



IL MODELLO STANDARD

Bardonecchia, Gennaio 2017

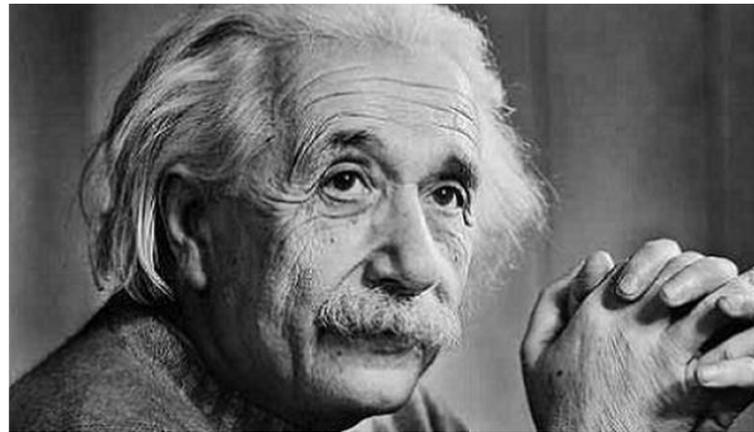
E.Menichetti – Dip. di Fisica e INFN, Torino

Quadro di riferimento per la fisica delle particelle e il Modello Standard:

Teoria della relatività

Meccanica quantistica

Pilastri che sostengono tutta la fisica del '900



Entrambe originate dal lavoro di diverse personalita', ma dominate dalla figura di Einstein

Una scoperta straordinaria, conseguenza di meccanica quantistica e relativita':

Antimateria

Previsione teorica (Dirac, fine anni '20):



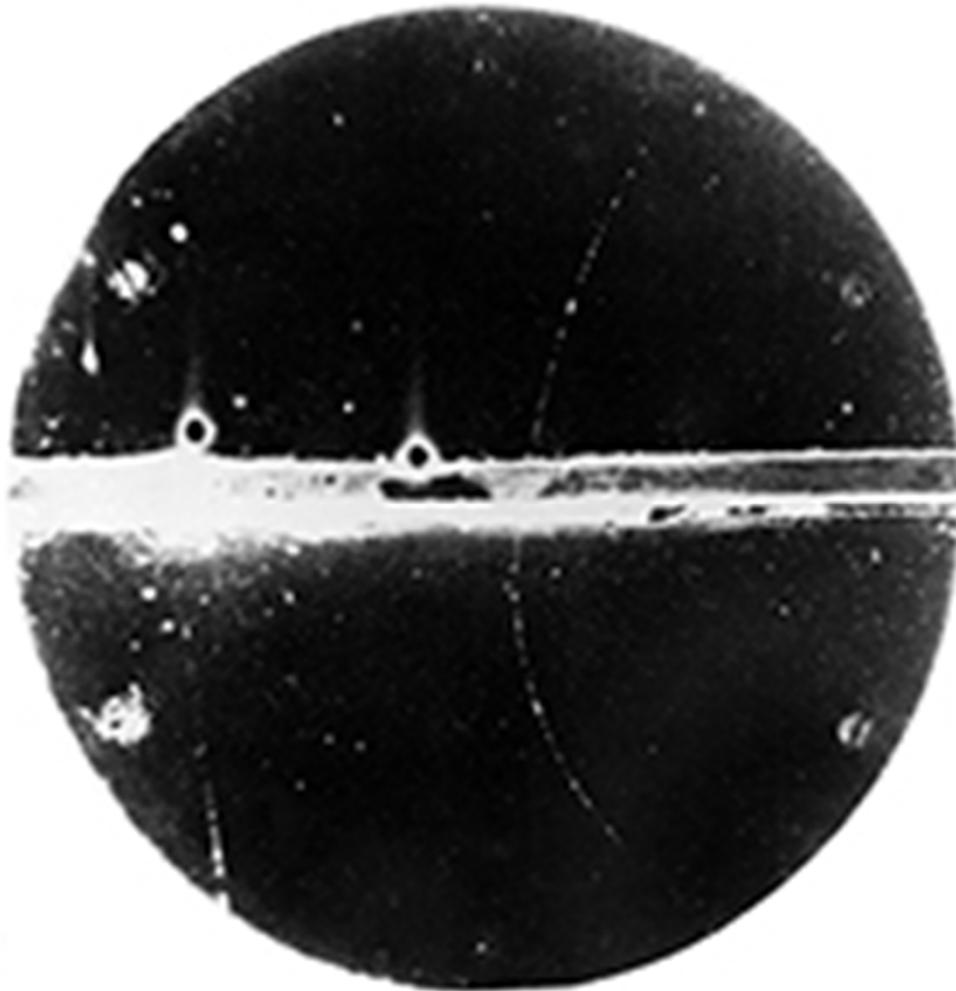
Ogni particella, come l'elettrone o il protone, ha una 'sorella' in tutto simile, ma con carica opposta

$e^- \leftrightarrow e^+$ Elettrone , Positrone

$p \leftrightarrow \bar{p}$ Protone , Antiprotone

etc

Osservazione sperimentale: Anderson, 1932



Positrone

Foto di un raggio cosmico
(camera a nebbia immersa in c.
magnetico)

Dalla curvatura della traccia:

massa $\sim m_{\text{elettrone}}$
carica $+ve$

Elettroni & Positroni

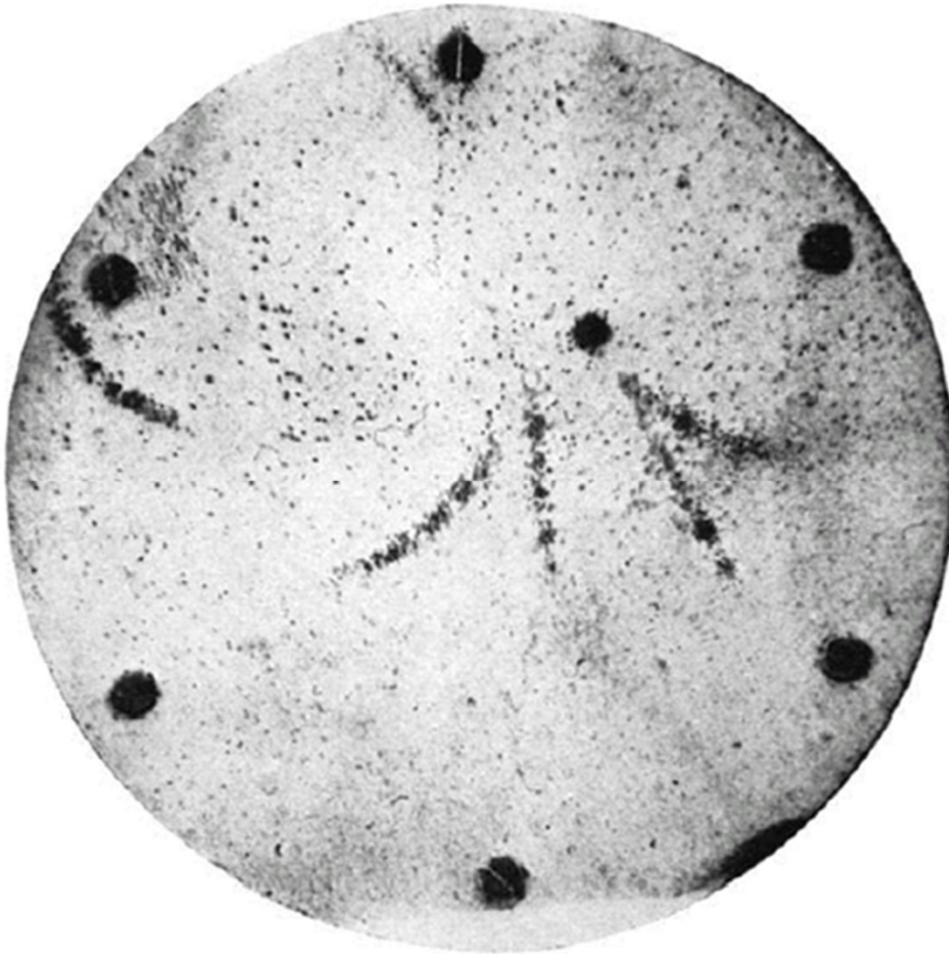


Foto in camera a nebbia esposta a raggi cosmici (anni '30)

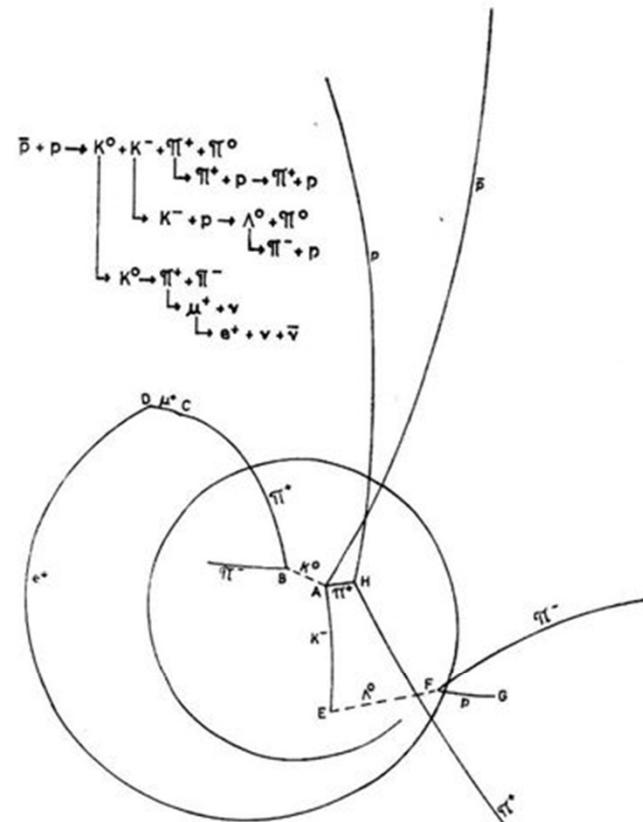
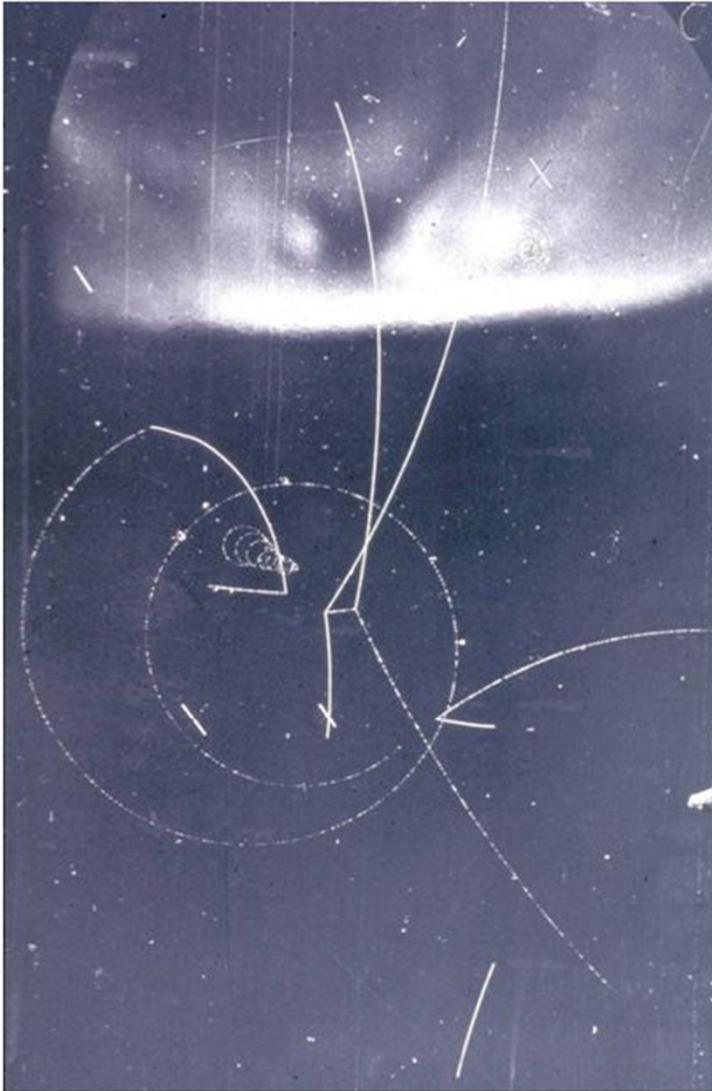
Fra gli altri processi:

2 esempi di *produzione di coppie*:

Materializzazione di raggi γ in una coppia elettrone-positrone

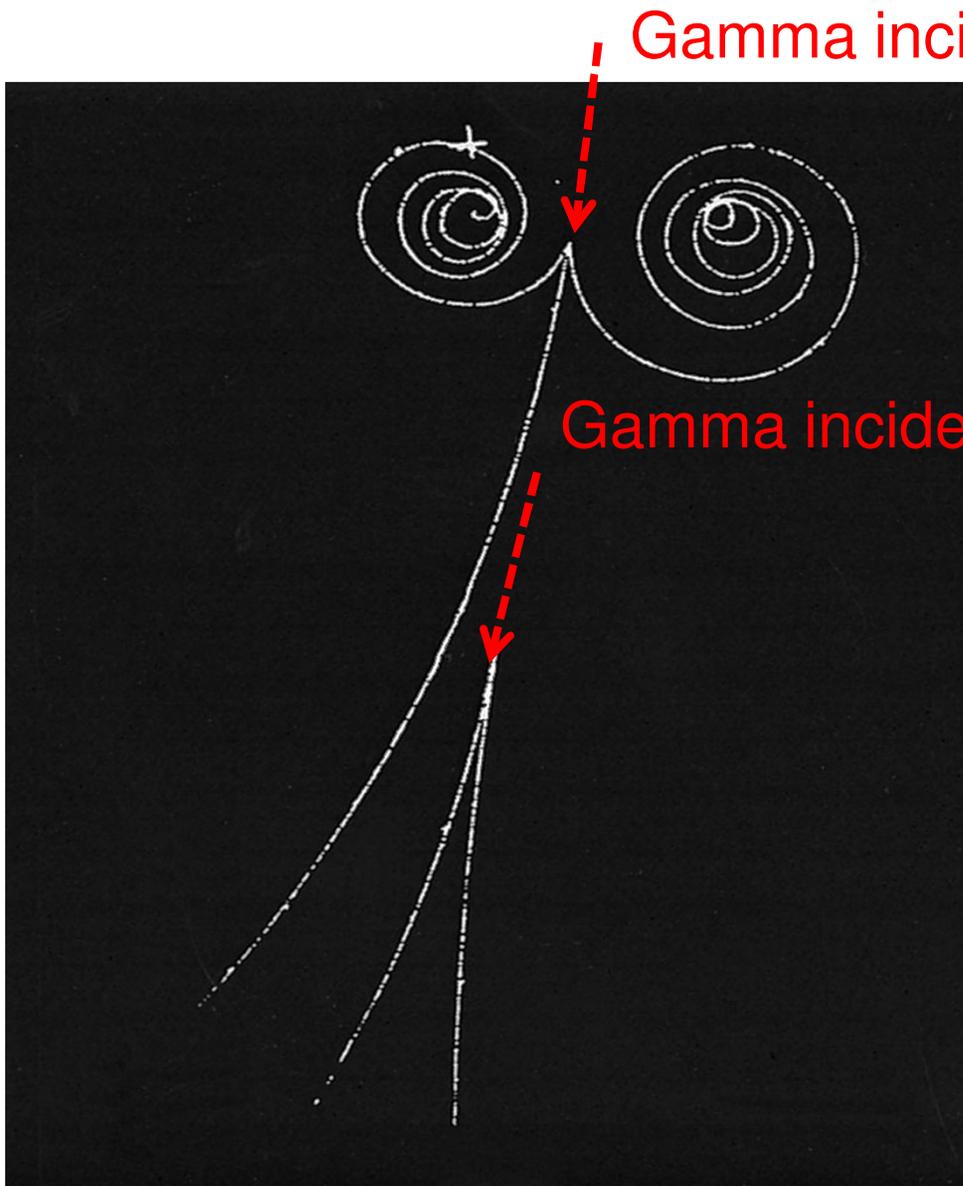
Energia \rightarrow Massa

Trasformazione di massa in energia



Annichilazione a riposo di un antiprotone
 Antimateria + Materia scompaiono
 Compaiono altre particelle di alta energia
 Camera a bolle a idrogeno liquido

