$10^{-41}$	0.8	1	25	Not applicable to quarks
		$10^{-41}$	$10^{-4}$	1	60	
		$10^{-36}$	$10^{-7}$	1	Not applicable to hadrons	

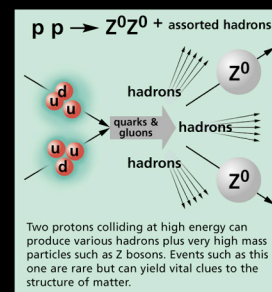
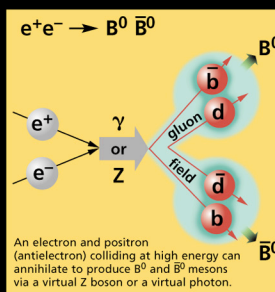
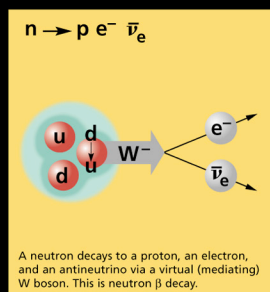
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Spin
$\pi^+$	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
$K^-$	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
$\rho^+$	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
$B^0$	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
$\eta_c$	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

### Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z<sup>0</sup>,  $\gamma$ , and  $\eta_c = c\bar{c}$ , but not  $K^0 = d\bar{s}$ ) are their own antiparticles.

### Figures

These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



### The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

U.S. Department of Energy  
U.S. National Science Foundation  
Lawrence Berkeley National Laboratory  
Stanford Linear Accelerator Center  
American Physical Society, Division of Particles and Fields  
**BURLE** INDUSTRIES, INC.

©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>









- Nel Modello Standard esistono due generi di particelle:
  - Particelle materiali: il Modello Standard sostiene che la maggior parte delle particelle materiali finora conosciute è composta di particelle più fondamentali (quark). C'è anche un'altra classe di particelle materiali fondamentali, i leptoni (un esempio è l'elettrone).
  - Particelle mediatrici di forza: Ogni tipo di interazione fondamentale agisce "mediante" una particella mediatrice di forza (un esempio è il fotone).











## Particles

### Leptons

Tau		Electric Charge -1	Tau Neutrino		Electric Charge 0
Muon		-1	Muon Neutrino		0
Electron		-1	Electron Neutrino		0

### Quarks

Bottom		Electric Charge -1/3	Top		Electric Charge 2/3
Strange		-1/3	Charm		2/3
Down		-1/3	Up		2/3

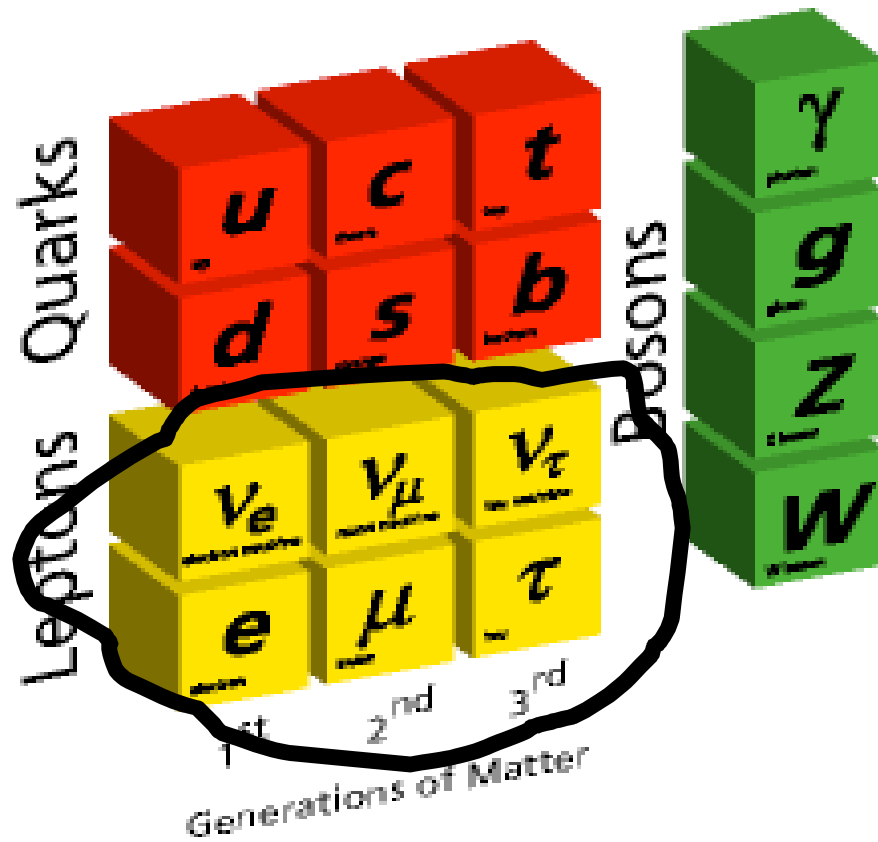
each quark: ●R, ●B, ●G 3 colors

Padova 14 Dic

*The particle drawings are simple artistic representations*



## Elementary Particles

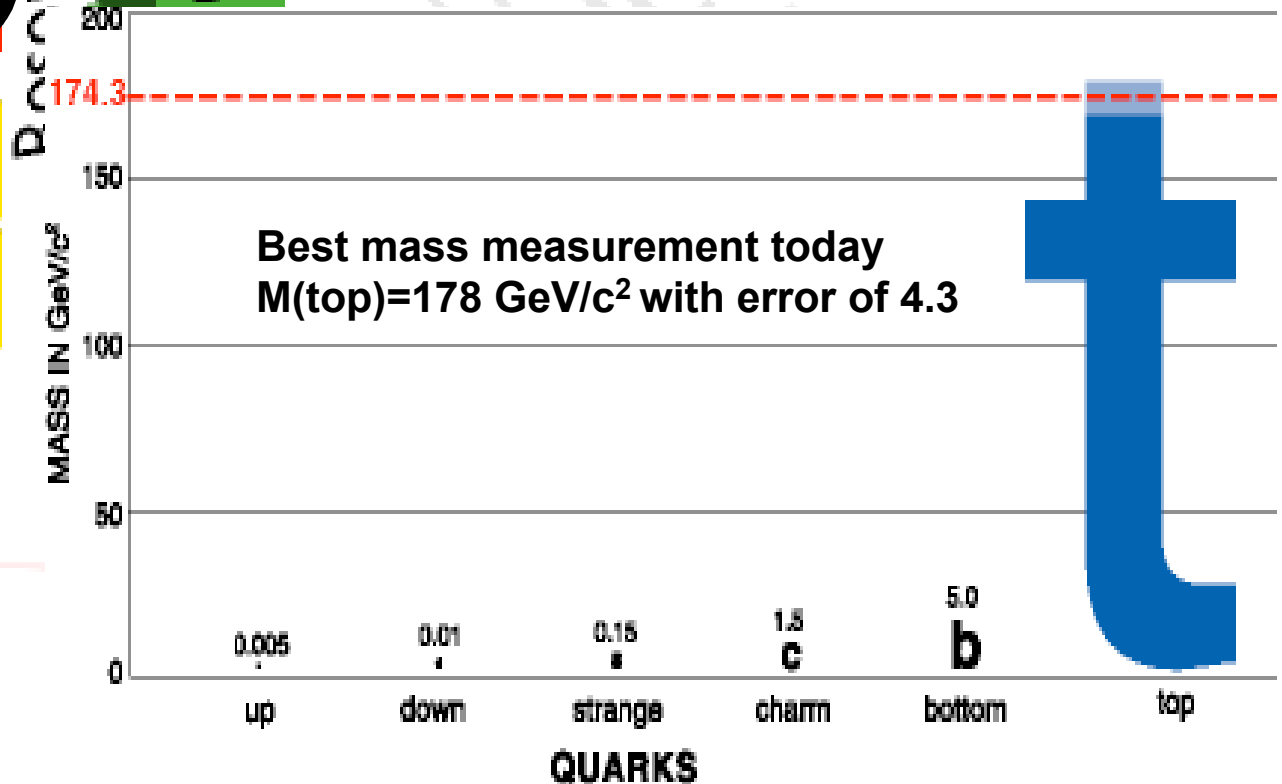
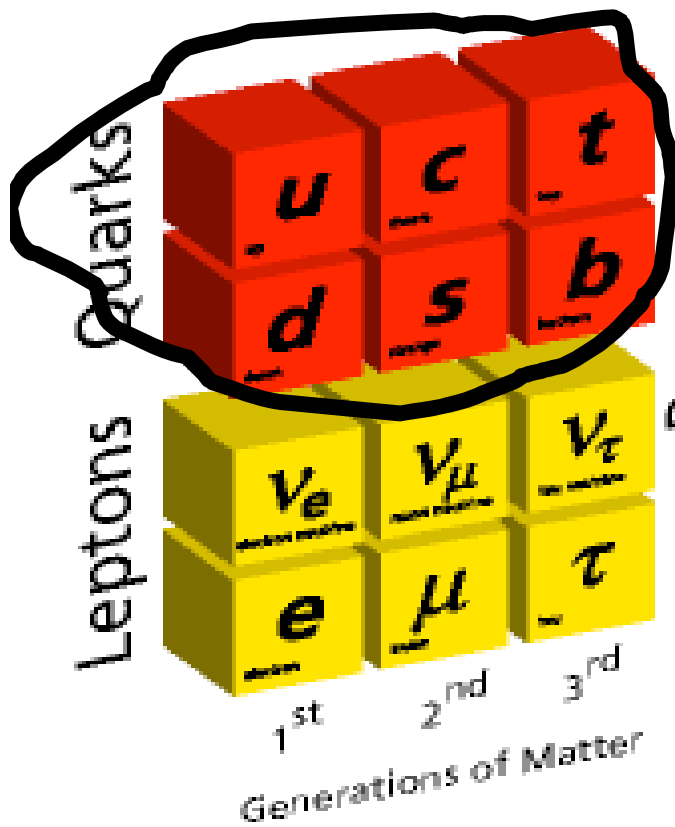


- I leptoni sono sei:
  - tre hanno carica elettrica (negativa)
  - tre non hanno carica elettrica
- Il leptone carico più conosciuto è l'elettrone ( $e$ ). Gli altri due leptoni carichi sono il muone ( $\mu$ ) e il tau ( $\tau$ )
  - Muone e tau sono repliche dell'elettrone con massa più grande
- I leptoni neutri si chiamano neutrini:
  - c'è un neutrino corrispondente a ogni leptone carico
  - hanno massa molto piccola (ma non nulla)



## Elementary Particles

- Ci sono 5 ordini di grandezza fra la massa del quark piu' leggero (up) e quello piu' pesante (top)!



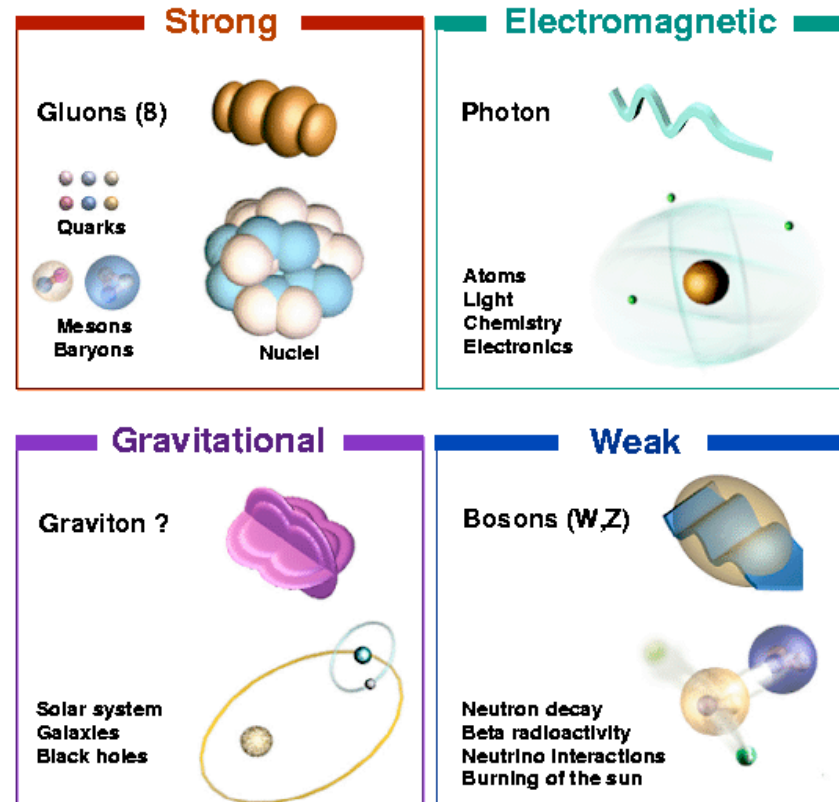


- I singoli quarks:
  - hanno cariche elettriche frazionarie
  - non sono mai stati osservati direttamente
- Si riuniscono in gruppi in particelle dette “adroni”:
  - Le combinazioni dei quark possibili sono tali che la somma totale delle cariche elettriche sia un numero intero: due (qq=mesoni) o tre (qqq=barioni)
- *Ma c'e' molto di piu'...per capirlo bisogna introdurre le interazioni fra i quark*



