

# FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE II

---

a.a. 2014/2015

Dott. Marco Rescigno, INFN/Roma

# Presentazione

- Recapiti:
  - Stanza 103/a (dietro Aula Amaldi)
  - Tel. 06-49914943
- Orario delle lezioni Martedì-Giovedì 11-13 Aula 7
  - Sono state segnalate alcune sovrapposizioni
- Cambiare in Lunedì-Mercoledì 9-11 ?

# Libri di testo e materiale didattico

Seguiremo essenzialmente:

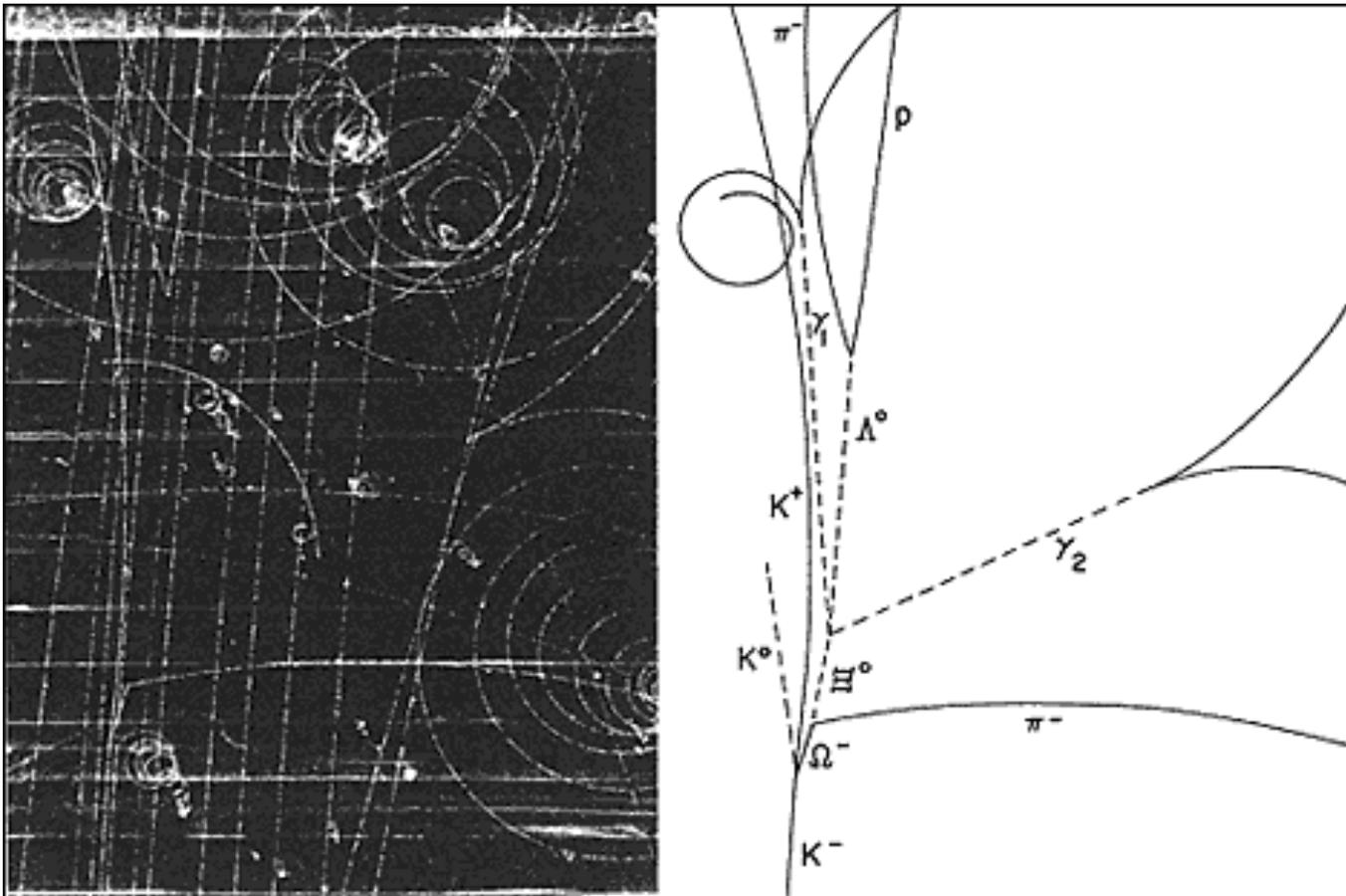
- **“Nuclear and Particle Physics”**; Burcham and Jobes; Pearson Prentice Hall
- Approfondimenti
  - **Perkins, Introduction to high energy physics**
  - **Cahn-Goldhaber, experimental foundations of particle physics**
- Risorse in rete:
  - **PDG, “The Review of Particle Physics”** : <http://pdg.lbl.gov/>
  - **Dispense del corso tenuto del prof. Claudio Luci**:  
[http://www.roma1.infn.it/people/luci/corso\\_fnsII.html](http://www.roma1.infn.it/people/luci/corso_fnsII.html)