Trasformazione di energia in massa

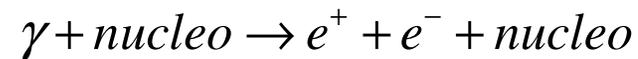


Gamma incidente

Produzione di 'tridenti':
Coppia + Elettrone atomico

Gamma incidente

Produzione di coppie :



Fotone scompare

Compaiono $e^+ e^-$

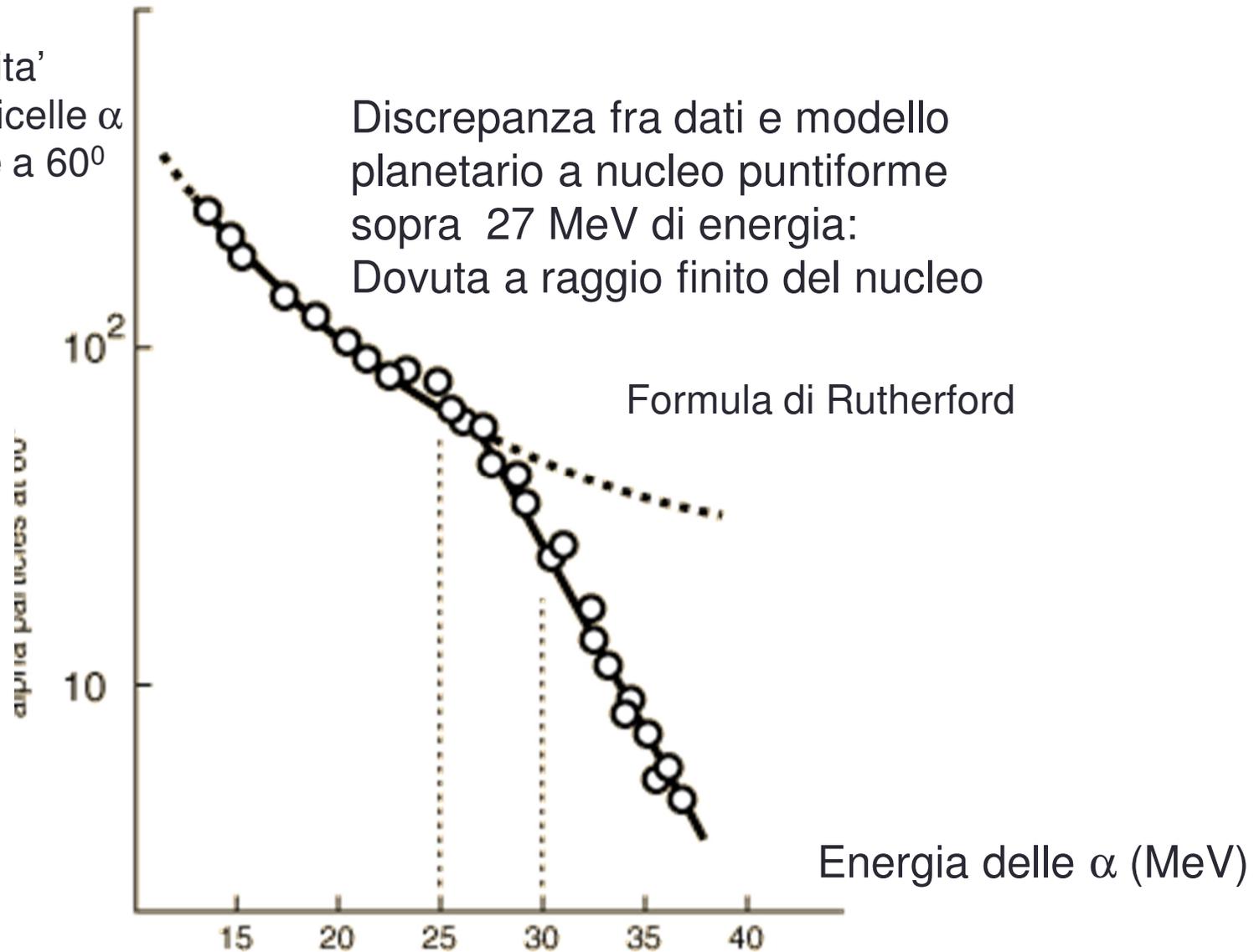
Radiazione \rightarrow Antimateria + Materia

Camera a bolle a propano liquido

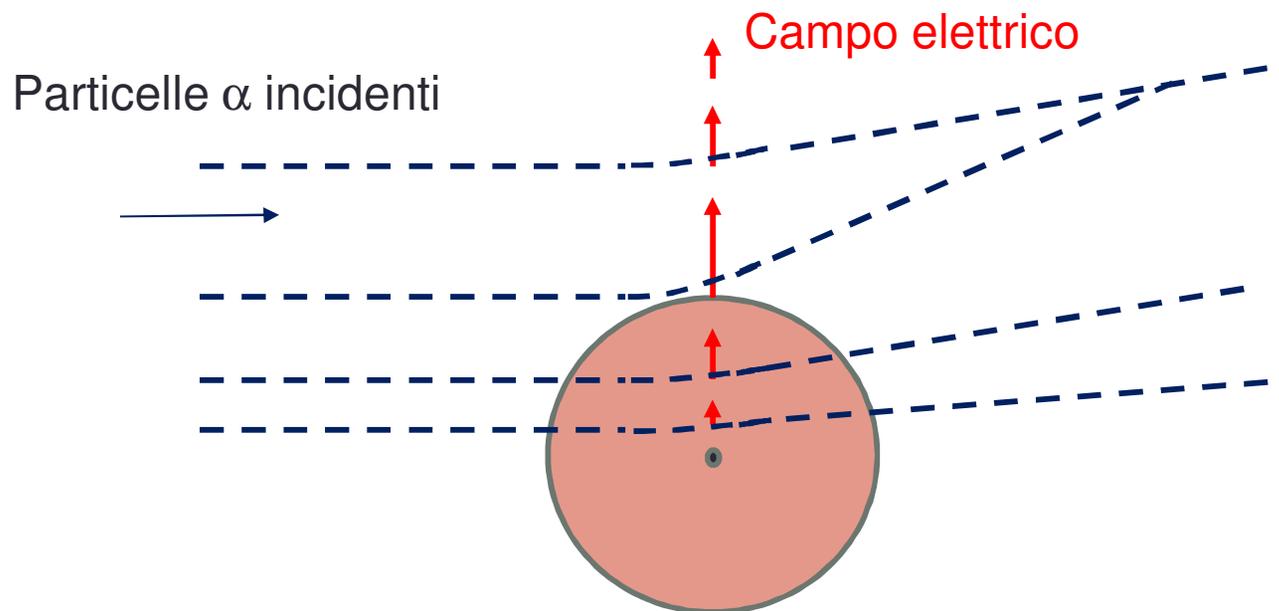
Oltre il nucleo...

Domanda: Quanto e' corretto il modello di Rutherford?

Intensita'
di particelle α
diffuse a 60°



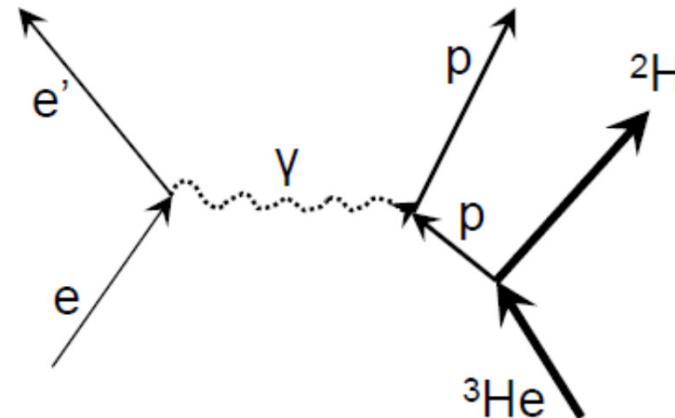
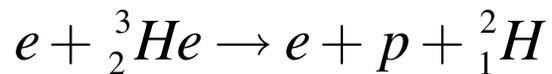
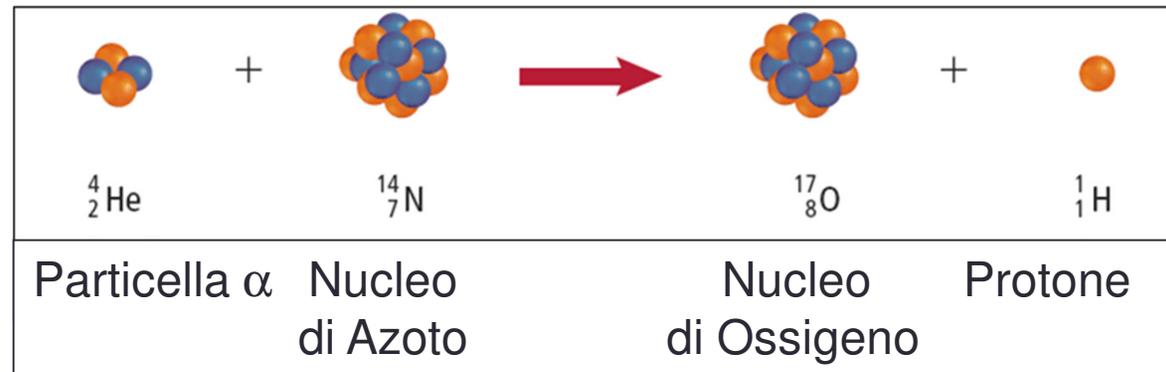
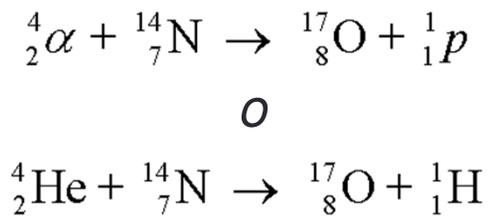
Campo elettrostatico di una sfera carica: Max alla superficie della sfera



Meno deflessioni a grande angolo rispetto a carica puntiforme
→ Il nucleo *non* e' puntiforme
→ Misura del *raggio nucleare*

$$R_{\text{nucleo}} \sim 10^{-13} \text{ cm} = 1 \text{ fm}$$

Aumentando energia del fascio incidente:
 Estrazione dal nucleo dei costituenti nucleari: *Protoni e Neutroni*
 Reazioni nucleari



Studio reazioni: Informazioni sulla struttura del nucleo

Problema nucleare n.1

I costituenti nucleari sono a carica positiva o nulla. Come fa il nucleo a restare unito, visto che cariche di ugual segno si respingono?

Ipotesi:

I costituenti sono legati dall'interazione nucleare

Nuovo tipo di forza, molto intensa e a corto raggio

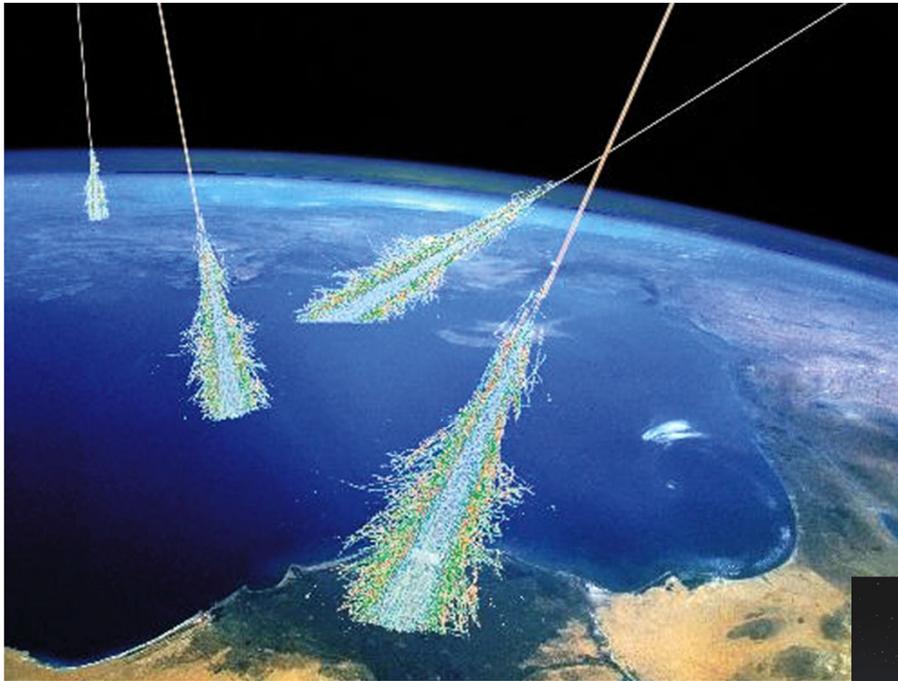
A distanze dell'ordine delle dimensioni dei costituenti nucleari $< 10^{-13}$ cm prevale sulla repulsione elettrica fra i protoni

Ma, prima degli acceleratori...