- L'universo che conosciamo esiste perché le particelle fondamentali interagiscono:
  - decadono
  - si annichilano
  - reagiscono a forze legate alla presenza di altre particelle (per esempio nelle collisioni).
- Ci sono quattro interazioni(forze) tra le particelle:
  - Gravita'
  - ElettroMagnetica
  - Forte
  - Debole

## Forces



*The particle drawings are simple artistic representations*



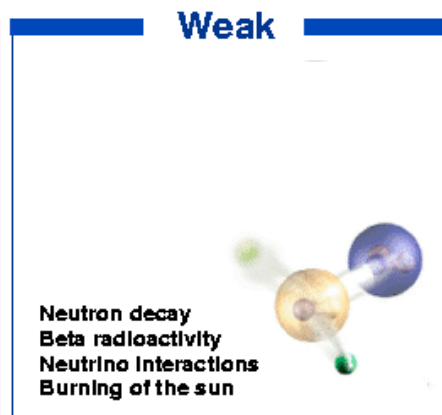
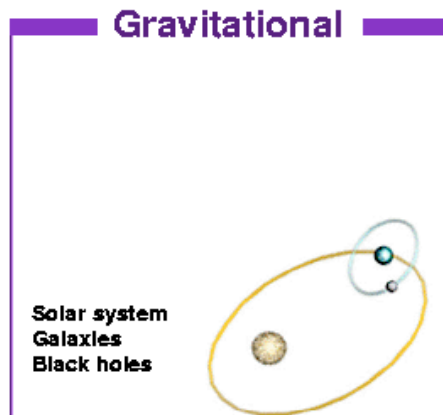
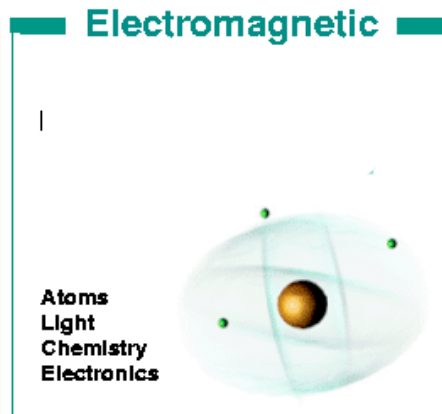
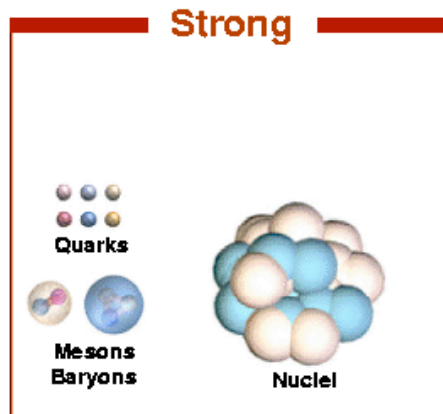
- Per risalire alla natura delle forze bisogna studiare le interazioni fra particelle materiali
- Consideriamo la vignetta seguente:
  - Il giocatore ha afferrato un pallone invisibile e viene spinto indietro dall'impatto.
  - il pallone non e' visibile, ma e' visibile l'effetto della sua presenza







# Particelle mediatori dell'interazione

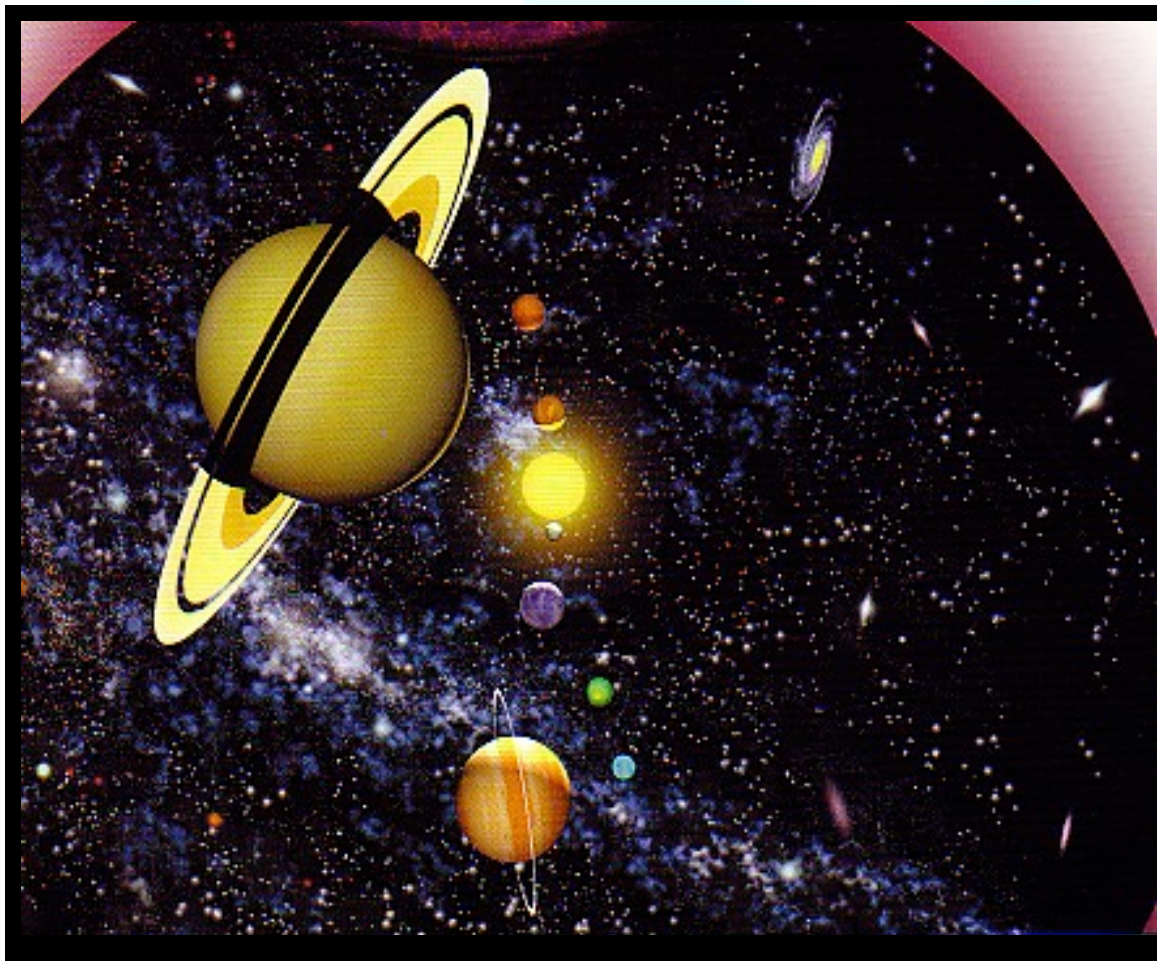


*The particle drawings are simple artistic representations*

- Tutte le interazioni (o forze) che riguardano le particelle materiali sono dovute ad uno scambio di **mediatori di forza**.
  - Riprendendo l'immagine di prima:
    - i giocatori == particelle materiali
    - pallone == particella mediatrice di forza.
- Quelle che noi chiamiamo comunemente "forze" sono gli **effetti dei mediatori di forza** sulle particelle materiali.



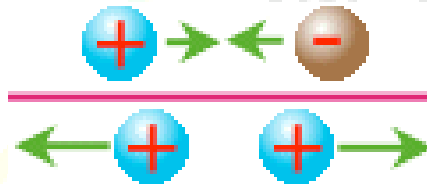
- La forza gravitazionale è probabilmente la forza che ci è più familiare:
  - non è compresa nel Modello Standard perché i suoi effetti sono piccolissimi nei processi tra le particelle



- Anche se la gravità agisce su ogni cosa, è una forza molto debole qualora le masse in gioco siano piccole
- La particella mediatrice di forza per la gravità si chiama gravitone: la sua esistenza è prevista ma non è ancora stata osservata



- Molte delle forze che sperimentiamo ogni giorno sono dovute alle interazioni elettromagnetiche nella materia: tengono assieme gli atomi e i materiali solidi
  - la carica elettrica (positiva/negativa) e il magnetismo (nord/sud) sono diverse facce di una stessa interazione, l'elettromagnetismo.
  - cariche opposte, per esempio un protone e un elettrone, si attirano, mentre particelle con la stessa carica si respingono.

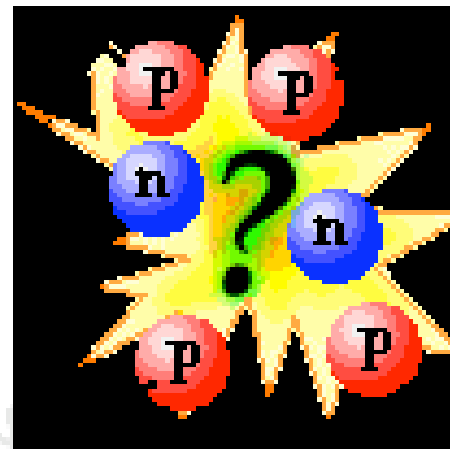


- La particella mediatrice dell'interazione elettromagnetica si chiama fotone.
  - In base alla loro energia, i fotoni sono distinti come: raggi gamma, luce (visibile), microonde, onde radio, etc.





*Perche' la repulsione  
elettromagnetica fra i protoni del  
nucleo non fa esplodere l'atomo?*



- Alcune particelle (i quark e i gluoni) hanno una carica di un nuovo tipo: è stata chiamata **carica di colore**.
  - Ogni quark puo' avere uno dei tre colori: rosso, blu o verde
- Tra particelle dotate di carica di colore l'interazione è molto forte, tanto da meritarsi il nome di **interazione forte**.
  - La sua particella mediatrice è stata chiamata **gluone**: perche' "incolla" i quark fra di loro



# Il “confinamento” dei quark

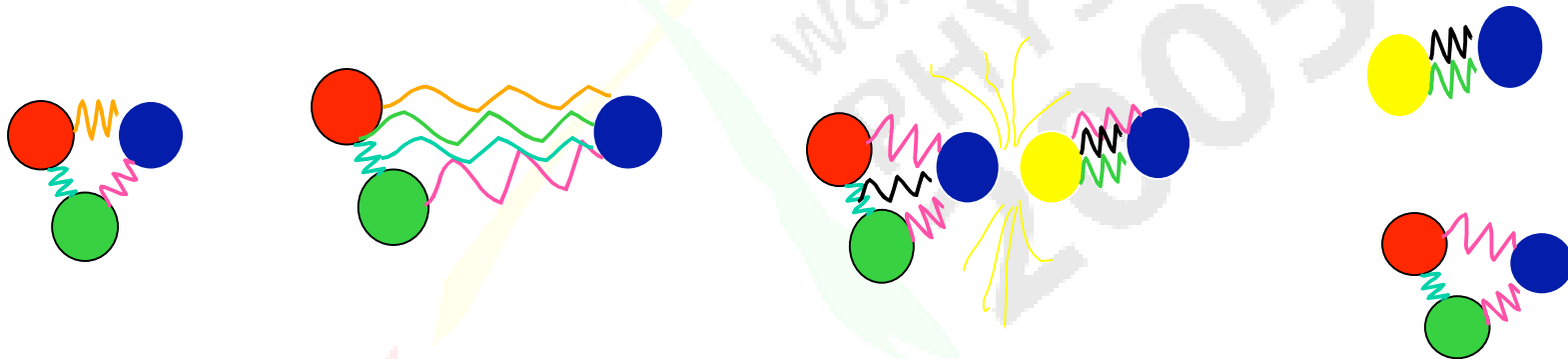
- Le particelle con carica di colore (come i quark) non si possono trovare isolate ma solo in gruppi di colore “neutro” (adroni)
  - Questo spiega perché sono possibili solo combinazioni di due (“mesoni”) o tre (“barioni”) quark: sono le uniche neutre di colore.
- **La carica di colore si conserva sempre.**
  - quando un quark emette o assorbe un gluone, il colore del quark deve cambiare, per conservare la carica di colore
  - *Per esempio, consideriamo un quark rosso che diventa un quark blu ed emette un gluone rosso/anti-blu: il colore “netto” è sempre rosso.*