# Scopi del corso

- Presenteremo le evidenze sperimentali che hanno portato all'attuale formulazione del Modello Standard delle interazioni fondamentali
- Dalle leggi di simmetria alle sottili violazioni di alcune di esse, che preannunciano un nuovo "mondo", dalla scoperta della struttura interna del protone a quella delle correnti deboli neutre attraverso la "rivoluzione di Novembre" del '74 con la scoperta della  $J/\psi$  che ci proietterà definitivamente nella nostra "era".
- L'attuale Modello Standard, soggetto a verifiche sempre più precise, ha dimostrato un'incredibile capacità predittiva e ha condotto alla scoperta dei mediatori della forza elettrodebole negli anni '80, a quella degli ultimi mattoni della materia mancanti (il quark top) negli anni '90, alla verifica che con grande accuratezza i fenomeni di violazione di CP nei decadimenti dei mesoni pesanti sono completamente spiegati all'interno del modello (anni 0) e infine alla verifica dell'essenziale meccanismo di Brout-Englert-Higgs
- Seguendo l'evoluzione storica cerchiamo di illustrare lo sviluppo delle tecniche sperimentali e l'attualità degli argomenti trattati nelle più recenti ricerche di frontiera nella fisica delle particelle

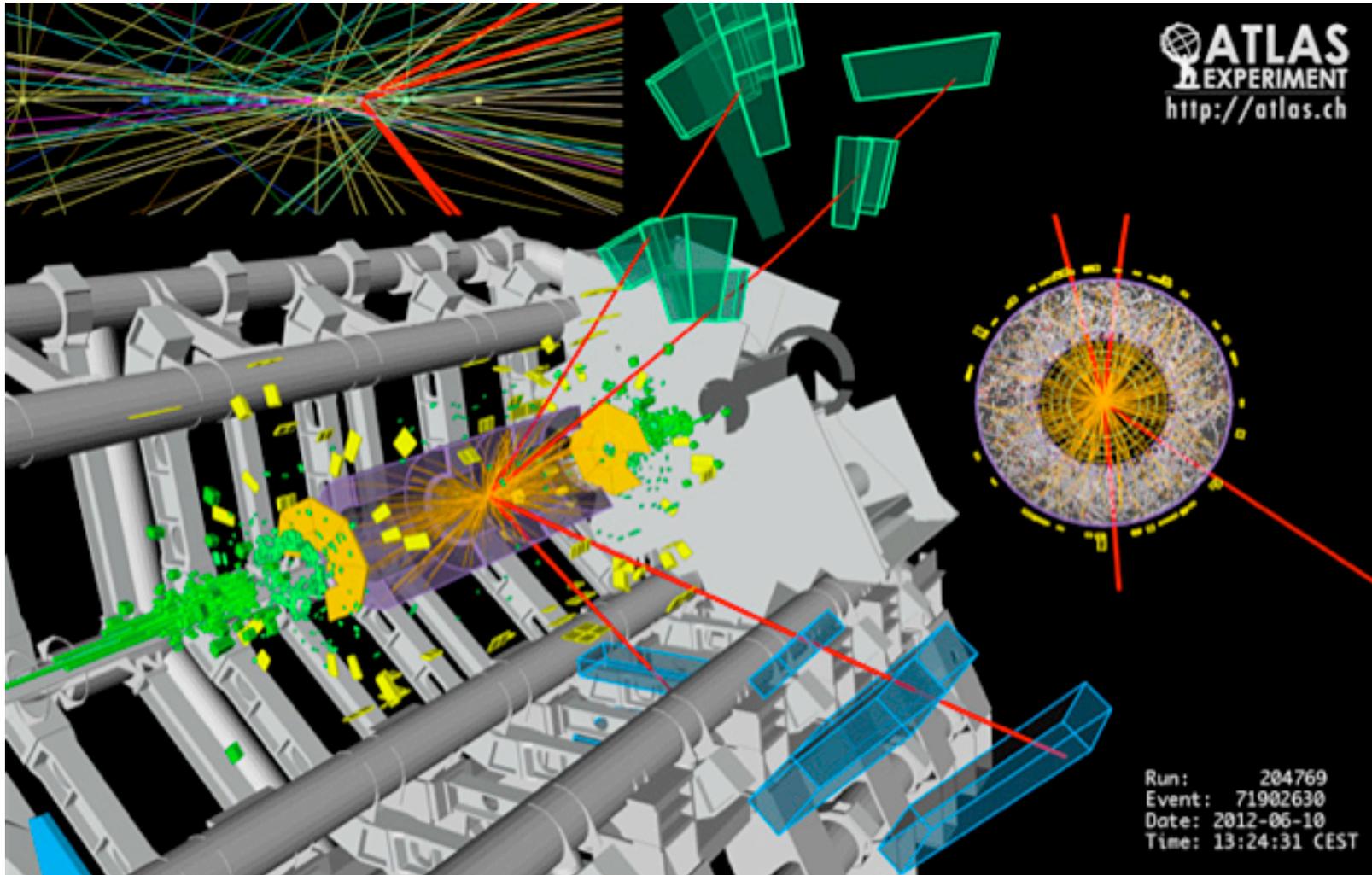
Scoperta di  $\Omega^-$ : 1964

$\Omega^- \rightarrow \Xi^- \pi^0 \rightarrow \Lambda^0 \pi^0$ : trionfo del modello a quark