Molte delle prime scoperte in fisica delle particelle sono venute dallo studio della *radiazione cosmica*:

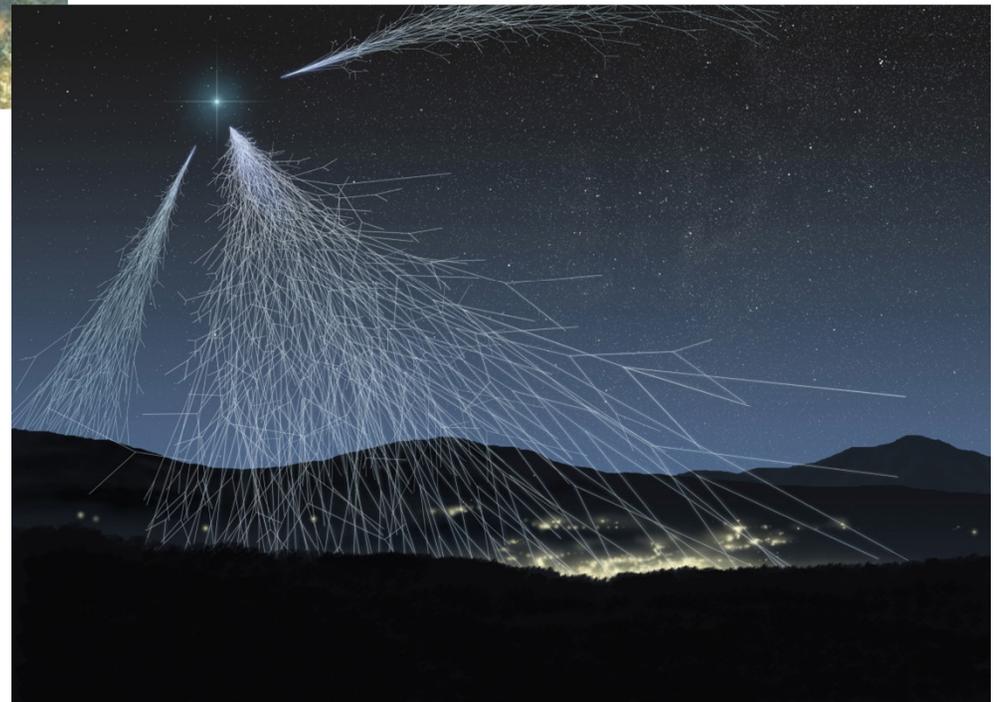
Particelle di energia elevatissima provenienti dallo spazio esterno (Galattiche, Extragalattiche)

Nuclei atomici, prevalentemente p , che urtano con i nuclei di Azoto e Ossigeno nell'atmosfera: reazioni a energia elevatissima



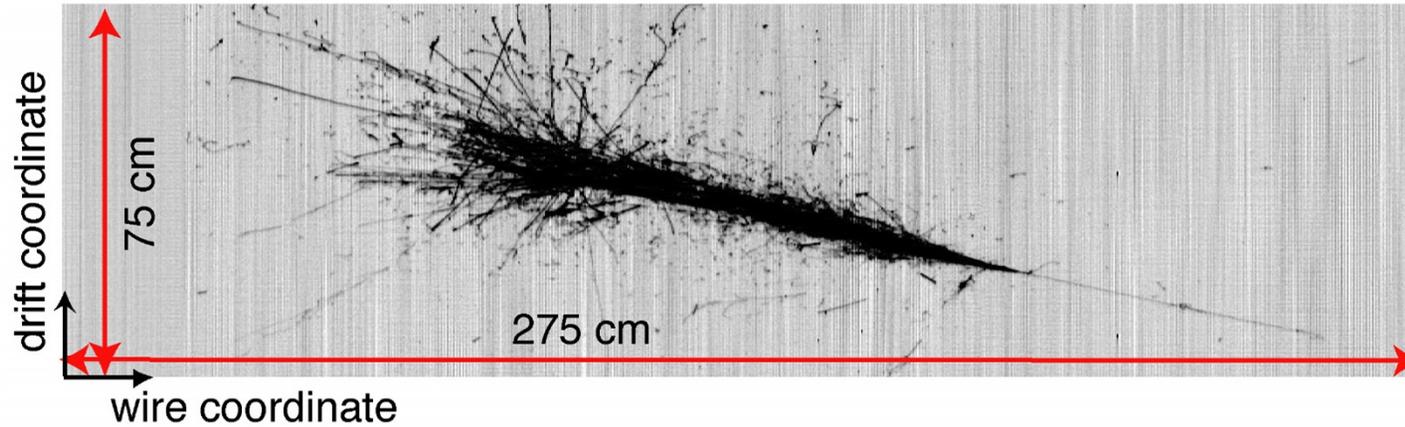
Pioggia di particelle
di alta energia sulla Terra

Sciami atmosferici estesi

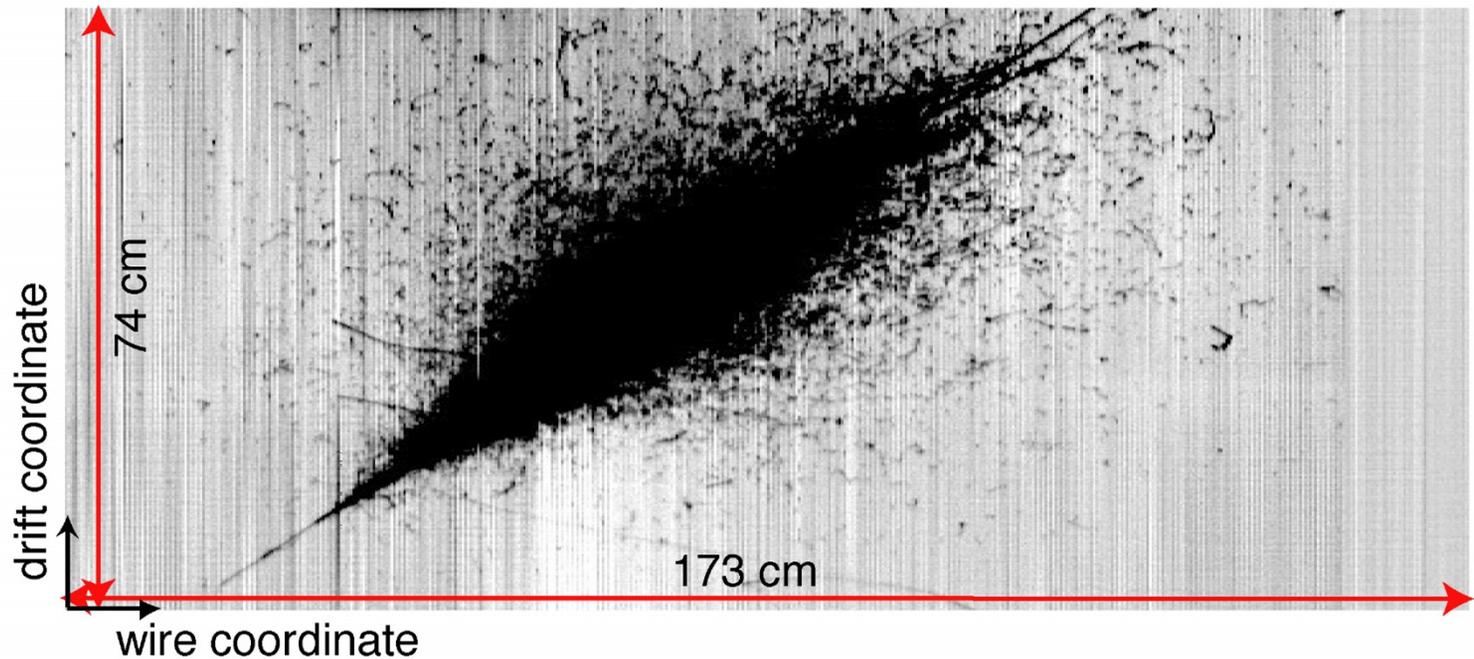


Sciami originati da raggi cosmici – Rivelatore ICARUS

Run 308 Event 7 Collection view



Run 308 Event 332 Collection view



Intensita':

Valori molto diversi

Energia:

Come sopra

Composizione:

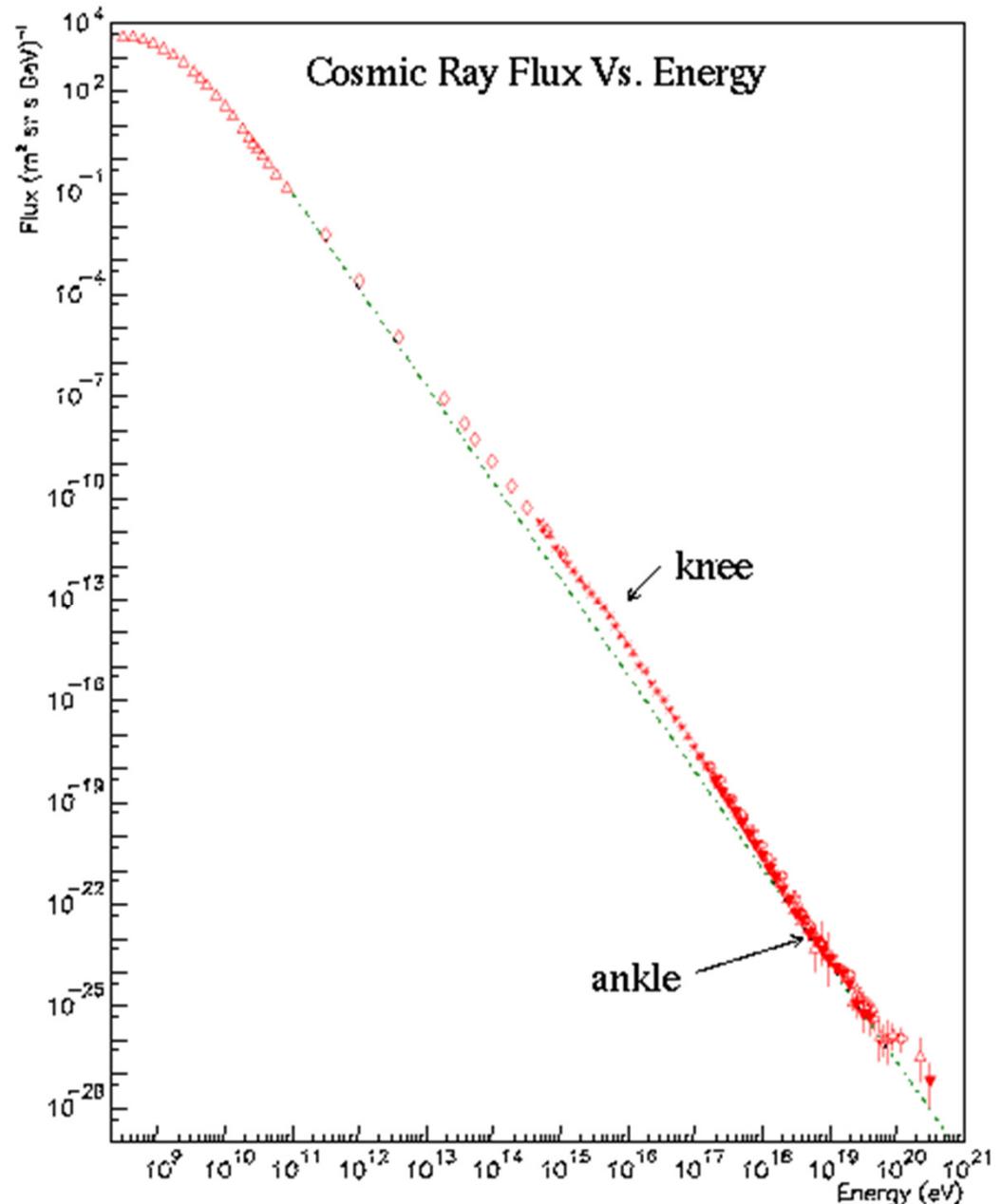
*90% protoni, 9 % particelle α ,
1% altro*

Origine:

*Sconosciuta
per le alte energie*

Fatti misteriosi:

Alcuni..



Fra i prodotti delle collisioni, prime scoperte:

Muone, un fratello pesante dell'elettrone

Pione, un parente di neutrone e protone

Particelle strane, tipi un po' originali, anche loro parenti di protone e neutrone

...e poi, gli acceleratori!

Tutte queste particelle presto prodotte e studiate, con grande successo, ai primi acceleratori di energia sufficientemente elevata

Si osservano inaspettatamente molte particelle parenti di protone e neutrone, di solito estremamente instabili ma perfettamente rivelabili

Come un *puzzle*, complicato e affascinante

Parenti di protone e neutrone, ossia particelle che interagiscono fortemente: chiamate collettivamente *adroni*
Gli adroni vengono classificati in due grandi famiglie:

Barioni - simili a protone e neutrone, piu' pesanti e con svariate proprieta' aggiuntive

Mesoni - nuovi di zecca, non osservati nello studio di atomi e nuclei a bassa energia

Tutti fortemente instabili, si disintegrano in altre particelle piu' leggere e stabili

Masse: sempre espresse in unita' di energia

$$E = mc^2 \rightarrow m = \frac{E}{c^2}, \quad E \text{ espressa in multipli di } eV \rightarrow m \text{ in } eV !$$

c^2 sottintesa

Specie adroniche piu' leggere: Inizio di una 'Tavola periodica'

Carica elettrica

	$Q = -1$	$Q = 0$	$Q = +1$
$S = +1$		K^0	K^+
$S = 0$	π^+	π^0, η	π^+
$S = -1$	K^+	K^0	

Mesoni a spin = 0

Stranezza

	$Q = -1$	$Q = 0$	$Q = +1$
$S = 0$		n	p
$S = -1$	Σ^-	Σ^0, Λ	Σ^+
$S = -2$	Ξ^+	Ξ^0	

Barioni a spin = 1/2

	$Q = -1$	$Q = 0$	$Q = +1$	$Q = +2$
$S = 0$	Δ^-	Δ^0	Δ^+	Δ^{++}
$S = -1$	Σ^{*-}	Σ^{*0}	Σ^{*+}	
$S = -2$	Ξ^{*-}	Ξ^{*0}		
$S = -3$	Ω^-			

Barioni a spin = 3/2

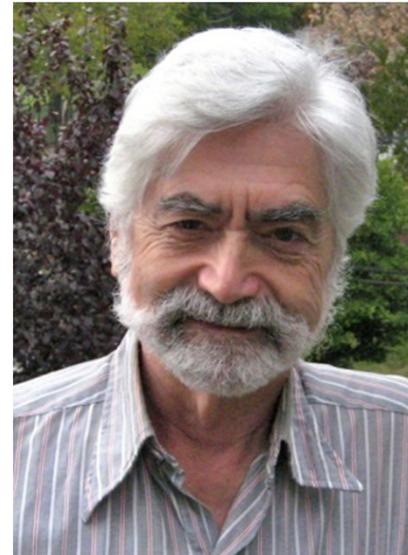
Classificazione secondo nuove proprieta', come lo *Spin* e la *Stranezza*, caratteristiche di sistemi microscopici

Centinaia di specie adroniche osservate in collisioni ad alta energia: situazione simile a quella incontrata per atomi e nuclei
Ipotesi ('64):

*Tutti gli adroni sono composti da particelle piu' semplici, i quark
(dei quali esistono 6 tipi, o sapori)*



M.Gell-Mann



G.Zweig

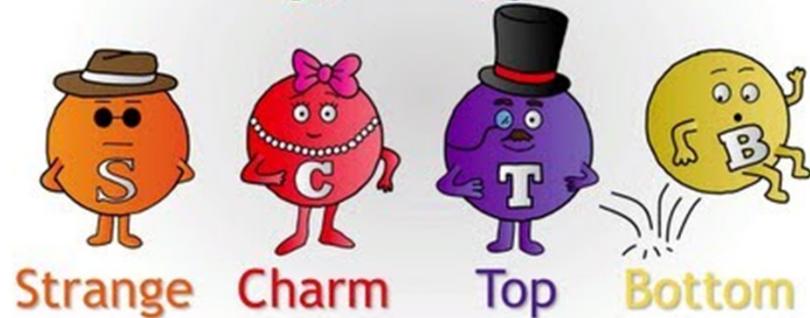
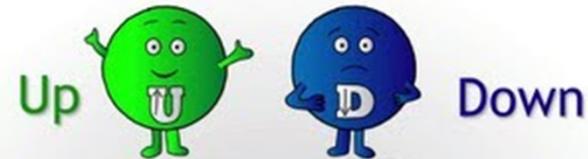
Massa
Carica
Spin
Nome

Quarks	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV
	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	u	c	t
	up	charm	top
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV
$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	
d	s	b	
down	strange	bottom	

I sei quark al lavoro...