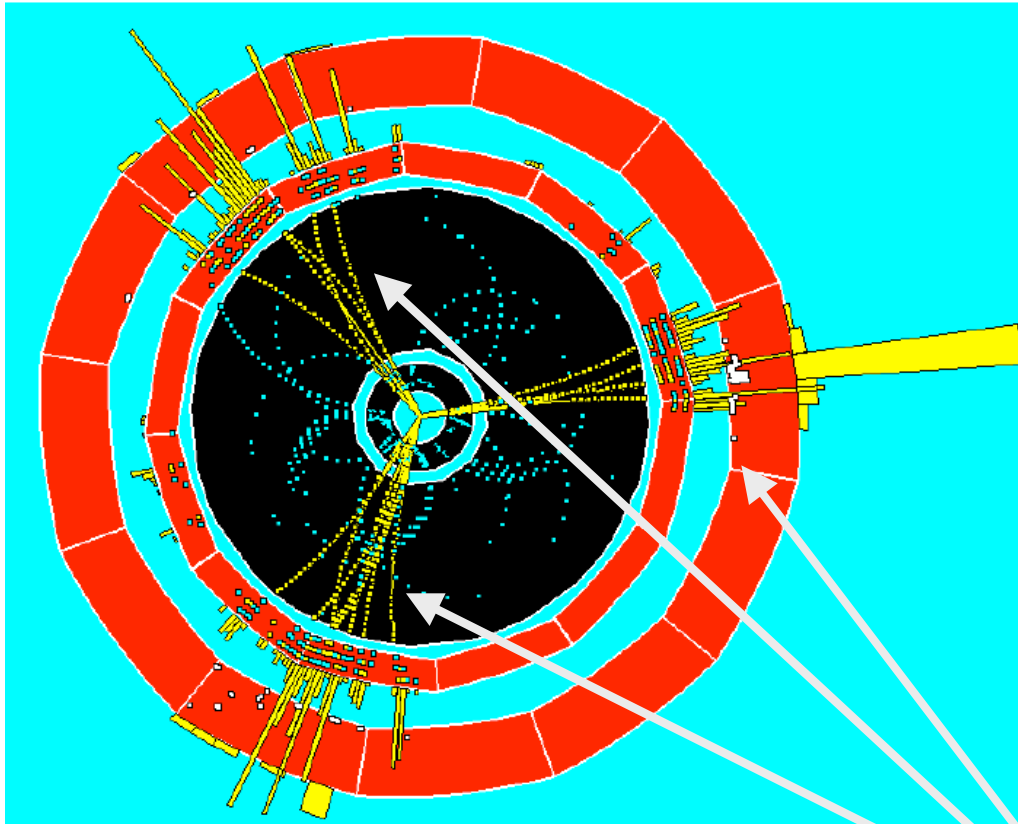


- La forza di colore diminuisce a piccole distanze e cresce al crescere delle distanze
- Cosa succede se si cerca di “spezzare” un adrone?
  - Se uno dei quark di un adrone viene allontanato dai suoi compagni, il campo di forza di colore "si allunga" per mantenere il legame.
  - In questa maniera cresce l'energia del campo di forza di colore, e cresce quanto più vengono allontanati i quark tra loro.



*Energia del campo di colore cresce...*

*$E=mc^2$  sufficiente per creare un'altra coppia quark-antiquark*



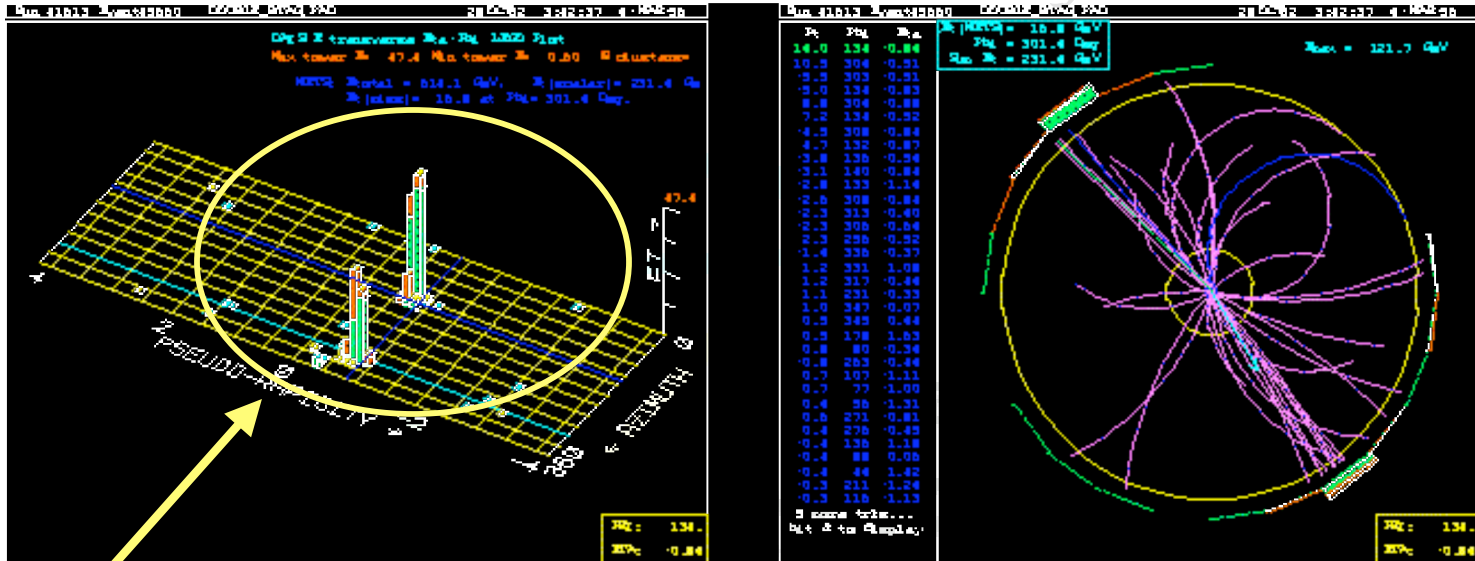
Negli anni '70, nelle collisioni elettrone-positrone ad alta energia, si osservano dei “getti” di energia, associabili alla presenza di gluoni dovuti dalla forza nucleare forte che si origina dalle interazioni tra quark. E' la manifestazione piu' spettacolare del “confinamento”

**I gluoni e i quark si materializzano in “getti”(ing: jet) di particelle**

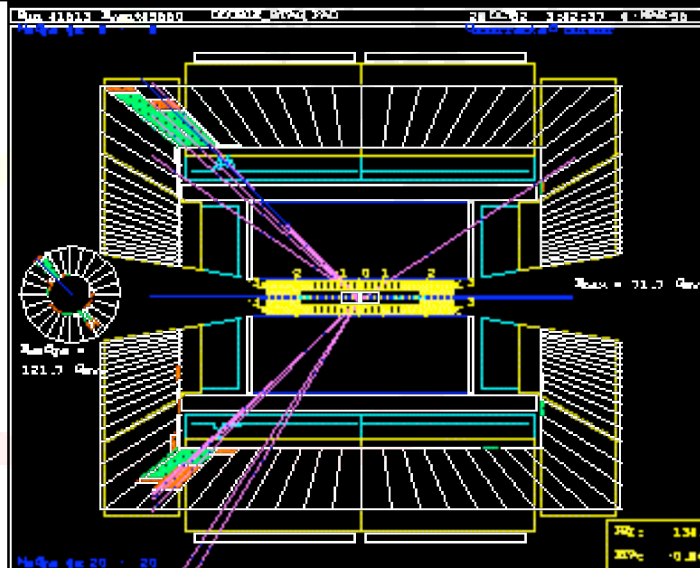


# Einstein in the 21st Century

## Un altro evento con jets



Gli stessi getti si osservano in eventi provenienti da collisioni protone-antiprotone

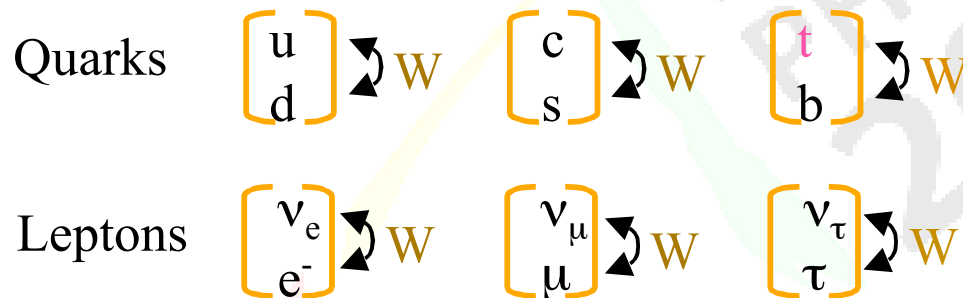
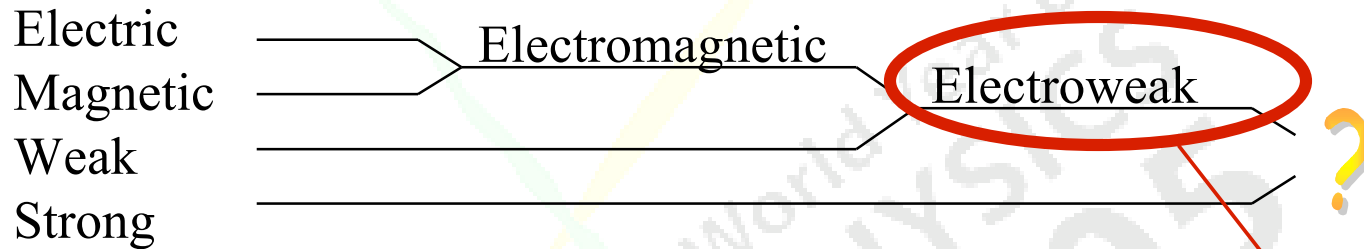


Padova 14 Dicembre 2004

Patrizia Azzi



- L'interazione debole e' responsabile del fatto che tutti i quark o leptoni decadono in particelle di massa minore
- I mediatori dell'interazione debole sono le particelle:  **$W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$**



Nel Modello Standard l'interazione Debole e' unificata con quella Elettromagnetica: a piccole distanze stessa intensita'

Cambiamenti di tipo (detto "sapore") governati dall'interazione debole





# Test della Teoria ElettroDebole

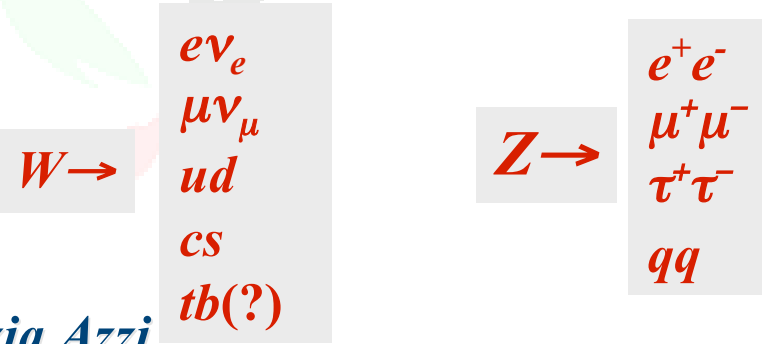


- Con l'introduzione della teoria elettrodebole **furono necessarie tre nuove particelle**: i mediatori dell'interazione  $W^+$ ,  $W^-$  and  $Z^0$ .
- Le loro masse erano previste dalla teoria stessa:
  - $M_W c^2 \approx 80 \text{ GeV}$
  - $M_Z c^2 \approx 90 \text{ GeV}$

**Circa la massa del bromo(z=35) o dello Zirconio(z=40)!!!  
 ...Pesantucce per essere "elementari"...**

La W e la Z hanno una vita media brevissima, ma possono essere identificate tramite i loro prodotti di decadimento, anche essi predetti dalla teoria elettrodebole:

Scoperte nel 1983!  
 ..e con la corretta massa

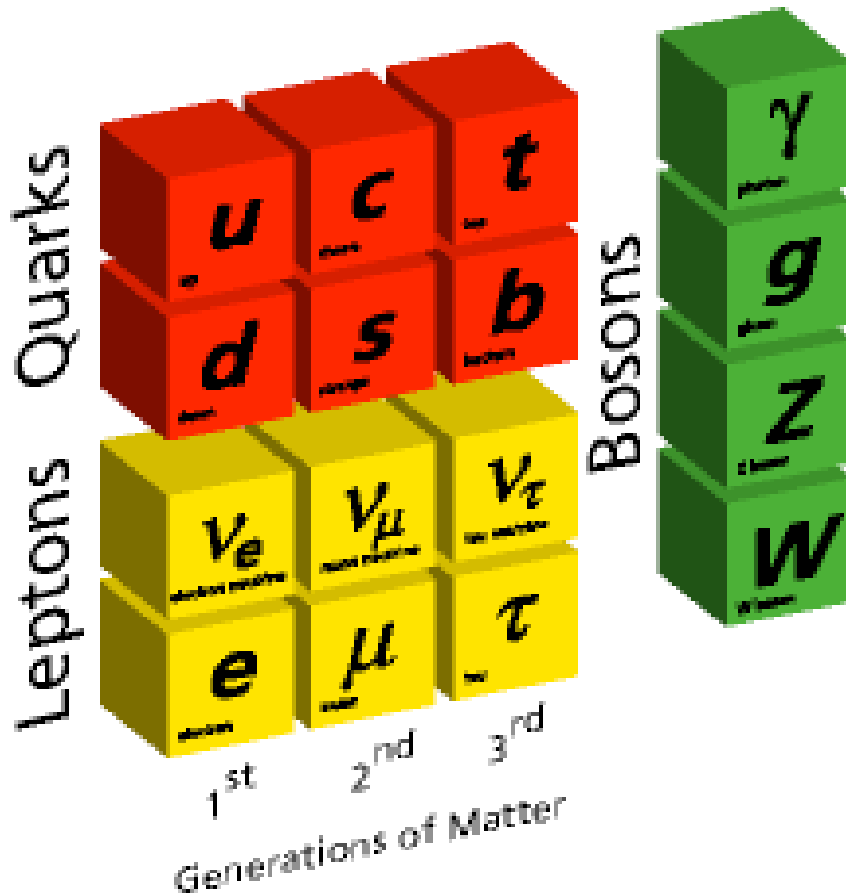






# Le generazioni della materia

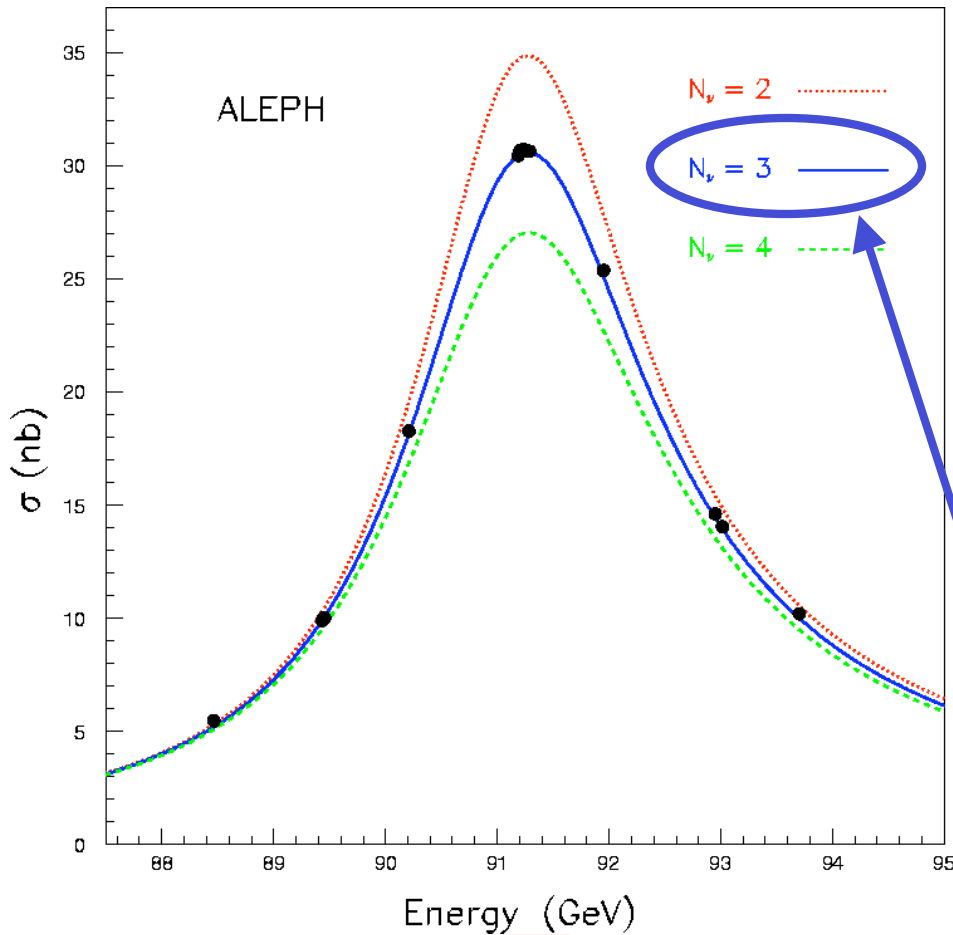
## Elementary Particles



- Quarks e leptoni organizzati in tre “famiglie”:
  - tutta la materia visibile nell’universo e’ costituita dalla prima generazione.
  - Le particelle della 2a e 3a generazione sono instabili e decadono in particelle della 1a
- Ci sono altre generazioni?
  - Non si sa il perche’ di queste “repliche”...sorprese sono ancora possibili...
  - Sperimentalmente pare di no



# Verifica del Modello Standard



Negli anni '90, i dati raccolti al LEP studiando il decadimento del bosone Z, ci permettono di determinare con grande precisione il numero di neutrini (e quindi il numero di generazioni) e di escludere con certezza la presenza di neutrini "anomali". Una ulteriore conferma del Modello Standard

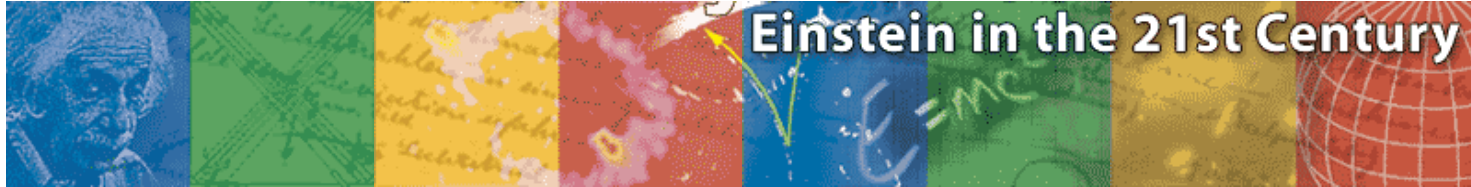
La curva corrispondente ad un numero di generazioni pari a tre descrive meglio la curva!

**Il precedente limite era basato su considerazioni cosmologiche**



- Per ogni particella (**materia**) c'è la corrispondente antiparticella (**antimateria**).
  - Un'antiparticella è identica alla sua particella sotto ogni aspetto, tranne che per la carica, che è opposta.
  - Per esempio: il protone ha carica elettrica positiva, e l'antiprotone ha carica elettrica negativa; ma hanno la stessa identica massa, perciò sono soggetti alla gravità nella stessa identica maniera.
- Quando una particella e la sua antiparticella si incontrano, si annichilano in energia pura. Questa energia può dar vita a particelle, prive di carica, mediatrici di forza, come fotoni, bosoni Z, o gluoni.





## la scoperta del quark top

Vediamo un'analisi da vicino,  
passo per passo sbirciando i  
quaderni ed i pensieri di chi vi ha  
partecipato...

Padova 14 Dicembre 2004

*Patrizia Azzi*

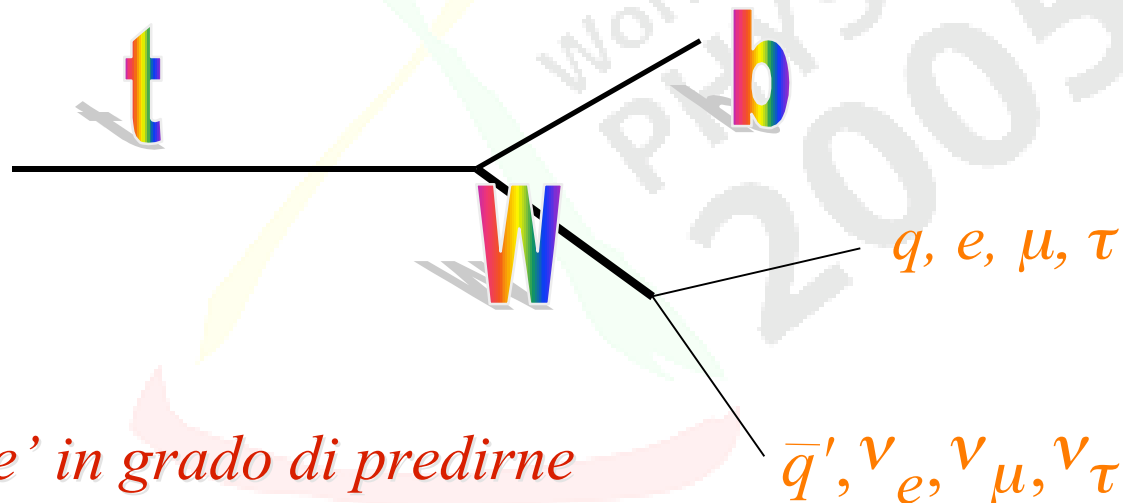


# Einstein in the 21st Century

## La ricerca del quark Top



- Dopo la scoperta del quark bottom (Fermilab 1977) il Modello Standard prevedeva un ultimo quark top per completare la coppia della terza generazione
- Il Modello Standard inoltre e' in grado di predire esattamente il decadimento del quark top:



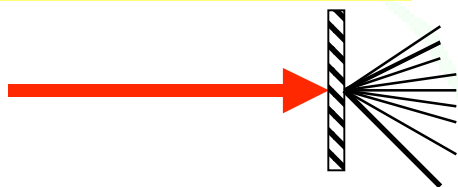
*Ma non e' in grado di predirne  
la massa....*





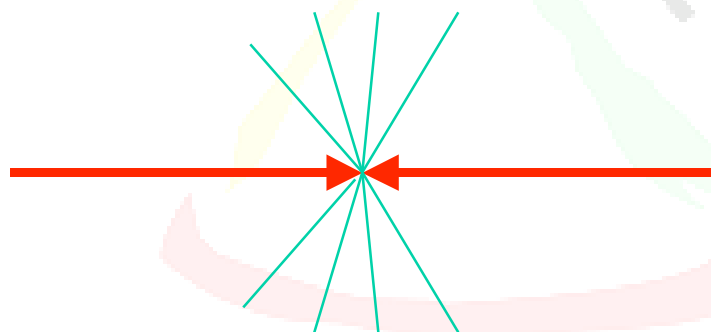
Per testare le nuove teorie I fisici delle particelle hano bisogno di alte energie  $\Rightarrow$   
*COLLISIONI FRA FASCI DI PARTICELLE!*

## TARGHETTA FISSA



Energia a disposizione per  
produrre nuove particelle:  $\sim \sqrt{E_{\text{beam}}}$

## COLLISIONI FASCIO-FASCIO

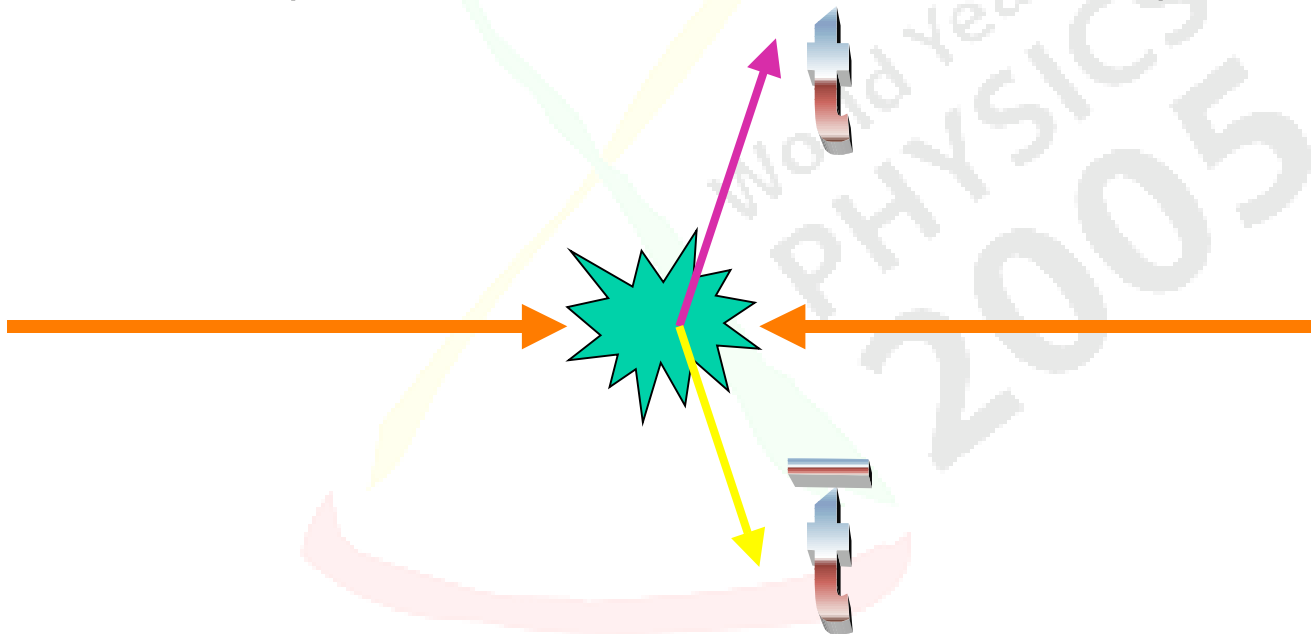


Energia a disposizione per  
produrre nuove particelle  $\sim E_{\text{beam}}$



# Produzione di Top a Batavia, IL

- Il Tevatron di Fermilab e' l'acceleratore di piu' alta energia oggi esistente.
- Protoni e antiprotoni si scontrano con una energia di 1.8 TeV (1800000000000 electron volts)