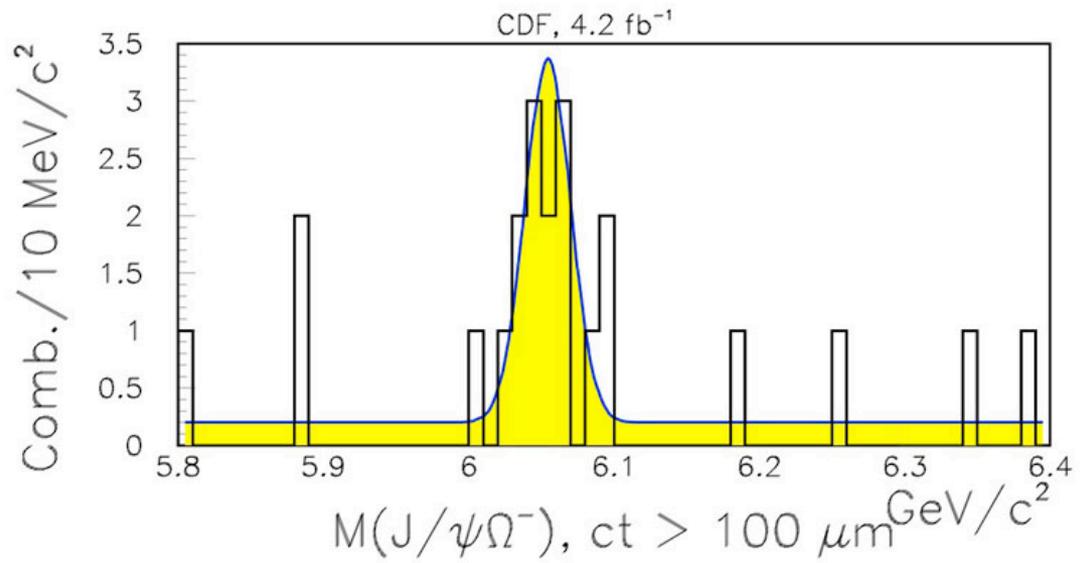
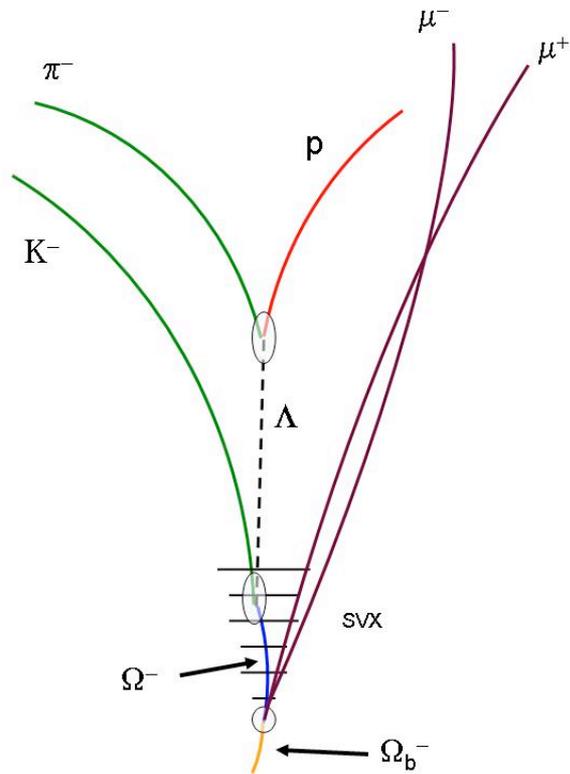


# Scoperta del bosone di Higgs: 2012

$H \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  trionfo del Modello Standard