+ i corrispondenti antiquark

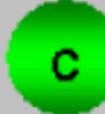
... e in famiglia



I quark interagiscono tramite la loro *carica di colore*, che ha un ruolo simile alla carica elettrica per le interazioni fra particelle cariche.

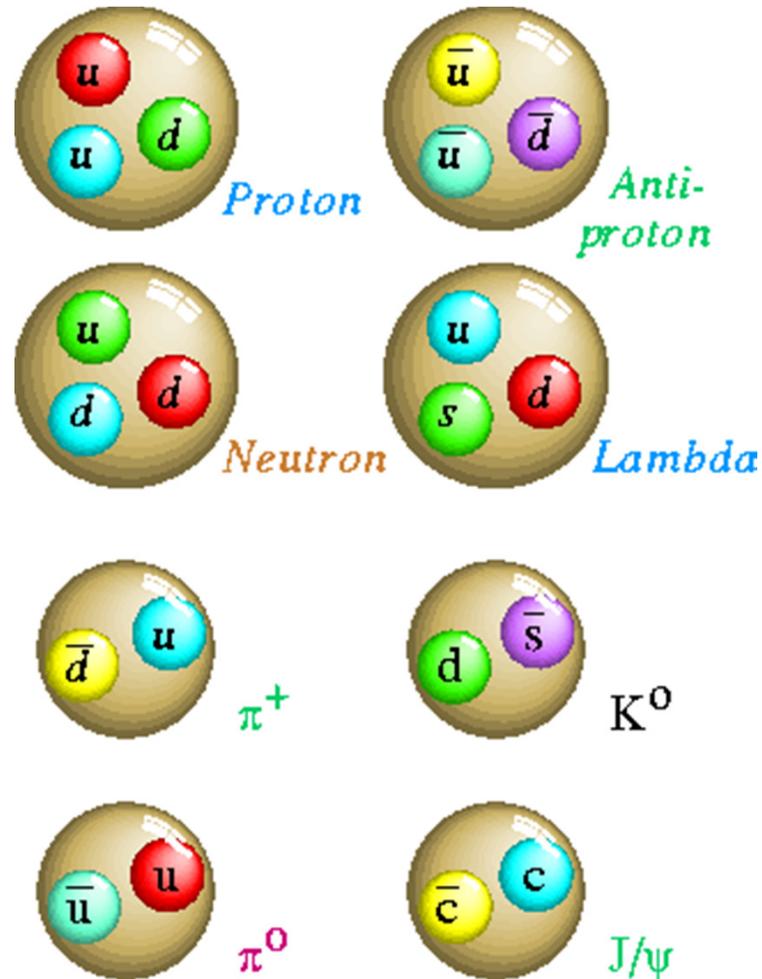
Linguaggio pittoresco ma efficace:

Ogni tipo di quark puo' trovarsi in uno fra tre diversi stati di colore : Rosso, Verde, Blu

	$+2/3$			$-1/3$		
I						
II						
III						

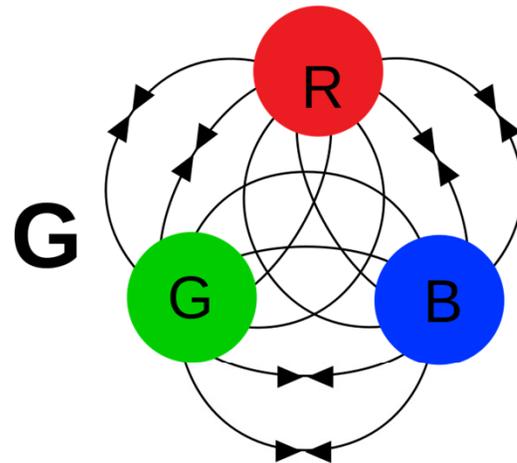
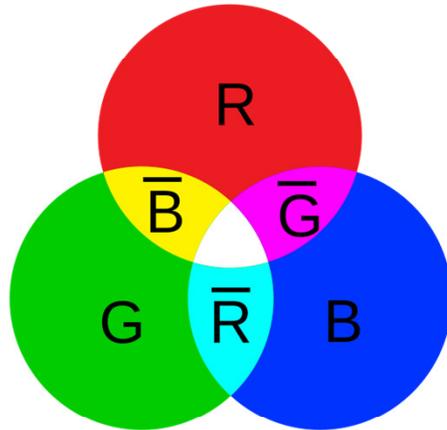
Barioni: composti da 3 quark

Mesoni: composti da 1 quark e 1 antiquark

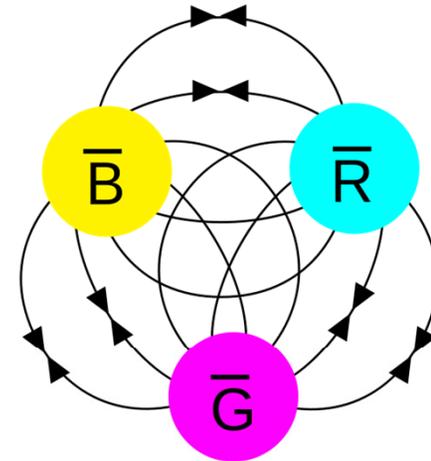


Adroni: hanno carica totale di colore nulla \rightarrow *Bianchi*

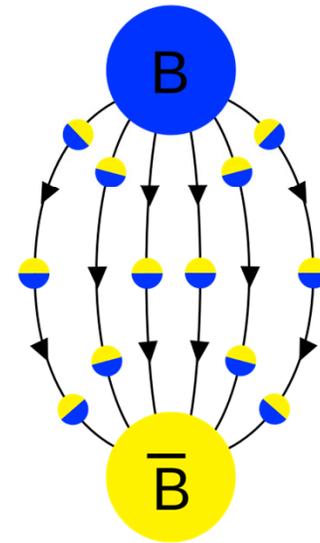
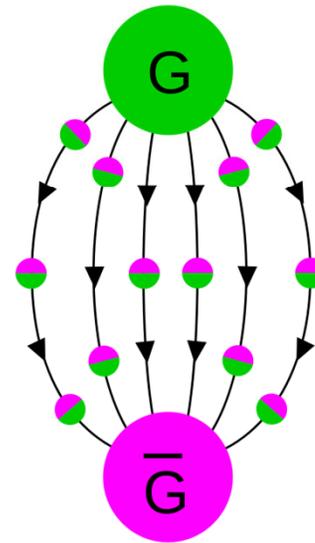
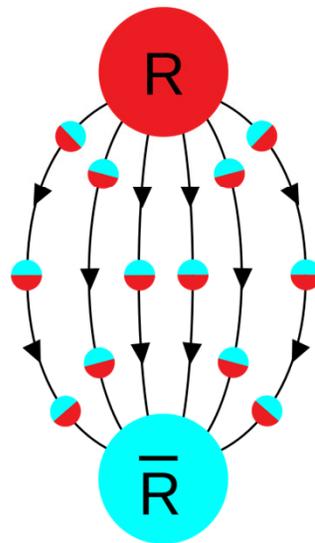
Combinazioni di colori



Barione



Antibarione



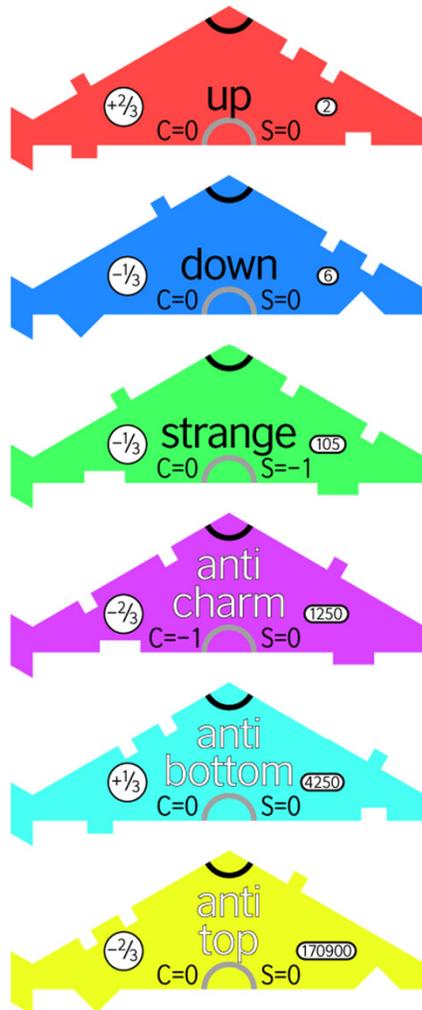
Mesoni

Quark model cards

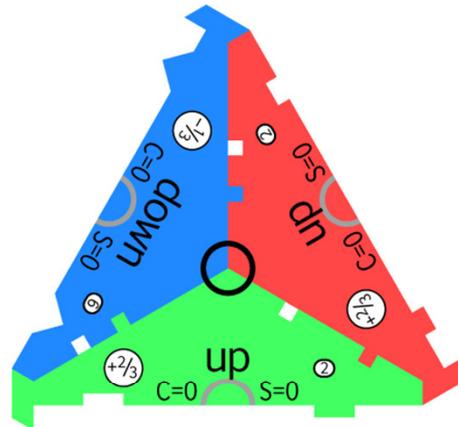
The quark model cards come in the six quark *flavours** (up, down, strange, charm, bottom and top) and their antiparticles, and each of these comes in one of three *colours* (red, green and blue, or for the antiparticles, antired, antigreen and antiblue). The cards are designed such that they can only be combined in triplets (with one of each colour), or in quark-antiquark doublets, with a colour and anti-colour. (See the pion below, for an example.)

Pupils use the cards to try to create (and identify) specific particles. Also, if the pupils are not told in advance of the colour-combination rule, they can discover this for themselves, as they notice that only certain combinations are permitted. They can then be introduced to the idea of using experimentally observed data (combinations) to derive new theoretical ideas (the rule of colour combinations).

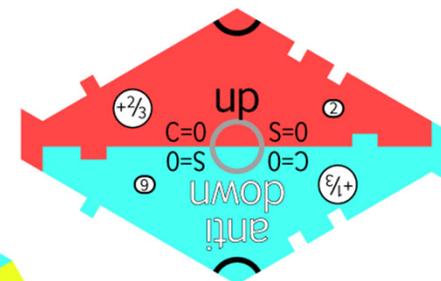
* The trippy terms 'quark', 'flavour' and 'colour' come from the heady days of the sixties (and Murray Gellman's whimsy), but 'colour' does at least have some point: the rule for the combinations of quarks by the property called *colour* does obey the same mathematical rules as for the combination of primary colours to form white light: you need red, green and blue (or cyan, magenta and yellow) triples to form white light, or you can use the pairing of a colour plus its opposite (green and magenta, say) to do the same.



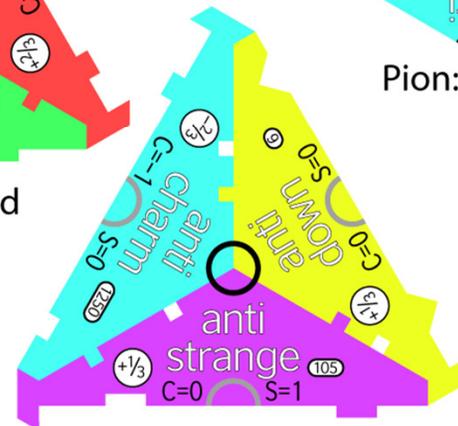
Examples of the thirty-six different cards



Proton: $p = uud$



Pion: $\pi^+ = u\bar{d}$



Charmed Xi: $\Xi_c^{*0} = \bar{d}\bar{s}\bar{c}u$

Peter Reid, FUSION, 2011

Acquistabili sul Web...

Proprieta' peculiari dei quark:

carica elettrica frazionaria

Caratteristica alla base di molte iniziali ricerche sperimentali dei quark

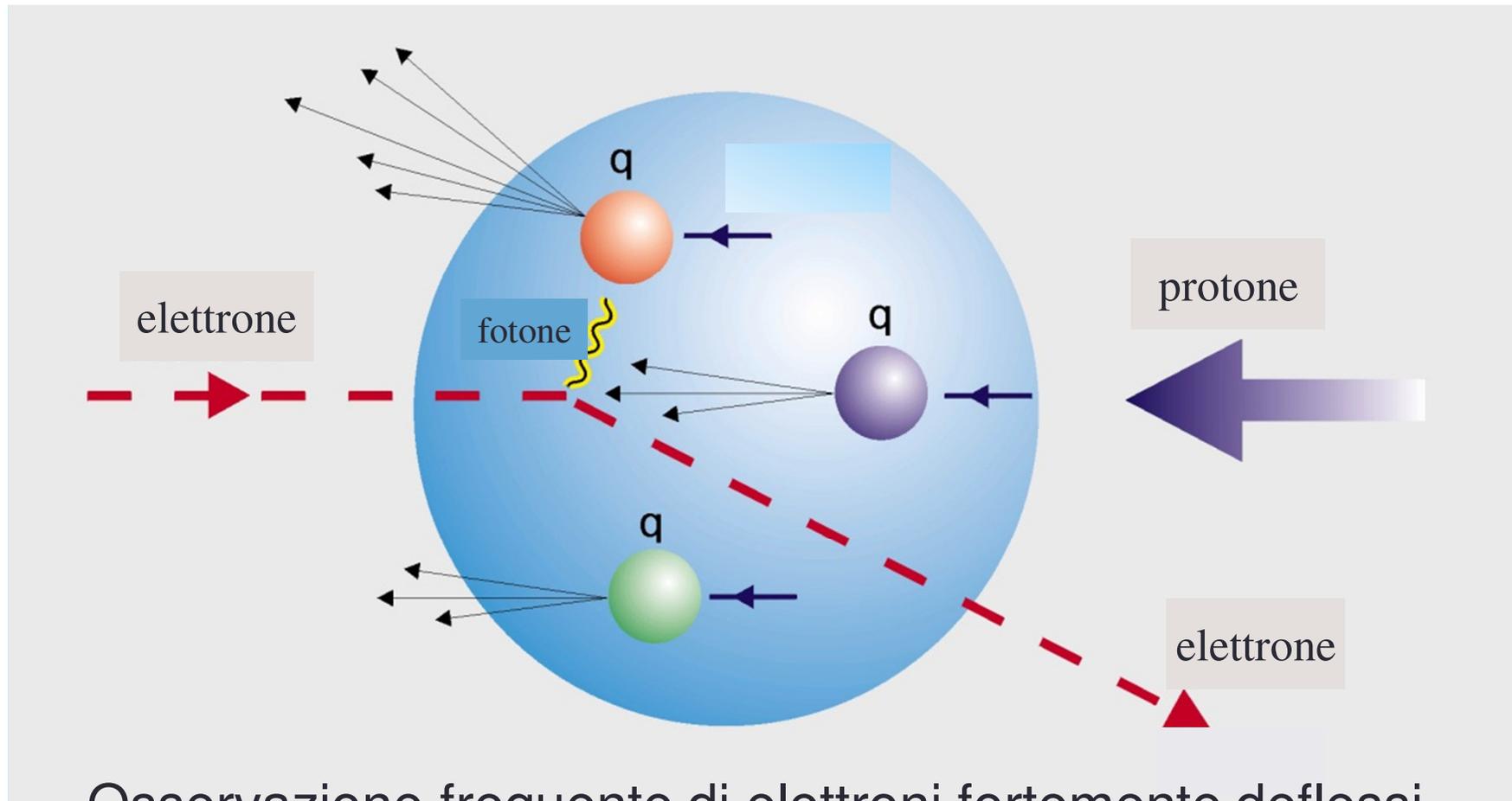
carica di colore

Nome fittizio per una proprieta' che, diversamente dalla carica elettrica, *non* ha un equivalente macroscopico