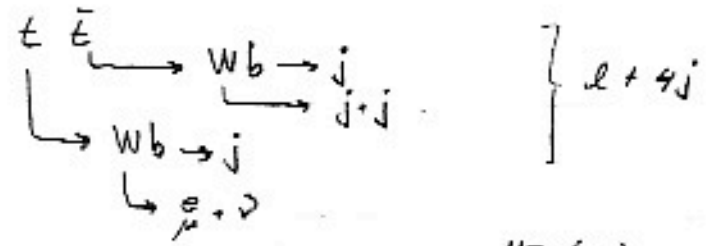
# Predizioni teoriche

16

EXPECTED # OF EVENTS  $l + n_j$  CHANNEL

JACO 3-7-91

$l \equiv \{e, \mu\}$



$B.R. = \frac{24}{81} = \underline{0.30}$

$\sigma(pp \rightarrow t\bar{t}) =$

MT (GeV)	TOTAL	(low x-sect value)	<u>l+jets</u>
100	93 pb	(70)	28 pb
120	36 pb	(28)	12 pb
130	22 pb	(18)	6.6 pb
140	16 pb	(12)	5 pb
160	8 pb	(6)	2.5 pb

K. ELLIS  
CENTRAL VALUES  
[FERMILAB-PUB-91/30-T]  
FEB 1991

CENTRAL Y-SECT VALUE

MT	n (l+jets) produced
100	560
120	240
130	132
140	100
160	50

ASSUME  $\int X \approx 20 pb^{-1} \Rightarrow$



# Selezione sperimentale degli eventi

## Cuts + Efficiencies:

J. 404  
CDF 1157

PROSPECTS FOR TEVATRON TOP  
VERSION 0.924, 3/2/90

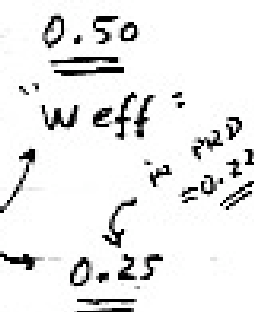
### "W" CUTS:

$E_E$  THRESHOLD = 20 GeV  
 $E_{\bar{E}}$  THRESHOLD = 20 GeV  
 $M_T(\bar{E}, \nu)$  THRESHOLD = 50 GeV } 0.75 eff.

CDF CRACKS,  $l \neq \bar{l}$  }  $\frac{2}{3}$

### "N<sub>l</sub>" efficiency:

$E_E$  THRESHOLD ( $J_1, J_2, J_3$ ) > 10 GeV



(claims  $N/N \sim 5/100 \sim 4/1$ )

⇒ EXPECT

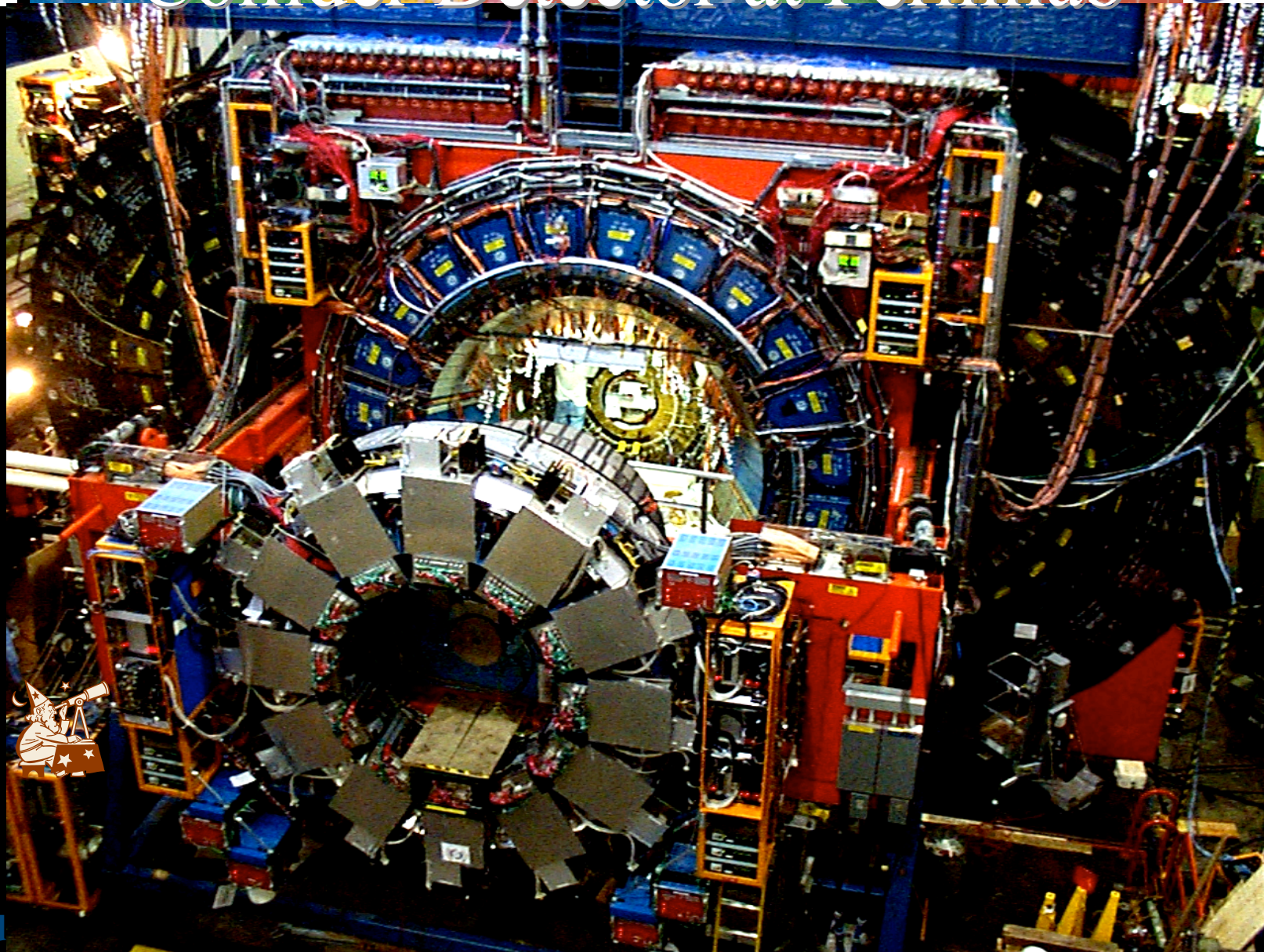
$M_T$	$\frac{91}{92} \rightarrow 4.5$ ( $\frac{88}{89}$ )	LOW X-SECT VALUE	$\frac{11}{92}$ ( $\frac{81}{89}$ )
100 → 140 events (31)	→ 105	(22)	
120 → 60 " (13)	→ 47	(10)	
140 → 25 " (5.5)	→ 19	(4)	
160 → 12 " (2.6)	→ 9	(2)	





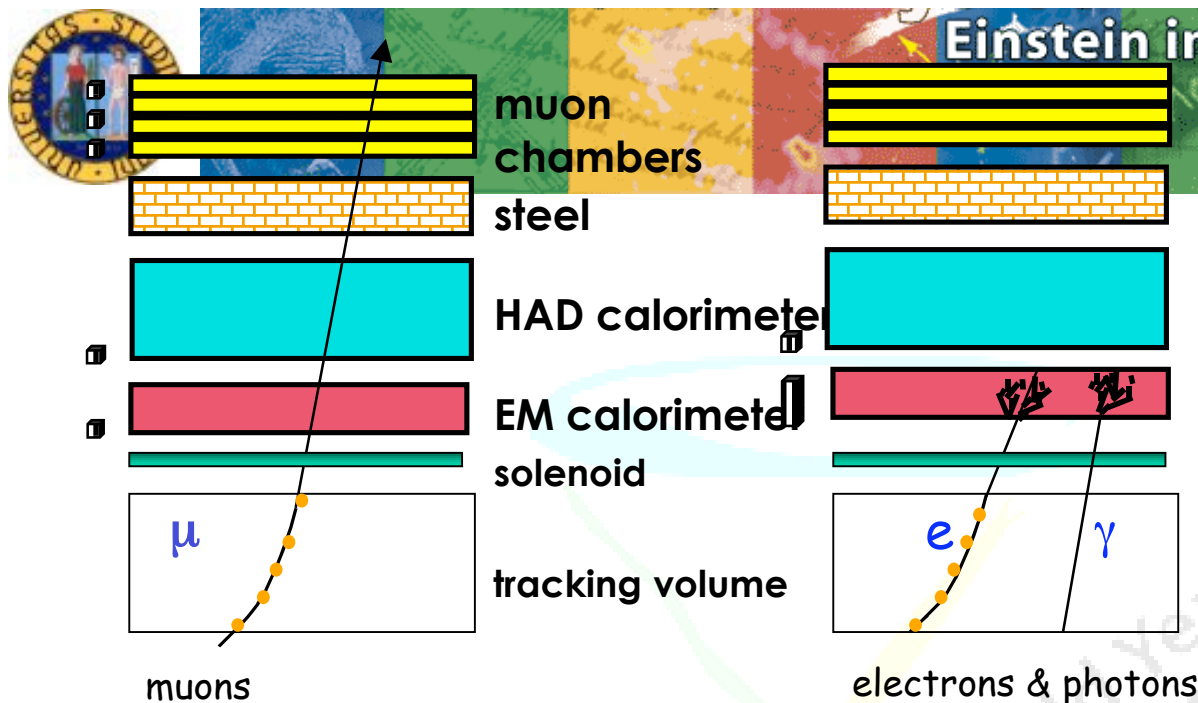
Einstein in the 21st Century

# Collider Detector at Fermilab



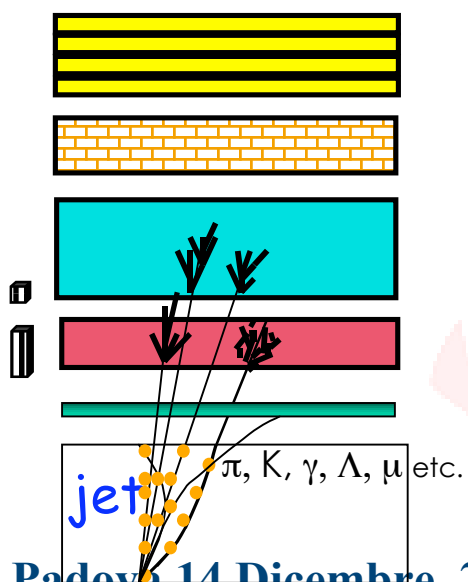
Pad





muons

electrons & photons



jet  $\pi, K, \gamma, \Lambda, \mu$  etc.