# Ma anche, scoperta di $\Omega_b$ a CDF: 2009

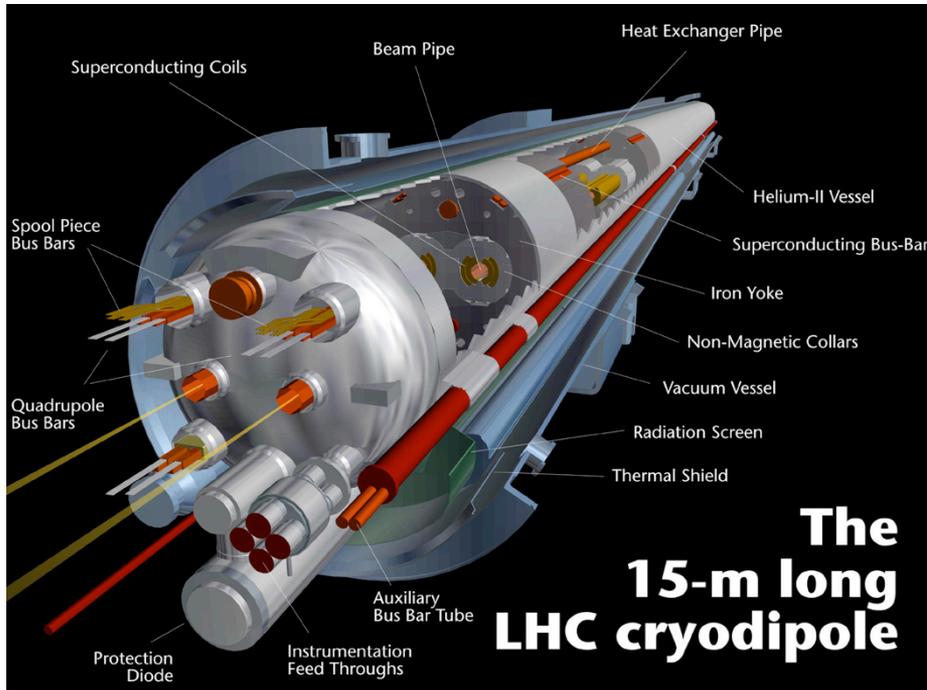


# Dagli anni 60



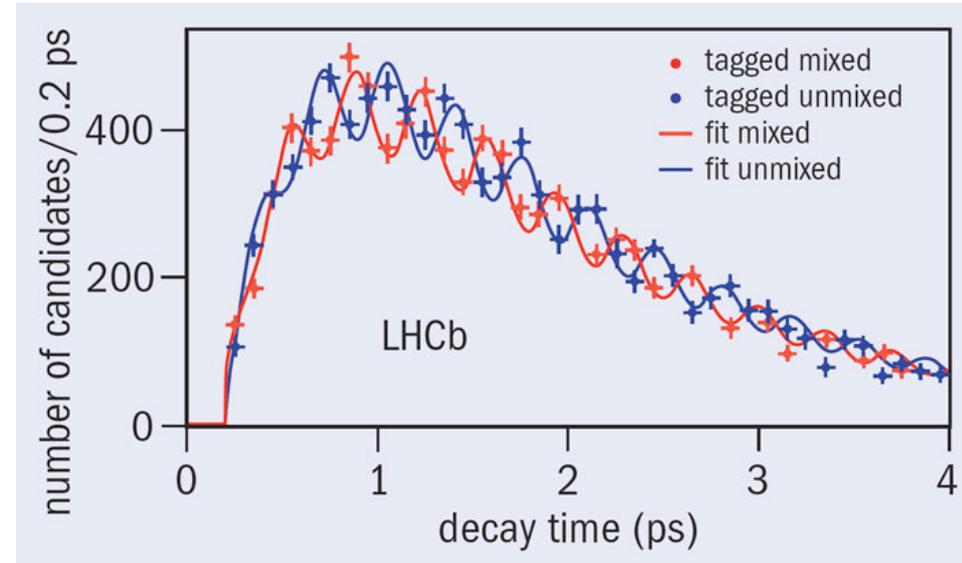