Ricerca 'a tappeto' di evidenze sperimentali per i quark:

Impossibile osservarli liberi, come p e s i costituenti del nucleo

Urto profondamente anelastico elettrone-protone: Versione ingigantita dell'esperimento di Rutherford

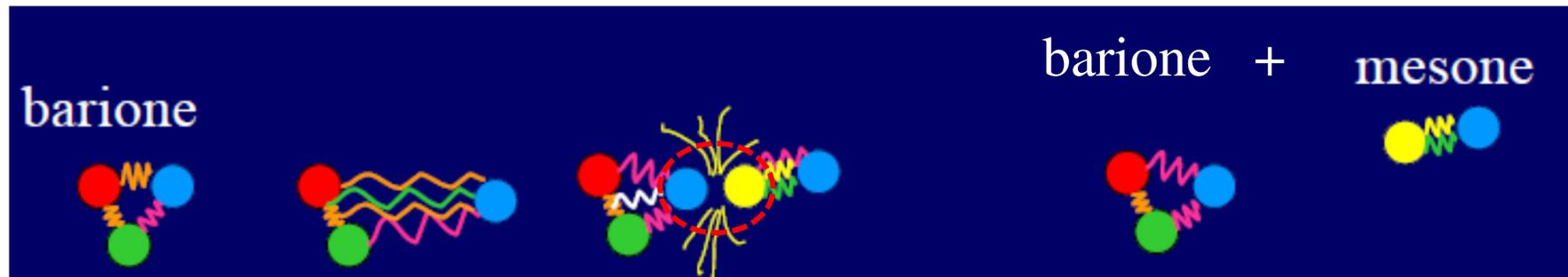


Osservazione frequente di elettroni fortemente deflessi
→Indicazione di costituenti puntiformi → Quark

Situazione simile all'urto con i costituenti nucleari
 Differenza fondamentale:

I quark liberi non sono osservabili
La carica di colore e' confinata

Legati negli adroni da *forze di colore*
 E quando si cerca di liberarli?



Barione

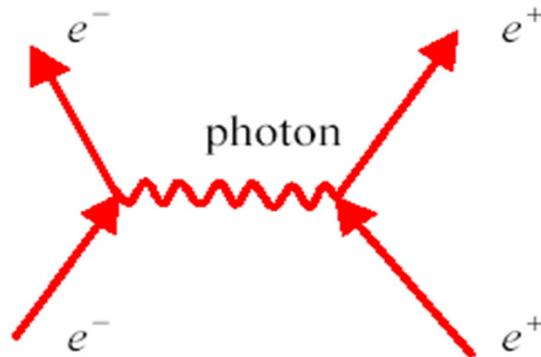
Uno dei 3 q
 e' urtato

Dal vuoto si forma
 una coppia $q\bar{q}$

Restano
 Barione + Mesone

Interazione elettromagnetica:

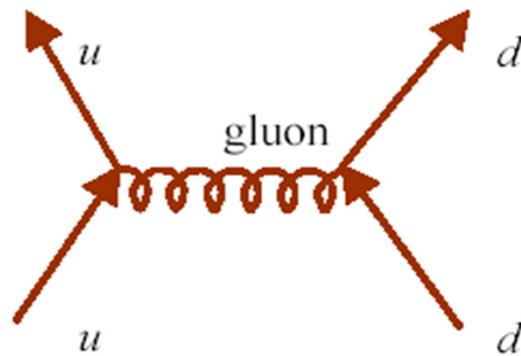
Descritta quantisticamente dallo scambio di fotoni fra particelle cariche



Fotone: privo di massa
→ Sempre con velocità c

Interazione di colore:

Descritta quantisticamente dallo scambio di gluoni fra particelle colorate



Gluone: privo di massa
→ Sempre con velocità c

Ma:

Un solo fotone, privo di carica elettrica

*Otto diversi gluoni, dotati di carica di colore
(un po' diversa da quella dei quark)*

Gluoni: come i quark, sono particelle confinate:

Non sono osservabili come particelle libere

Interazione di colore: fenomeni complessi, simili a/diversi da quelli originati dall'interazione elettromagnetica

Forze fra adroni: di natura secondaria, come le *forze molecolari* fra atomi/molecole elettricamente neutri

Tentativo di chiarimento di una questione che a volte suscita dubbi:

Parecchi diversi tipi di forze molecolari/legami chimici

Ionico

Covalente

Coordinazione

Idrogeno

Metallico

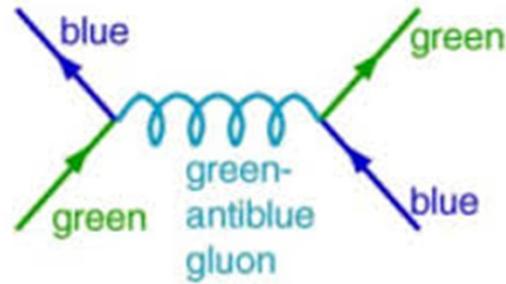
Van der Waals

Non dovuti a forze di natura diversa:

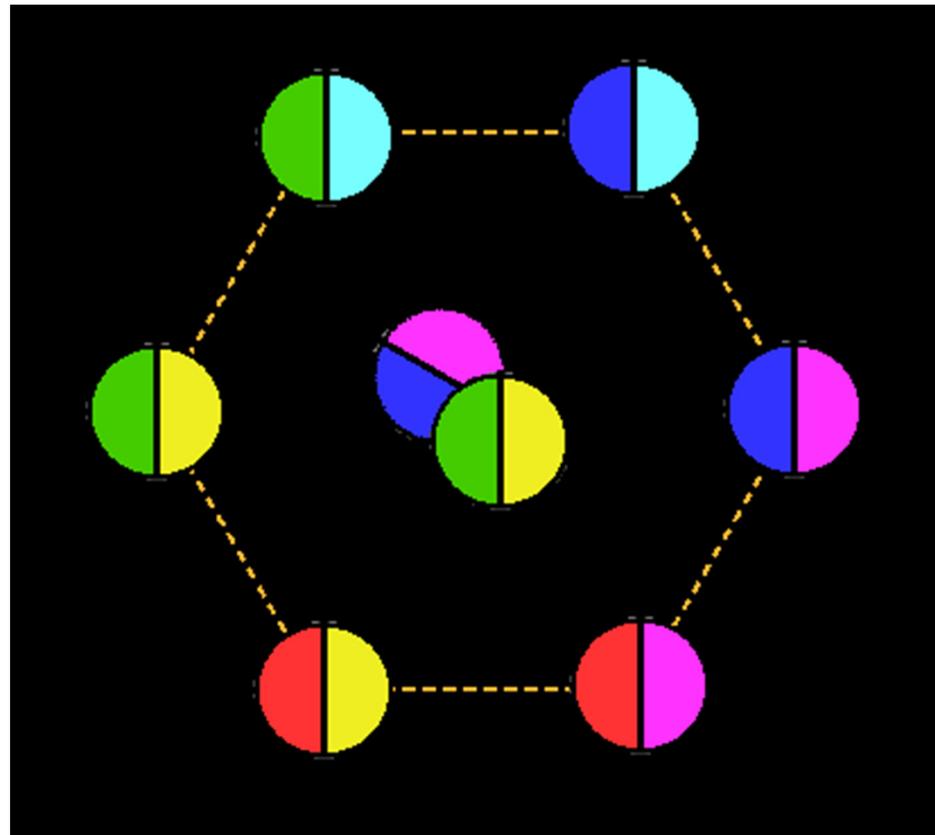
*Tutti originati dall'interazione elettromagnetica,
ogni volta travestita in modo diverso*

Otto gluoni: ognuno colore+anticolore

Esempio:
Verde-Antiblu



Tutti



Se sono sempre confinati, come si fa a osservare i quark e i gluoni?

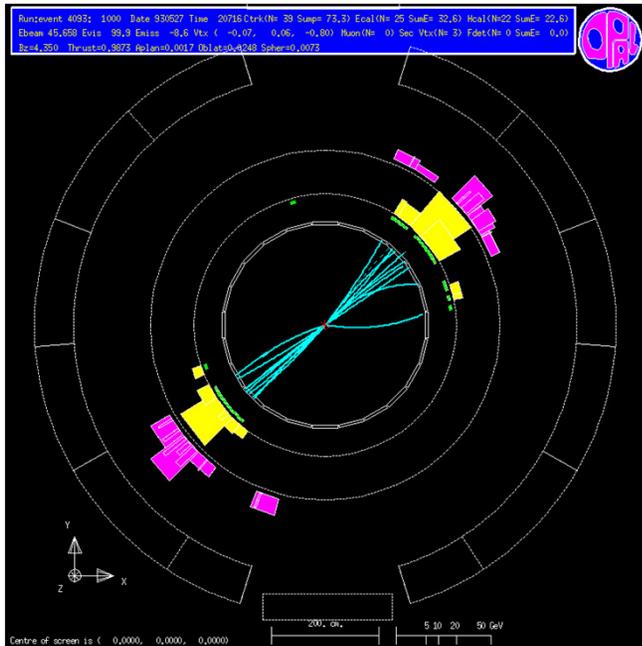
Quark e gluoni sono abbondantemente prodotti nelle collisioni ad alta energia, per esempio ai collisori $e^+ e^-$

In un tempo molto breve $\sim 10^{-26}$ s si 'sgretolano' in adroni ordinari e rivelabili

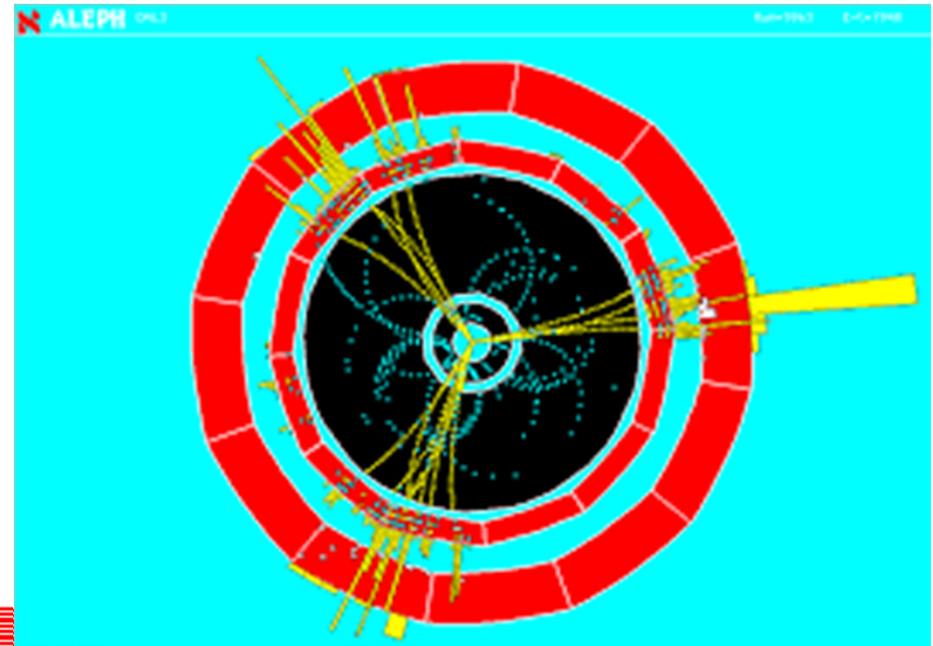
Osservati sotto forma di 'getti' di tracce collimate

→ *Jets*

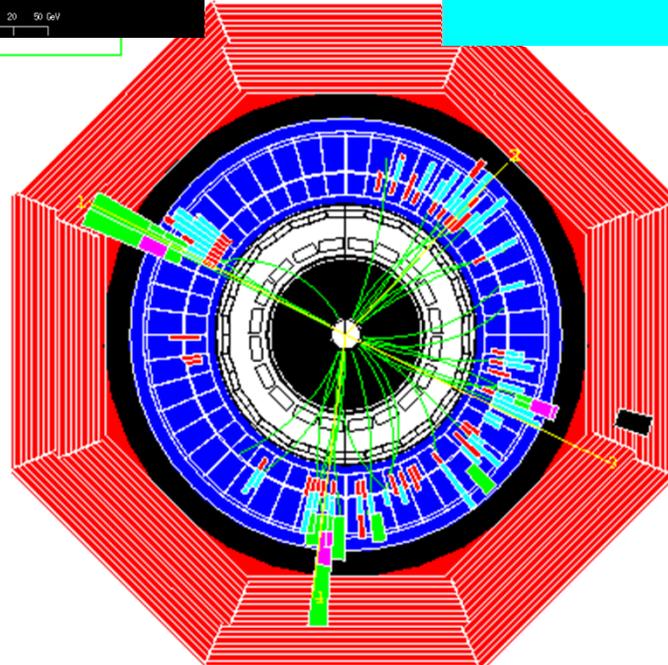
Lo studio dei jets conduce a determinare indirettamente molte proprietà dei quark, gluoni e dell'interazione di colore