$\nu$

Padova 14 Dicembre 2004

quarks & gluons

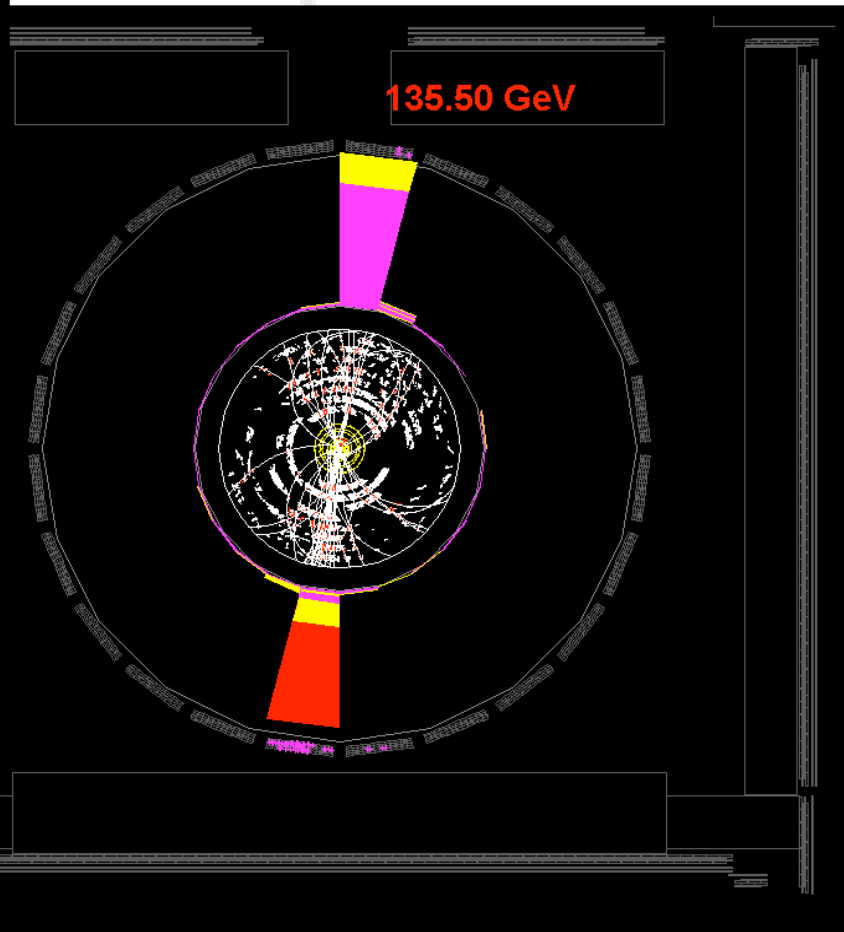
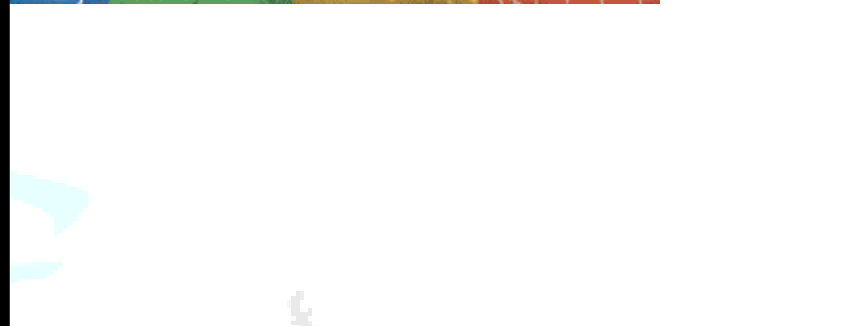
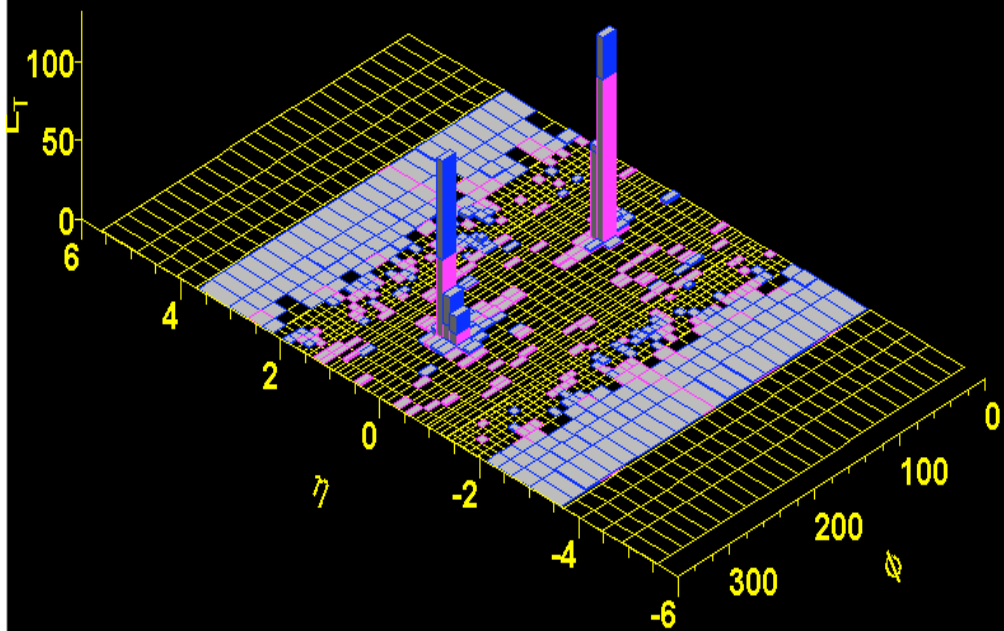
Patrizia Azzi

neutrinos

I diversi tipi di  
particelle  
rilasciano tipi diversi  
di segnature nei  
nostri rivelatori

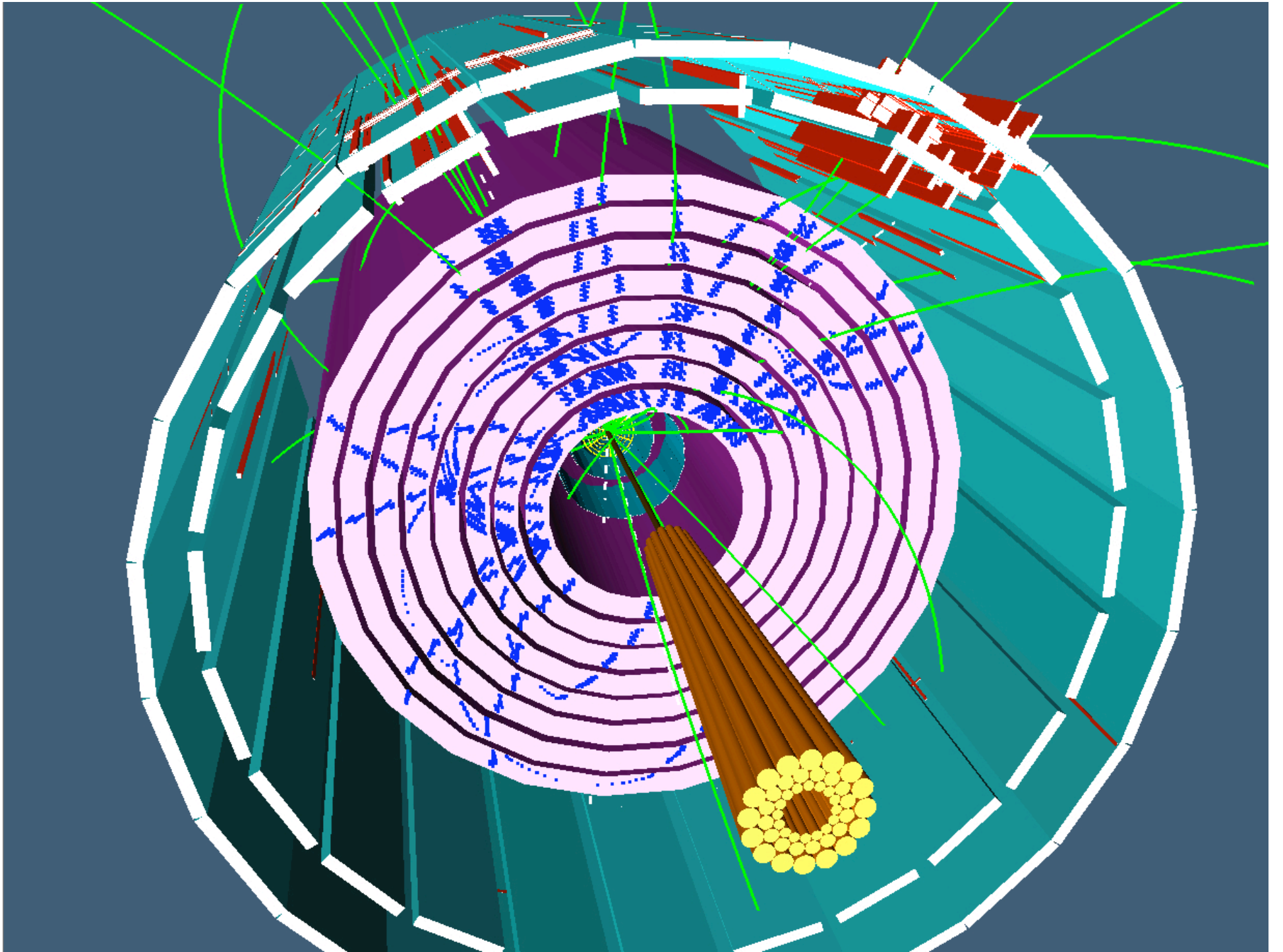
Event : 7973 Run : 102837 EventType : 0 TRIG: Unpr. - Fired bits: 1,41,14,15,21,22,23,24,26,30, Pr. - Fired bits: 22, Myron mod