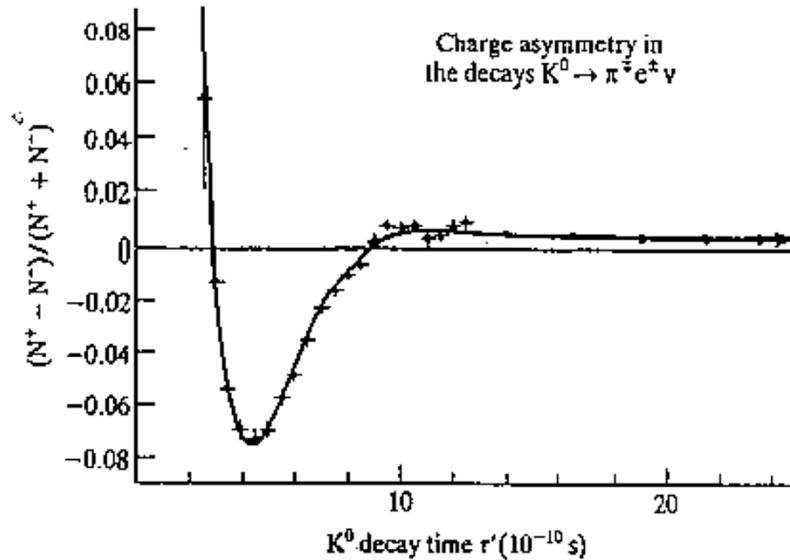
Tre scoperte da Nobel al AGS: il muon-neutrino, la violazione di  $C_p$  e la particella  $J/\psi$

# Ad oggi



Un “solo” Nobel al momento...