2 jets



3 jets

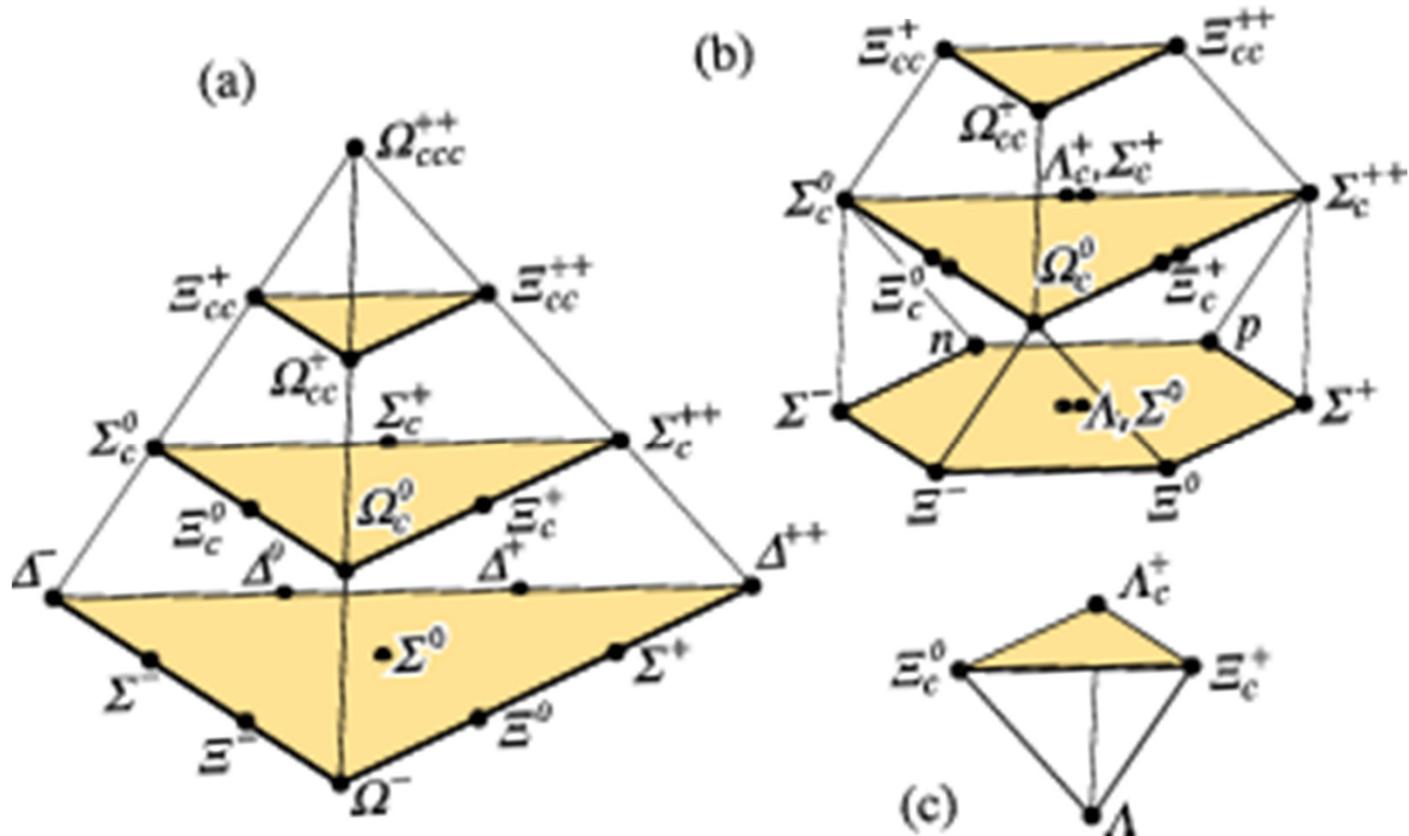


4 jets



Lo studio della 'tavola periodica' degli adroni da' altre informazioni su quark, gluoni etc

Centinaia di particelle osservate, catalogate e classificate in schemi ordinati



La 'spettroscopia degli adroni':

Altre prove convincenti e indipendenti della validita' delle ipotesi sull'interazione di colore e sulle sue proprieta'

Restano difficoltà pratiche per calcolare dai principi primi tutte le proprieta' osservate dello zoo degli adroni

Verifiche numeriche, estese e dettagliate, danno risultati positivi

Morale:

L'interazione di colore e' oggi una parte solida e ben verificata del Modello Standard

Problema nucleare n. 2

Perche' molte specie nucleari, e anche molti adroni, sono instabili e si disintegrano spontaneamente?

Diverse modalita' di disintegrazione: la piu' interessante, nota come *decadimento beta*, ha strane caratteristiche

Ipotesi:

*I costituenti nucleari sono soggetti
all'interazione debole*

molto meno intensa dell'interazione elettromagnetica, a energie non troppo elevate

Anch'essa non si manifesta fra corpi macroscopici: raggio d'azione piccolissimo, $< 10^{-16}$ cm!

Ma quali sono i costituenti elementari, a parte quark e gluoni? Alcuni li abbiamo già incontrati:

Elettrone

Muone

Fotone

Tutti sono privi di carica di colore, e quindi

Non sentono l'interazione di colore

Analogia: Una particella priva di carica elettrica non sente l'interazione elettromagnetica

Caratteristica interessante del muone: *Instabilita'*

Si disintegra dopo un tempo breve ($2.2 \cdot 10^{-6}$ s) secondo lo schema

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e, \text{ simile per } \mu^+$$

ν_μ, ν_e : Nuove particelle

Neutrini

~ privi di massa e di carica

Uno associato all'elettrone, l'altro al muone

Scoperta poi una terza particella instabile, il *tau* e il relativo neutrino: fratello piu' pesante degli altri due - Instabile

Leptoni:

	<p>Carica elettrica</p> <p>0</p> <p>Spin</p> <p>$<2.2 \text{ eV}/c^2$</p> <p>ν_e</p> <p>neutrino elettronico</p>	<p>$<0.17 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>0</p> <p>ν_μ</p> <p>neutrino muonico</p>	<p>$<15.5 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>0</p> <p>ν_τ</p> <p>neutrino tauonico</p> <p>Massa</p>
Leptoni	<p>$0.511 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>-1</p> <p>$\frac{1}{2}$</p> <p>e</p> <p>elettrone</p>	<p>$105.7 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>-1</p> <p>$\frac{1}{2}$</p> <p>μ</p> <p>muone</p>	<p>$1.777 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>-1</p> <p>$\frac{1}{2}$</p> <p>τ</p> <p>tauone</p>

+ i corrispondenti antileptoni

*Tutti sentono l'interazione debole,
quelli carichi anche quella elettromagnetica*

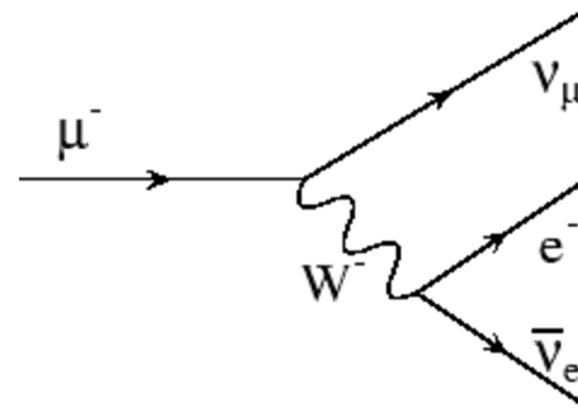
Interazione debole:

Struttura simile a quella elettromagnetica e di colore

Due modi fondamentali:

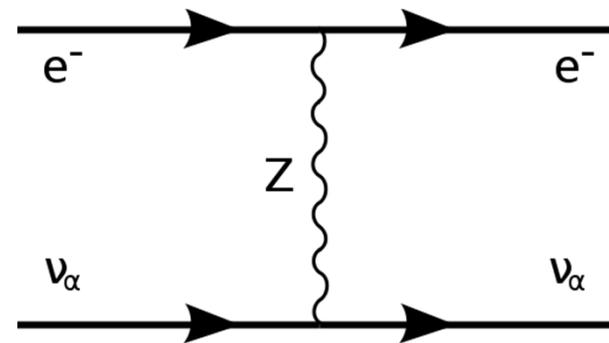
Corrente carica

Scambio di una particella pesante, carica: W^+ , W^-
 → *Il leptone cambia carica*



Corrente neutra

Scambio di una particella pesante, neutra: Z^0
 → *Il leptone non cambia carica*
 Come con il fotone



Corrente carica: Anche fra quark

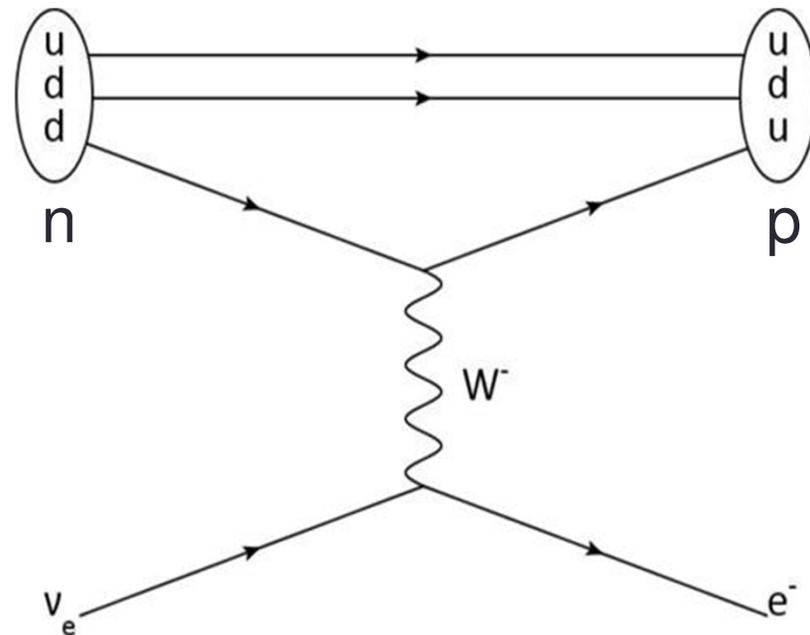
→ I quark possono cambiare carica, e di fatto natura

Processi del tutto simili a quelli fra leptoni

Esempio:
Decadimento del neutrone

Quark $d \rightarrow$ Quark u

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



Corrente neutra:

Simile (ma non identica!) a corrente elettromagnetica

→Suggerisce la possibilità' che le due siano *parti diverse di una stessa interazione*

Possibilità' effettivamente realizzata in natura:

Unificazione elettrodebole

Unica interazione, basata sullo scambio di quattro diversi mediatori:

$$\gamma, W^+, W^-, Z^0$$

fra correnti di leptoni o di quark

CERN, 1978-1983

Trasformazione del SPS in un collider antiprotone-protone

Sviluppo di tecniche innovative per produrre fasci intensi di antiprotoni

Realizzazione dei primi rivelatori di grandi dimensioni con caratteristiche avanzate

Passo cruciale:
Osservazione sperimentale di W e Z



C. Rubbia



S. Van Der Meer

Meta' anni 70: prime proposte, da parte di *Rubbia* e collaboratori, per modificare le macchine esistenti (a Fermilab e al CERN), a bersaglio fisso, in collisori

Proposta rifiutata al Fermilab e accettata al CERN nel 1978

Difficolta': per non dover raddoppiare il sistema di guida magnetica per i 2 fasci, essi devono percorrere la stessa orbita (in senso opposto...)

Occorre quindi che i due fasci abbiano carica opposta:
protoni + antiprotoni

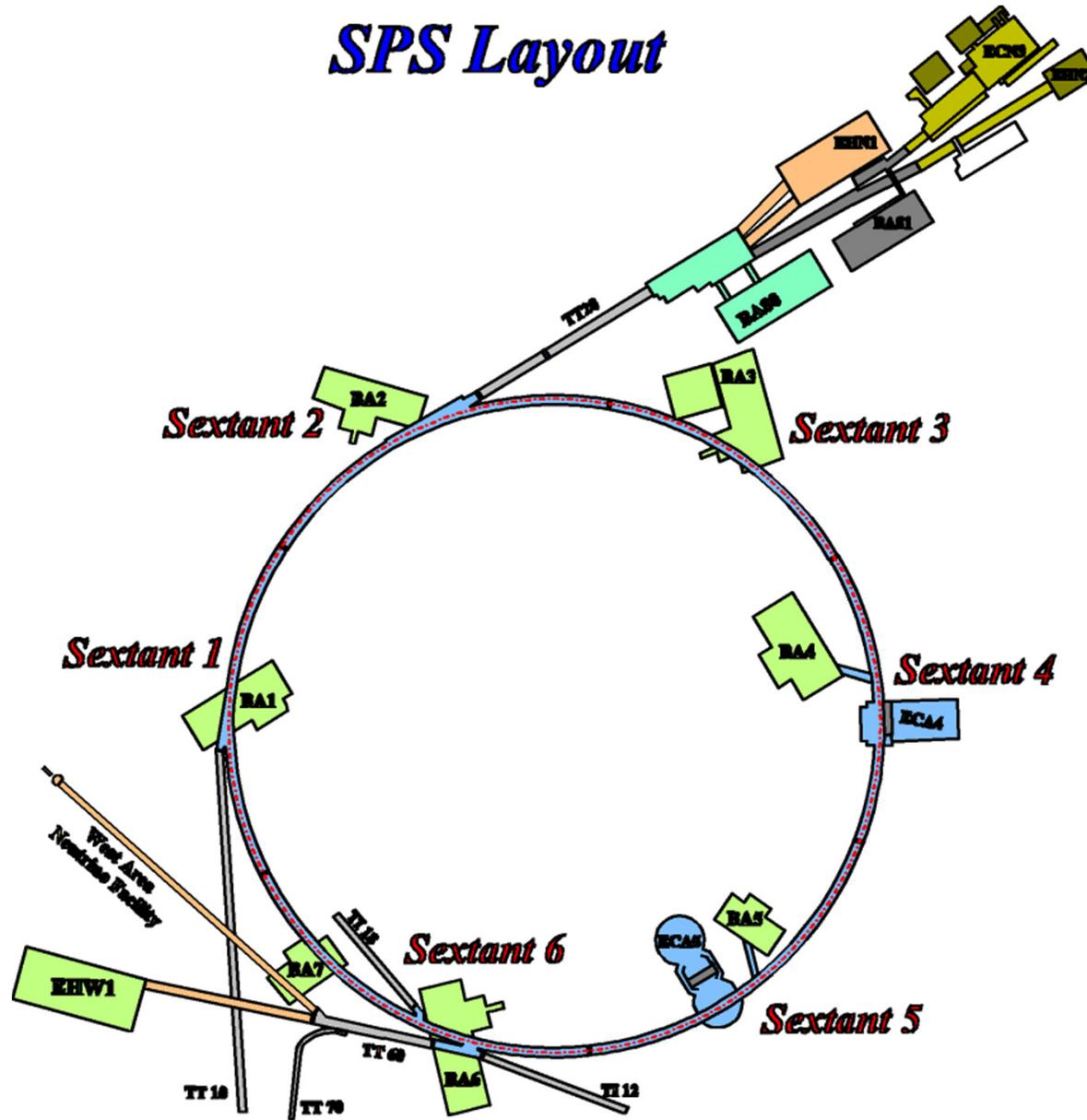
Occorre quindi produrre e accumulare una quantità adeguata di antiprotoni