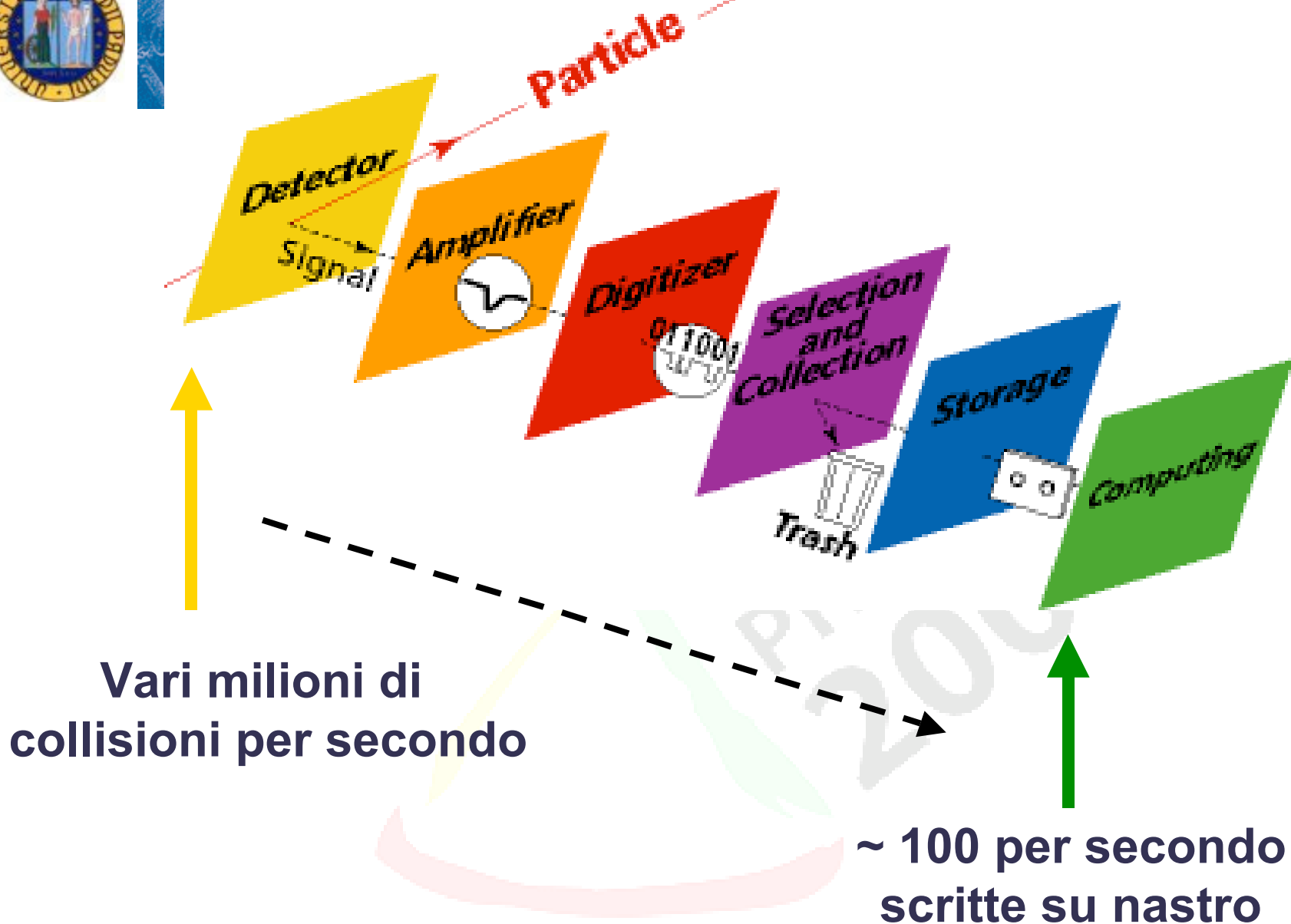
# stein in the 21st Century



Padova 14 Dicembre 2004

A







```

      if (etjt(ijet).gt.10. .and.
&      abs(dtjt(ijet)).lt.met.dt.jtot .and.
&      .not.jtTot_e(ijet)) then
      dphi = delphi(metphi jk,phjt(ijet))
      if(dphi.lt.dphimn_jet) dphimn_jet = dphi
      if(dphi.lt.dphimn) dphimn = dphi
    endif
  enddo  !-- end loop over jets

c... loop over electrons
do i=1,nelmax
  if(eltite(i).n.ellocs(i)) then
    dphi = delphi(metphi jk,phcl(i))
    if(dphi.lt.dphimn_lep) dphimn_lep = dphi
    if(dphi.lt.dphimn) dphimn = dphi
  endif
enddo  !-- end loop over electrons

c... loop over muons
do i=1,nmumax
  if(mutite(i).or.muloos(i)) then
    dphi = delphi(metphi jk,phmu(i))
    if(dphi.lt.dphimn_lep) dphimn_lep = dphi
    if(dphi.lt.dphimn) dphimn = dphi
  endif
enddo  !-- end loop over muons

c... we now have the minimum (convert to degrees):
dphimn_lep = (180./3.1416)*dphimn_lep
dphimn_jet = (180./3.1416)*dphimn_jet
dphimeT = (180./3.1416)*dphimn
DLPMET_LEP(1) = dphimn_lep
if(dphimn_jet.lt.181.) DLPMET_JET(1) = dphimn_jet
DLPMET(1) = dphimeT

c... calculate DI-JET invariant mass's
c
-----
minvj = -1.
minvj = ejtot*ejtot - pxjtot*pxjtot - pyjtot*pyjtot
&      - pzjtot*pzjtot
if(minvj.gt.0.) minvj = sqrt(minvj)
diljms = minvj      ! save in DEJAME.INC

c... calculate EVENT invariant mass's
c
-----
etot = etot + ejtot
pxtot = pxtot + pxjtot
pytot = pytot + pyjtot
pztot = pxtot + pzjtot

c
mag4v = Etot**2 - pxtot**2 - pytot**2 - pztot**2
if(mag4v.gt.0.0)then
  massall = sqrt(mag4v)
else
  massall = 0.0
endif
dilinv = massall      ! save in DEJAME.INC

c
c... calculate HT
c
-----
cbug  ht = pt1 + pt2 + retj(1) + retj(2) + met_jk
      ht = pt1 + pt2 + ptjtot + met_jk
      dilht = ht      ! save in DEJAME.INC

c... Histo offset according to DTYP
c-----
if(dtyp.ge.1.and.dtyp.le.3) doff = hoff + 1000
if(dtyp.ge.4.and.dtyp.le.8) doff = hoff + 2000
if(dtyp.ge.9.and.dtyp.le.15) doff = hoff + 3000

```

Century



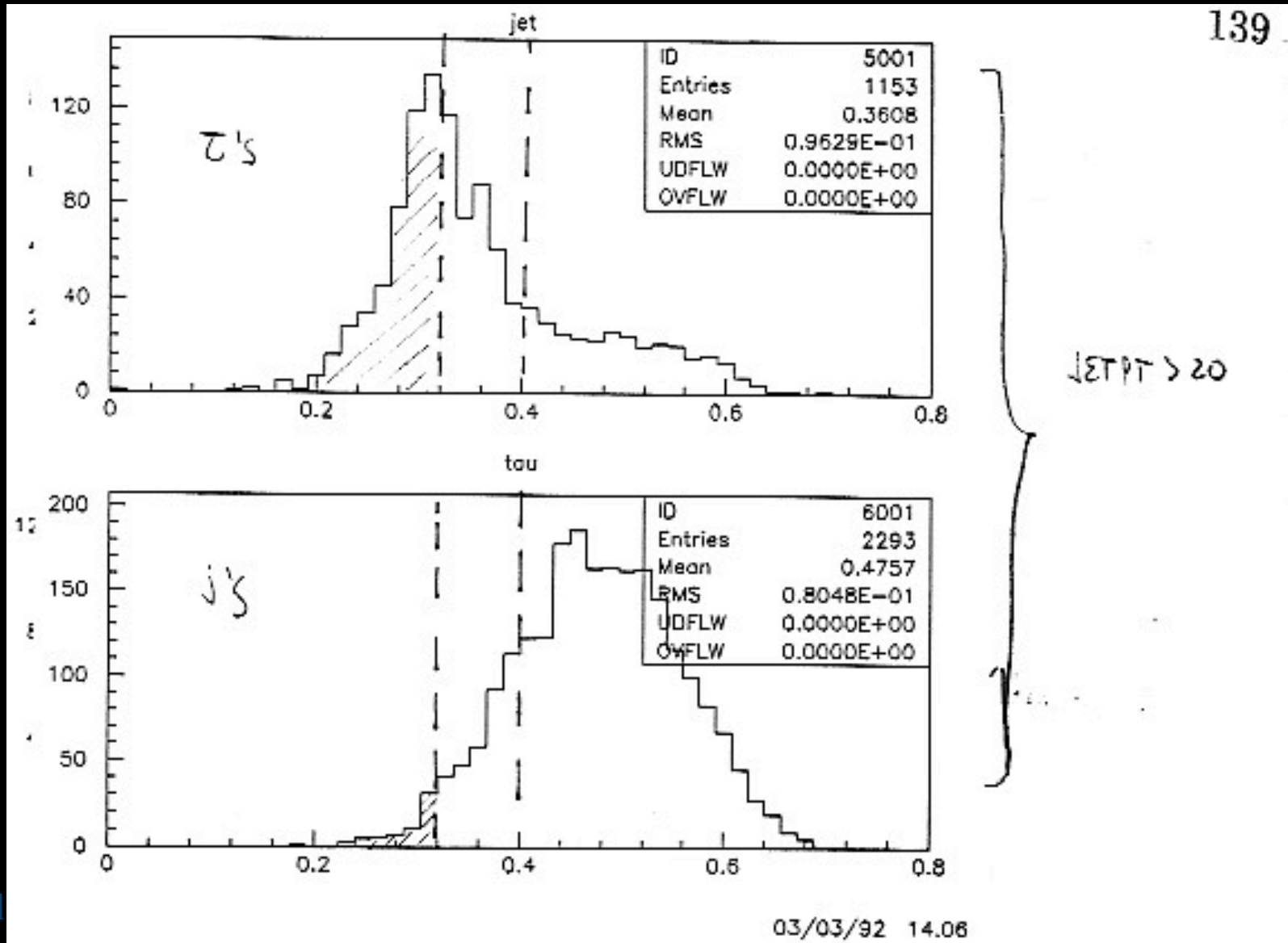
Analisi dei  
dati...

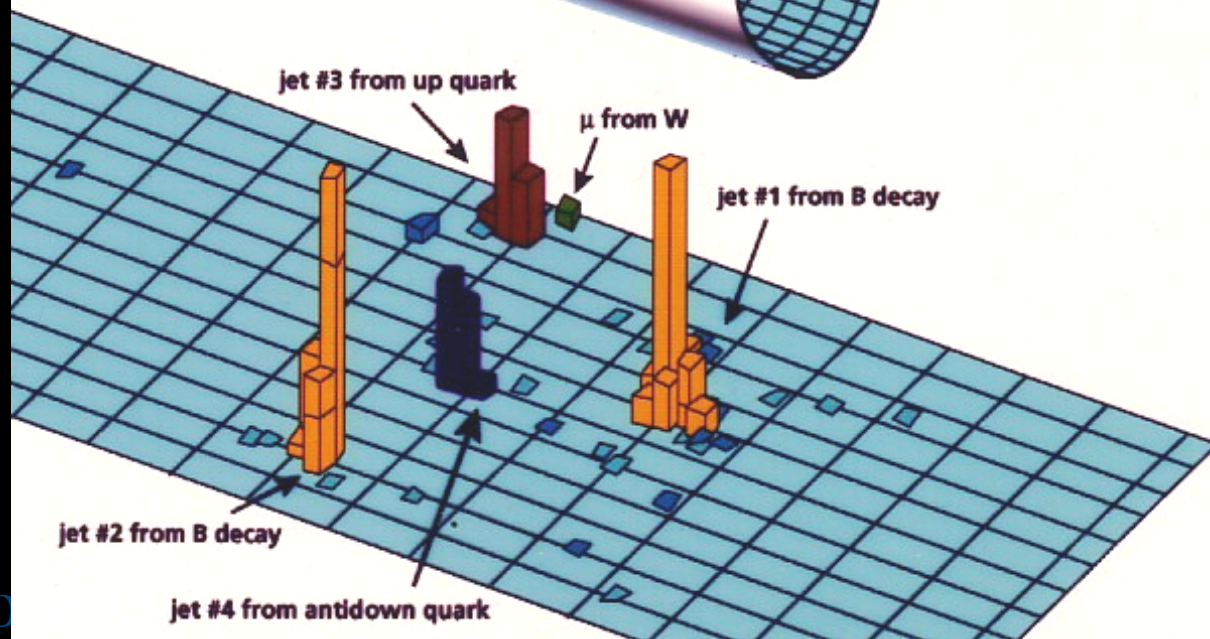
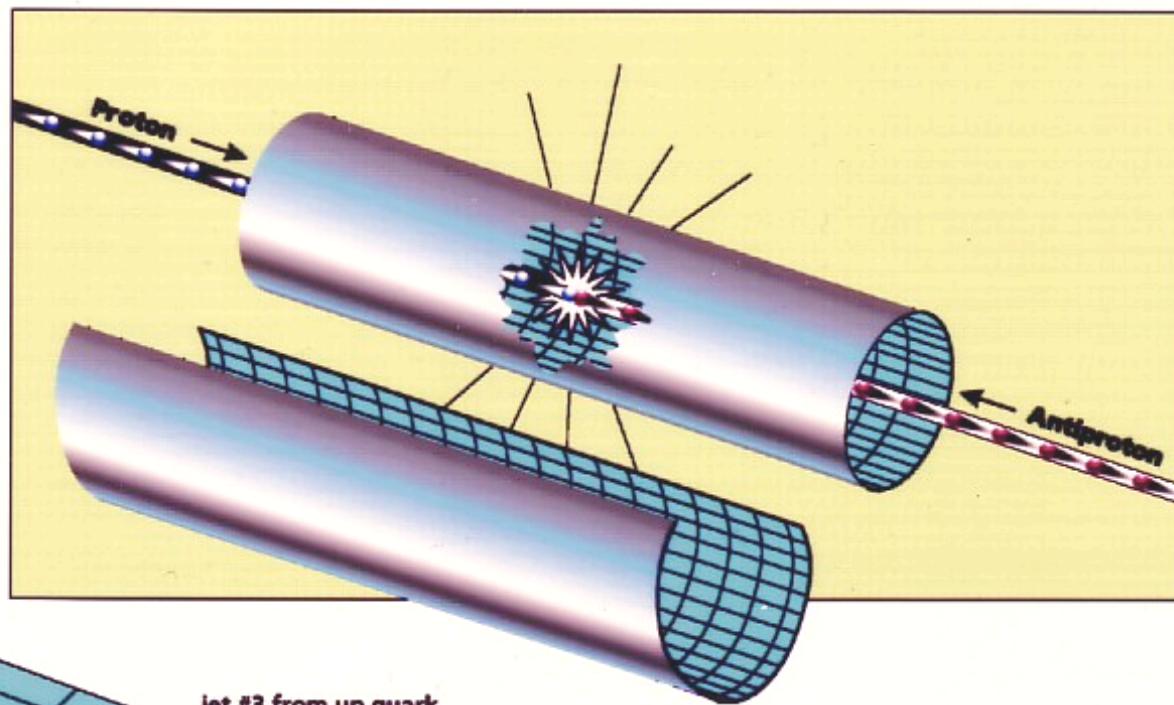
Padova 14 Diceml