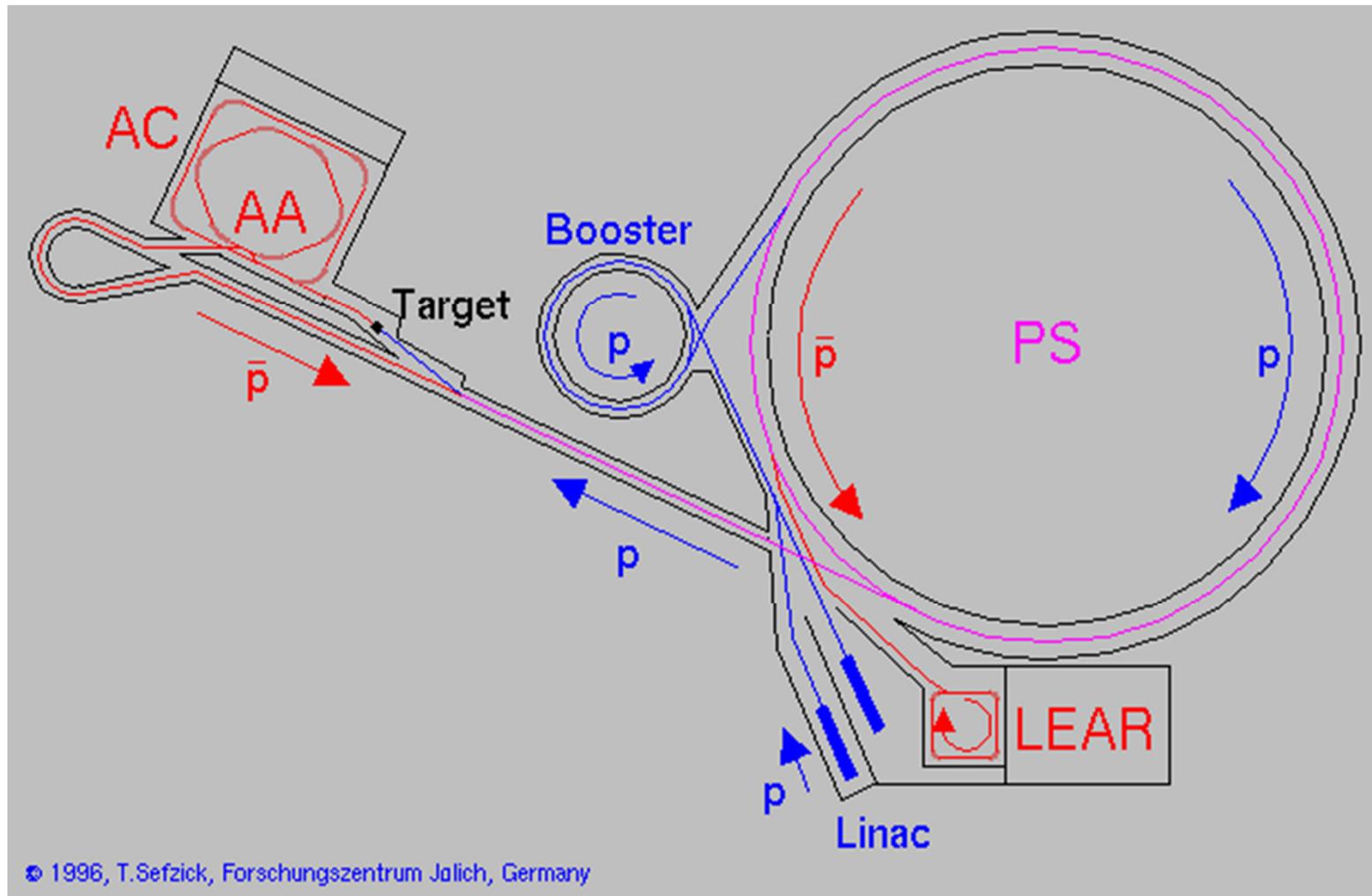
Essi vengono creati in collisioni a bersaglio fisso, ma arrivano molto dispersi in *velocità* e *direzione* (simili per certi aspetti a un *gas caldo*)

Bisogna “raffreddarli”.....

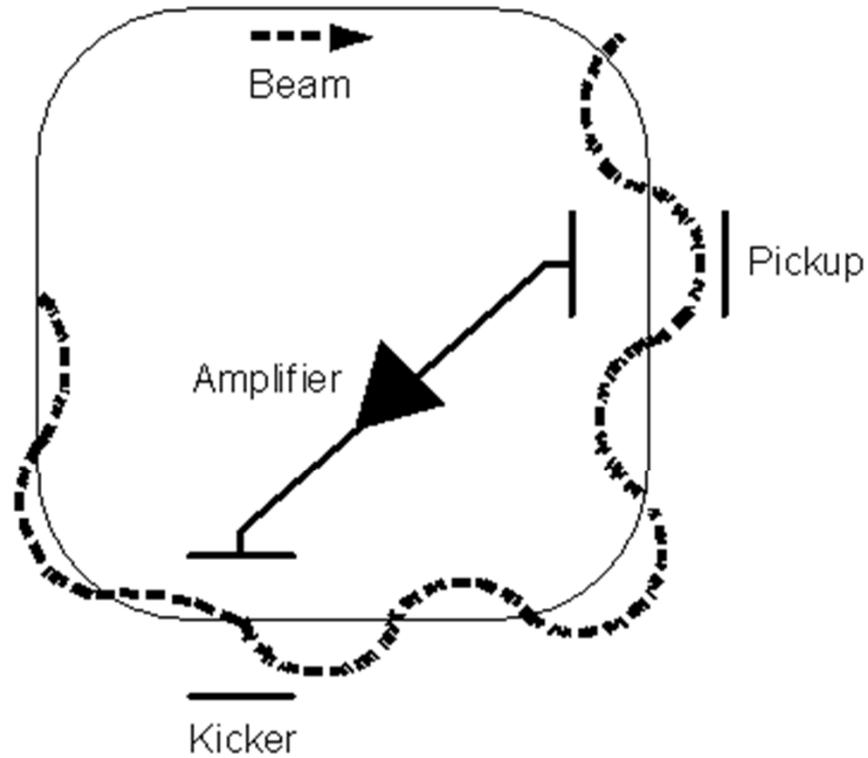
Van der Meer (CERN) inventa la soluzione, il *raffreddamento stocastico*

SPS Layout





Produzione, stoccaggio, raffreddamento
e trasferimento degli antiprotoni



Meccanismo di riduzione della dispersione in energia e direzione degli antiprotoni

W e Z sono instabili → si disintegrano in particelle più stabili in molti modi

Modi caratteristici attesi:

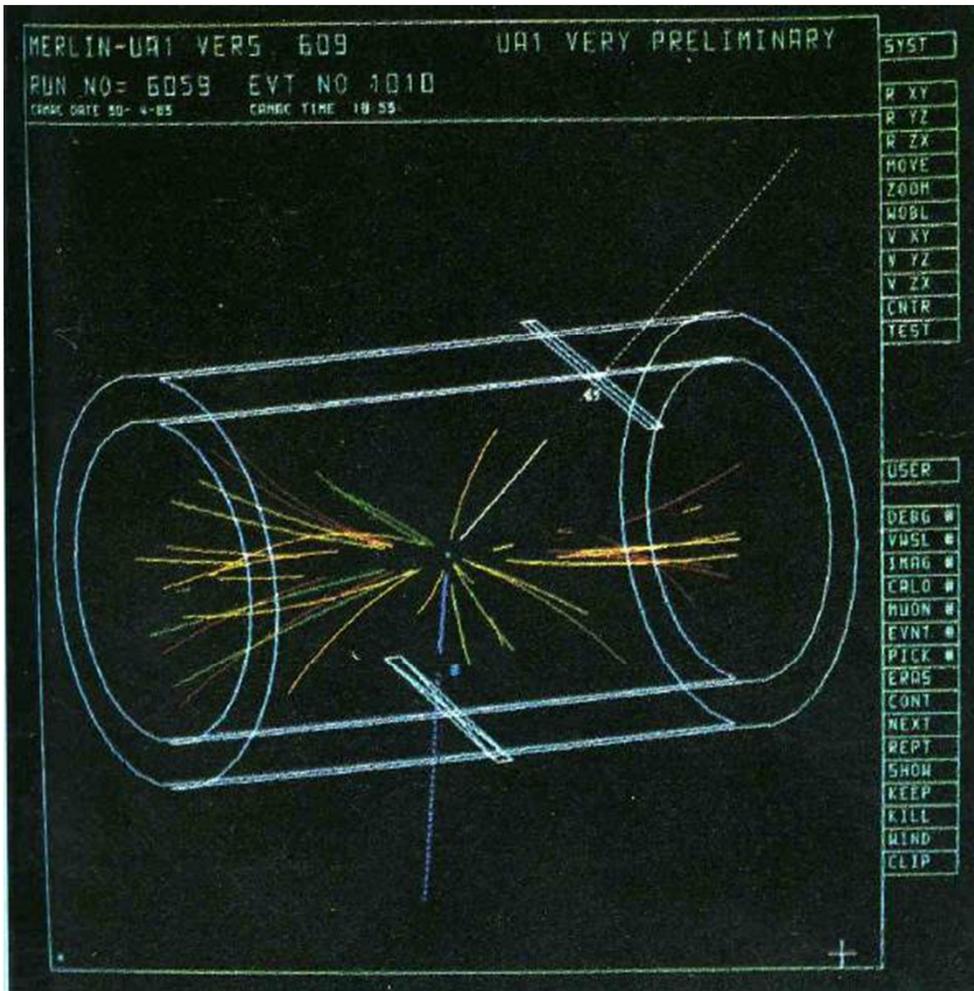
$$W^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu_e \text{ (opp. } \bar{\nu}_e), W^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \text{ (opp. } \bar{\nu}_{\mu})$$

$$Z^0 \rightarrow e^+ + e^-, Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$$

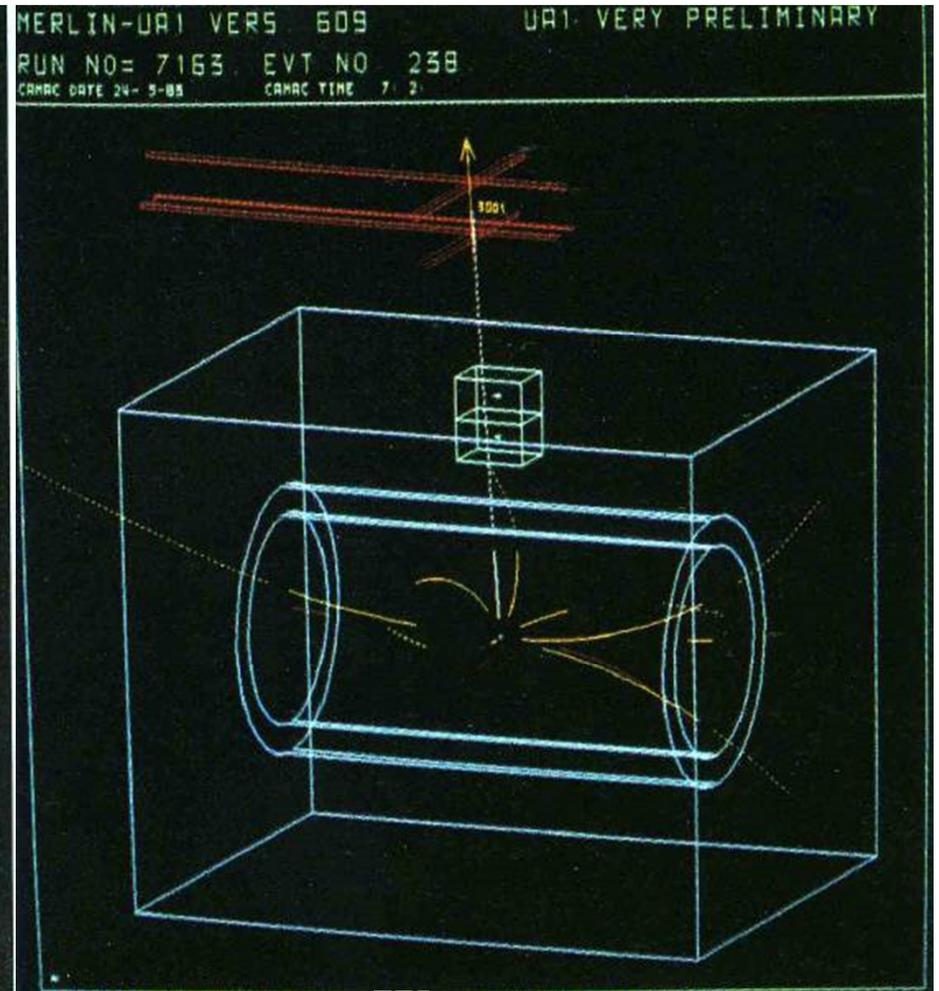
Particolarmente adatti alla rivelazione ad un collider (tracce energetiche a grande angolo)

Scelta di un rivelatore *ermetico* per evidenziare segnali indiretti di decadimenti con *neutrini*

UA1 1983



$$Z^0 \rightarrow e^+e^-$$



$$W^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$$

CERN anni '90: Fisica a LEP
Large Electron Positron (Collider)

Collisore e^+e^- 90 ÷ 209 GeV

Studio dettagliato di Z^0 e W
Misure di precisione

Convalida accurata ed estesa
dell'unificazione elettrodebole



***L'interazione elettrodebole e' oggi una parte solida
e ben verificata del Modello Standard***

(Quasi) il Modello Standard in una slide

Generazioni di quark e leptoni

	I	II	III	
massa →	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome →	u up	C charm	t top	γ fotone
Quark	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluone
Leptoni	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	Z^0 forza debole
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e elettrone	μ muone	τ tauone	W^\pm forza debole

Particelle mediatrici

Curiosita': Come sono fatte le interazioni fondamentali?
Sconfinando vergognosamente nel prato dei teorici:
Lo scopo e' trovare una codifica matematica che descriva cio'
che si osserva in modo

completo, economico, predittivo

ossia:

Inquadramento unificato della totalita' di cio' che si osserva
Riduzione al minimo possibile delle assunzioni di partenza
Capacita' di predire fenomeni non ancora osservati

Punti di partenza:

Osservazioni sperimentali delimitano il campo delle possibilita'
Principio di relativita' e leggi della meccanica quantistica non
devono essere violati (fino a prova contraria)

Le possibilita' tuttavia restano molte

Come guida ulteriore, alcuni

Principi di simmetria

Anzi, dicono i teorici:

*Niente e' calcolabile nel MS se non sono rispettate
alcune leggi di simmetria*

Un piccolo problema:

*Le leggi di simmetria valgono nel Modello Standard solo se
tutte le particelle fondamentali, costituenti e quanti dei campi di
forza, sono prive di massa!*

Idea curiosa: come fa una particella a essere priva di massa?

Risposta relativistica: e' perfettamente possibile, se la particella deriva dalla *quantizzazione di un campo di forza* che ha certe proprieta'

Esempio: *fotone*, particella priva di massa che emerge dalla quantizzazione del campo elettromagnetico

Altra risposta relativistica: se e' priva di massa si muovera' *sempre alla velocita' della luce*.

La maggior parte dei costituenti e diversi dei quanti dei campi di forza, pero', hanno massa non nulla, proprio come gli oggetti "grandi" con cui siamo familiari

Negli anni '60, Higgs e alcuni altri mostrarono come si potessero far convivere le belle proprietà di simmetria del MS con la massa non nulla dei costituenti

Dimostrazione non elementare, per la quale sfortunatamente non ci sono vere scorciatoie illustrative...