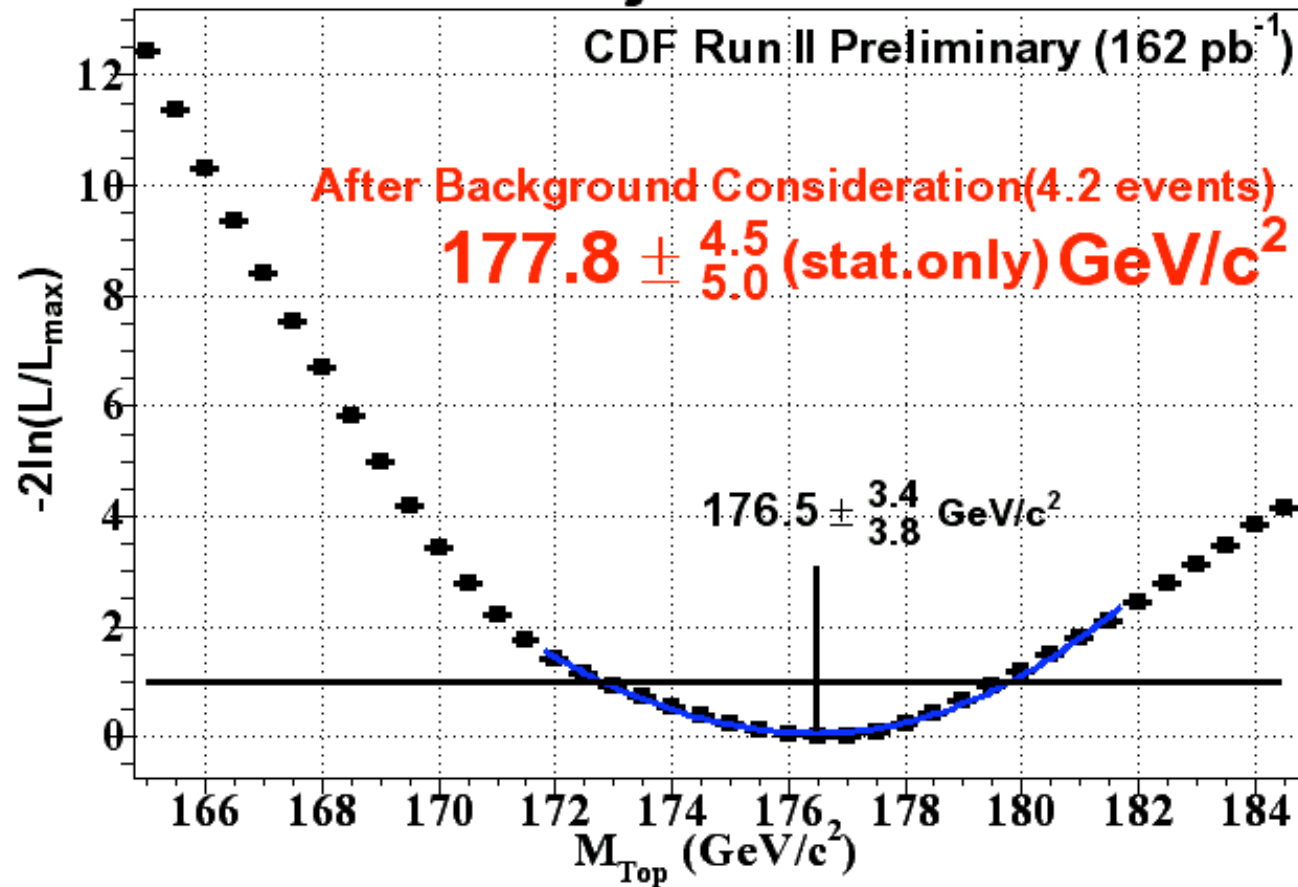
# Simulazione di ciò che ci si aspetta







## 22 events joint likelihood







- Nel 1994, dopo 17 anni di ricerche a vari acceleratori e circa 10 anni allo stesso Tevatron, sono state trovate circa 12 eventi che sembrano provenire dalla produzione di una coppia top-antitop
- Ora ce ne sono piu' di 100...
- Perche' e' stato cosi' difficile?
  - Perche'

$$M_{\text{TOP}} c^2 = 175 \text{ GeV!!}$$

- E solo 1 in  $10^{10}$  collisioni puo' produrre una coppia top-antitop

*Questo e' un vero ago nel pagliaio!!!*





# Einstein in the 21st Century



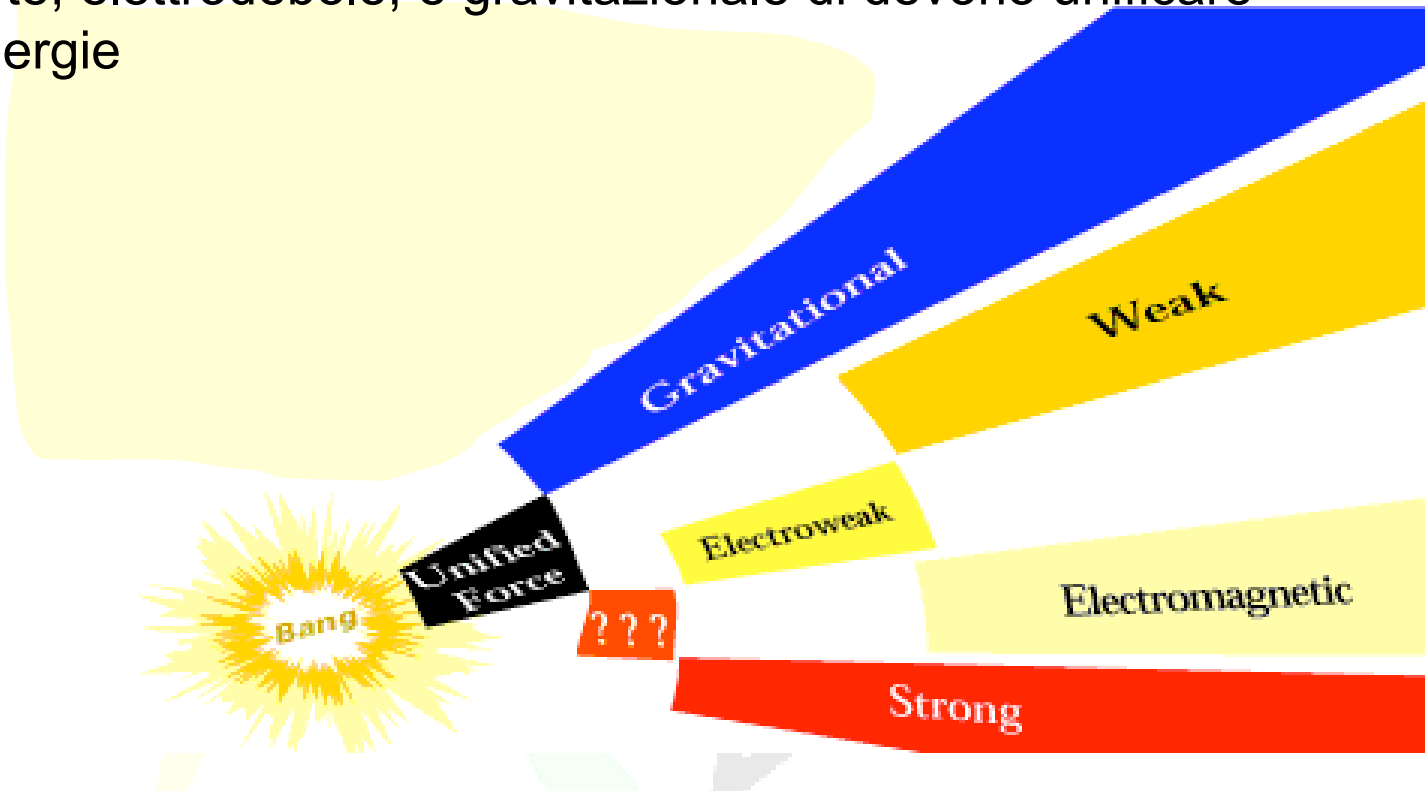
Se si hanno  
fortuna  
e tenacia...



Padova 14 Dicembre 2004



- Le forze forte, elettrodebole, e gravitazionale di devono unificare a grandi energie



All'inizio dell'Universo tutte le forze erano unificate ed esistevano tutte le tre generazioni della materia

**Bisogna andare a ritroso nel tempo!**

indietro nel tempo ~ energie maggiori

Padova 14 Dicembre 2004

*Patrizia Azzi*





- Alcuni buoni motivi per credere che il Modello Standard sia una (buona) approssimazione di qualcosa di piu' complesso:
  - non spiega la gerarchia delle masse
  - non include la gravitazione
  - non spiega la dominanza di materia nel nostro Universo
  - non suggerisce una soluzione al problema della Materia Oscura nell'Universo
  - perche' 3 famiglie ?
  - troppi parametri
  - ....
- Varie teorie cercano di superare questi problemi:
  - GUT, SUSY, Technicolor, Compositeness, Superstringhe.
  - Purtroppo nessuna di queste ha una qualche conferma sperimentale...

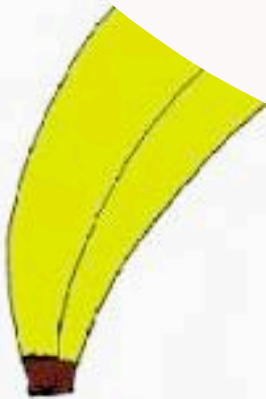


the 21st Century



# La “Big Picture”

Il Modello Standard descrive tutto ciò che abbiamo finora osservato con grande precisione!

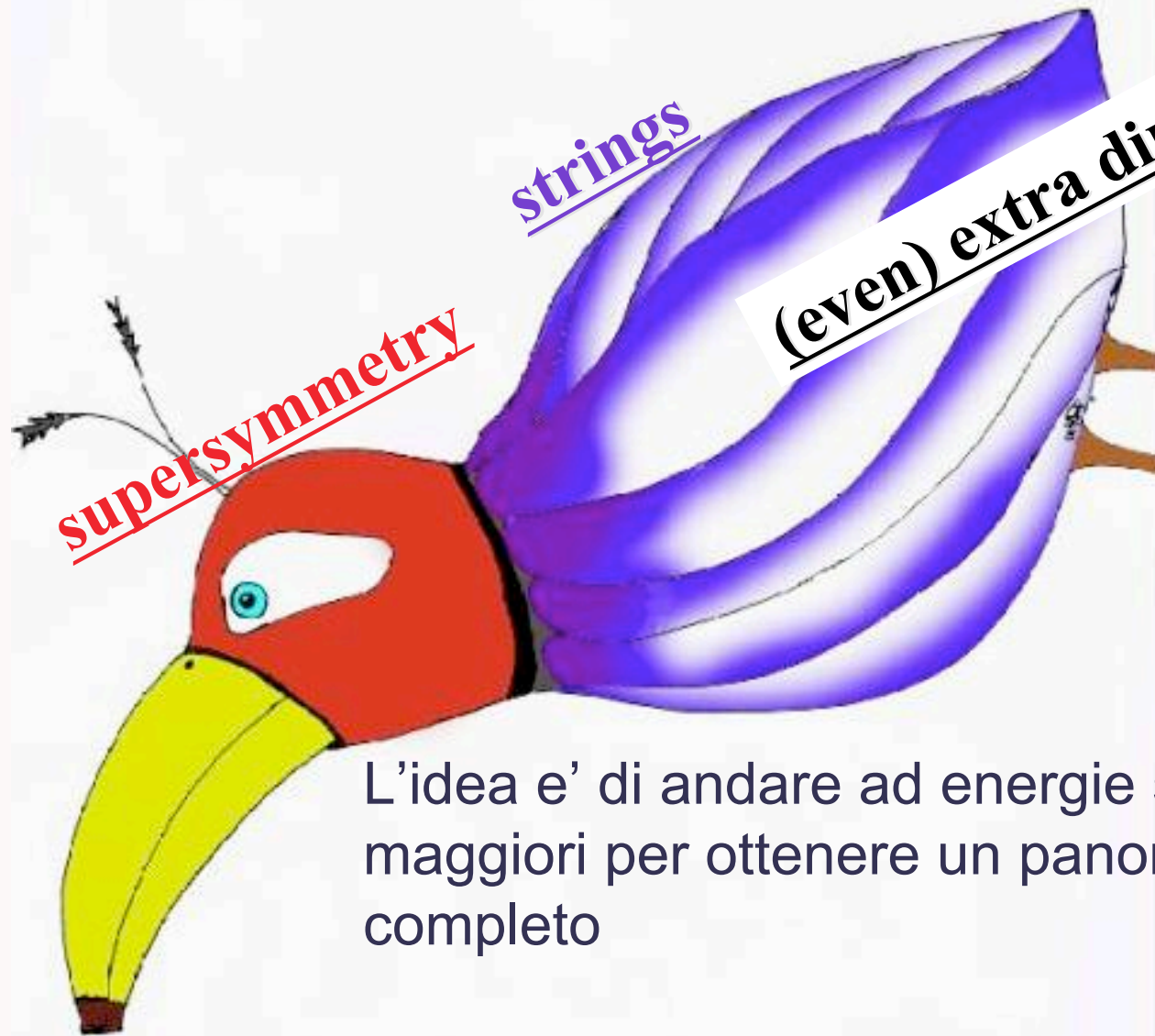


Padova





# La “Big Picture”



L'idea e' di andare ad energie sempre maggiori per ottenere un panorama piu' completo

Padova

**C'e' bisogno di nuovi esperimenti ed idee!**



# Einstein in the 21st Century

## Continuiamo a sperimentare!



Questo e' un invito a tutti gli studenti...

Padova 14 Dicembre 2004

*Patrizia Azzi*