In estrema sintesi:

Tutto va bene se, accanto agli altri, esiste *un nuovo campo di forza*, appunto il campo di Higgs: la particella che emerge dalla sua quantizzazione e' stata a volte chiamata, piuttosto irriverentemente, la *particella di Dio*



Quel che conta e' il ruolo del *campo di Higgs*

Presente in tutto lo spazio

Interazione con quasi tutti i costituenti del Modello Standard

Risultato principale dell'interazione:

«Urto» ripetuto dei costituenti in movimento contro il campo di Higgs

→ Non si muovono piu' con velocita' c

→ *Acquistano una massa
senza che le simmetrie del MS vengano violate*

Come provare l'esistenza del campo di Higgs?

Come gli altri campi fisici, soggetto a quantizzazione:
Emergenza della *particella di Higgs*, quanto del campo stesso

A volte chiamata 'Bosone di Higgs'

Dovuto a una sua proprietà schiettamente quantistica:

Il suo spin è un multiplo intero di \hbar

Diverse considerazioni portano a concludere che la particella di Higgs debba essere molto massiva

→ Bisogna trasformare molta energia in massa per produrla e osservarla

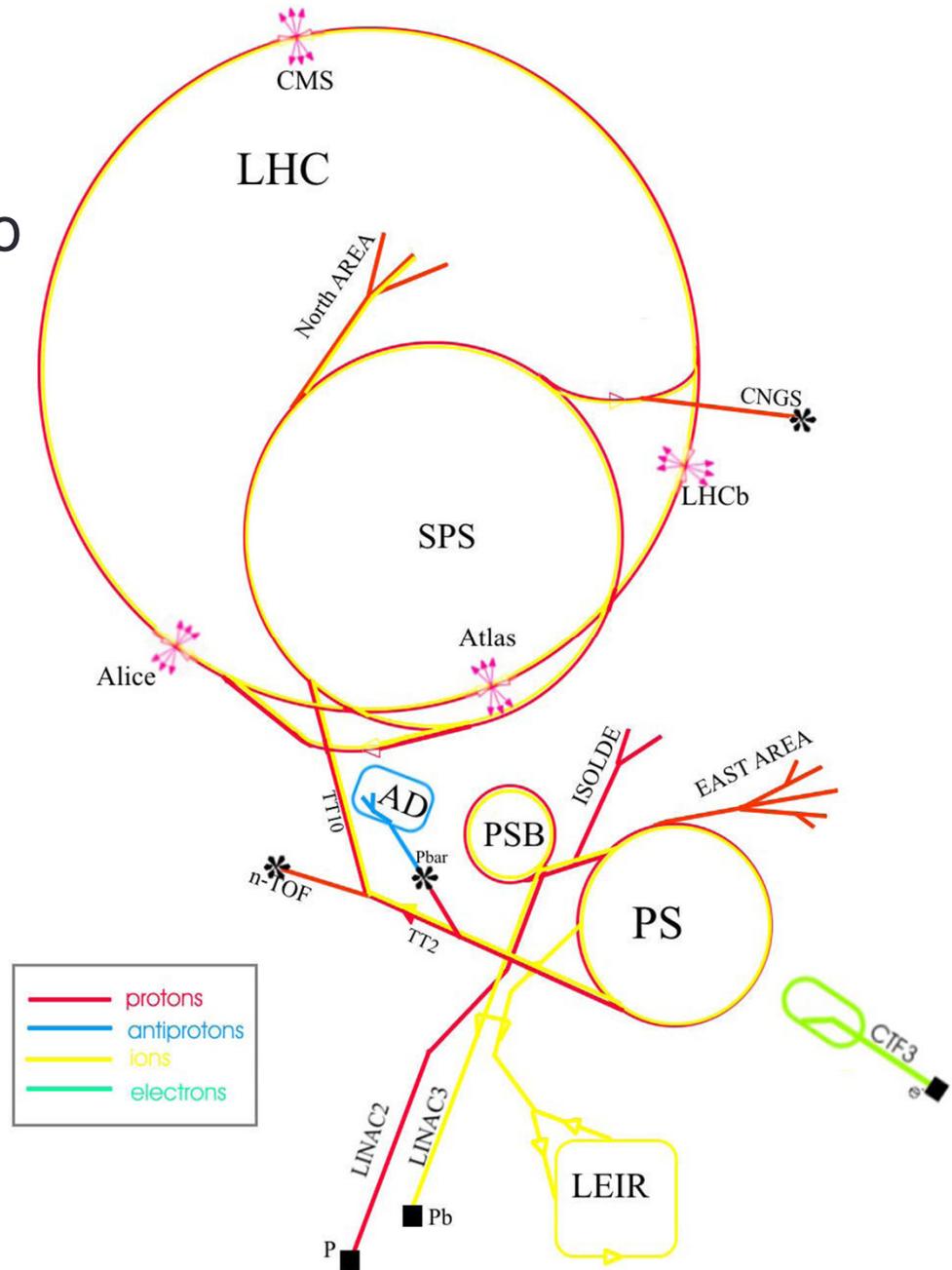
Large Hadron Collider

Nuovo acceleratore costruito al CERN (2000-2009)

Collider protone-protone
Energia elevatissima:
fino a 13-14 TeV

Molto 'luminoso':
 $\sim 10^9$ collisioni per secondo

27 km circonferenza
4 incroci



LHC



Cavita' acceleratrice



Magnete dipolare

Per mantenere le particelle sull'orbita:

~ 1000+ Magneti superconduttori per il campo guida

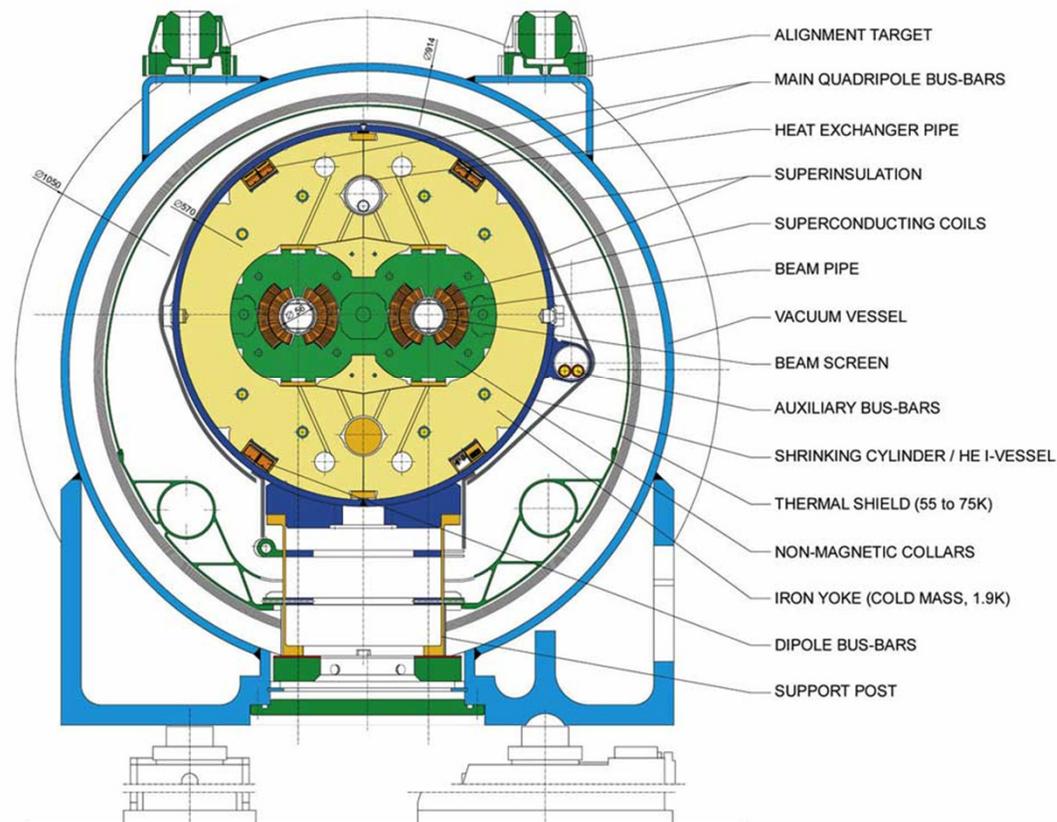
Molti altri elementi magnetici

Campo magnetico guida: 8 Tesla ~ 200000 volte quello terrestre

Temperatura: $-271,25^{\circ}\text{C}$ ~ 1° piu' bassa di quella dello spazio

LHC DIPOLE : STANDARD CROSS-SECTION

CERN AC/DI/MM - HE107 - 30 04 1999



Al pari di quasi tutte le altre particelle, anche quella di Dio e' altamente instabile

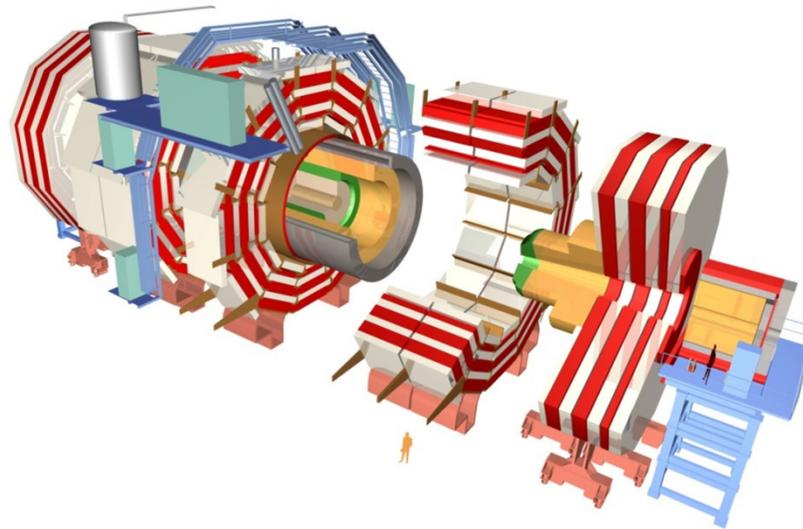
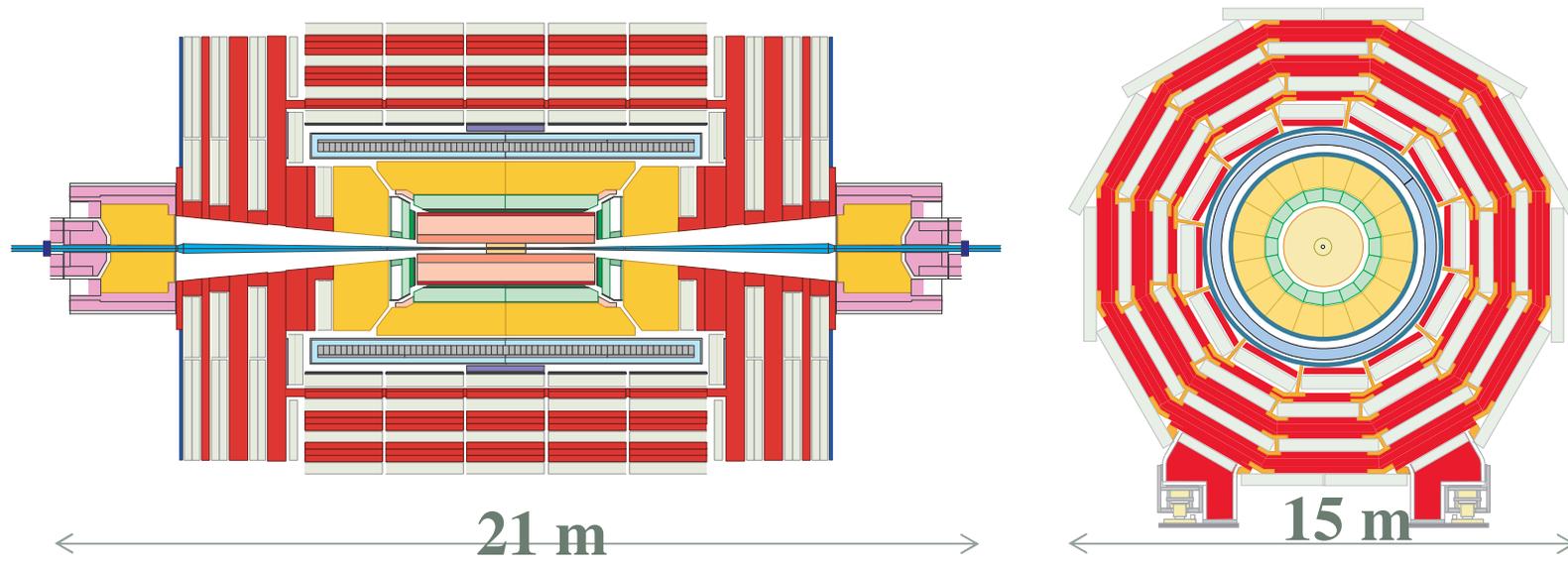
In tempi brevissimi si disintegra in altre particelle piu' stabili, e quindi piu' facili da osservare

I teorici hanno previsto da tempo quali siano i modi di disintegrazione piu' favorevoli, ed e' su quelle previsioni che gli sperimentali hanno disegnato e costruito i rivelatori di LHC. Fra i tanti p es:

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu$$

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

Compact Muon Solenoid: Uno dei rivelatori di LHC



La particella di Higgs e' stata osservata nel 2012 da due esperimenti a LHC

ATLAS
CMS

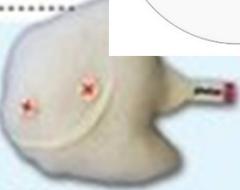
ed e' oggi attivamente studiata

Fino ad ora, le sue proprieta' risultano in perfetto accordo con le previsioni del Modello Standard

***Questo completa con successo
la convalida del Modello Standard
(In attesa di novita', sorprese, contraddizioni,...
che nella storia della fisica delle particelle
non sono mai mancate)***



...e per finire: Pubblicita'!

QUARKS	 <p>UP QUARK A teeny little point inside the proton and neutron, it is friends forever with the down quark.</p>	 <p>CHARM QUARK A second generation quark, it is charmed, indeed.</p>	 <p>TOP QUARK This heavyweight champion doesn't live long enough to make friends with anyone.</p>	FORCE CARRIERS	 <p>PHOTON The massless wavicle we know and love.</p>	
	 <p>DOWN QUARK A tiny little point inside the proton and neutron, it is friends forever with the up quark.</p>	 <p>STRANGE QUARK Why is this second generation quark so strange?</p>	 <p>BOTTOM QUARK This third generation quark is puttin' on the pounds.</p>		 <p>GLUON The "glue" of the strong nuclear force.</p>	
	LEPTONS	 <p>ELECTRON-NEUTRINO These miniscule bandits like to steal away energy and escape detection.</p>	 <p>MUON-NEUTRINO A slightly heavier bandit than its sibling to the left.</p>		 <p>TAU-NEUTRINO Wily and sneaky, this bandit is the newest particle to arrive at the Zoo.</p>	  <p>W BOSON Z BOSON</p> <p>As the carrier particles of the weak nuclear force, they're downright obese.</p>
		 <p>ELECTRON A familiar friend, this negatively charged, busy l'il guy likes to bond.</p>	 <p>MUON A "heavy electron" who lives fast and dies young.</p>		 <p>TAU A "heavy muon" who could stand to lose a little weight.</p>	