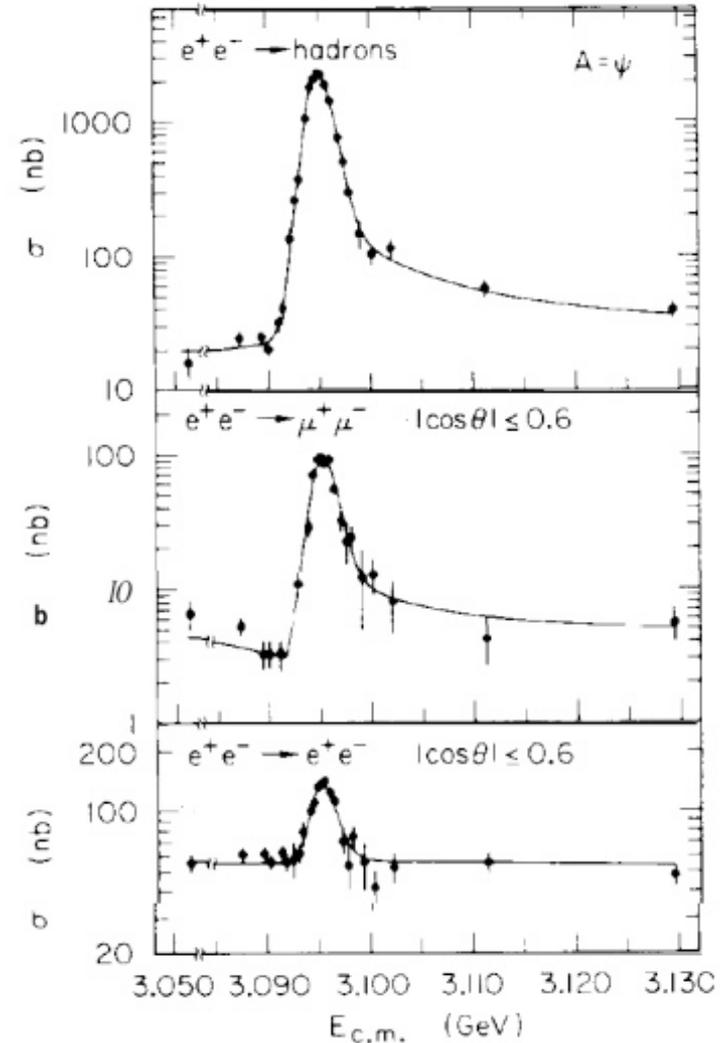
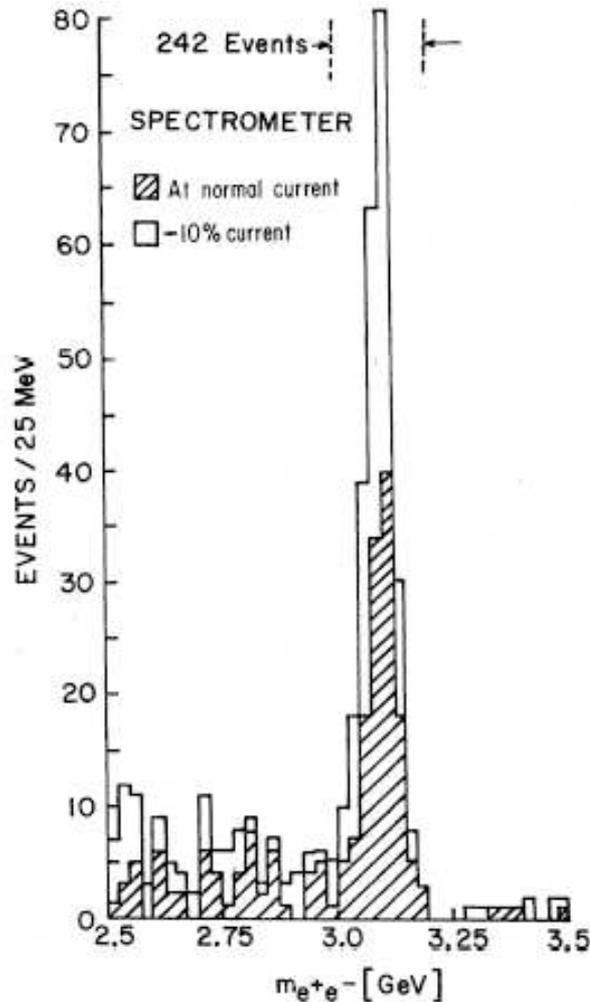
# Ma anche oscillazioni di flavor



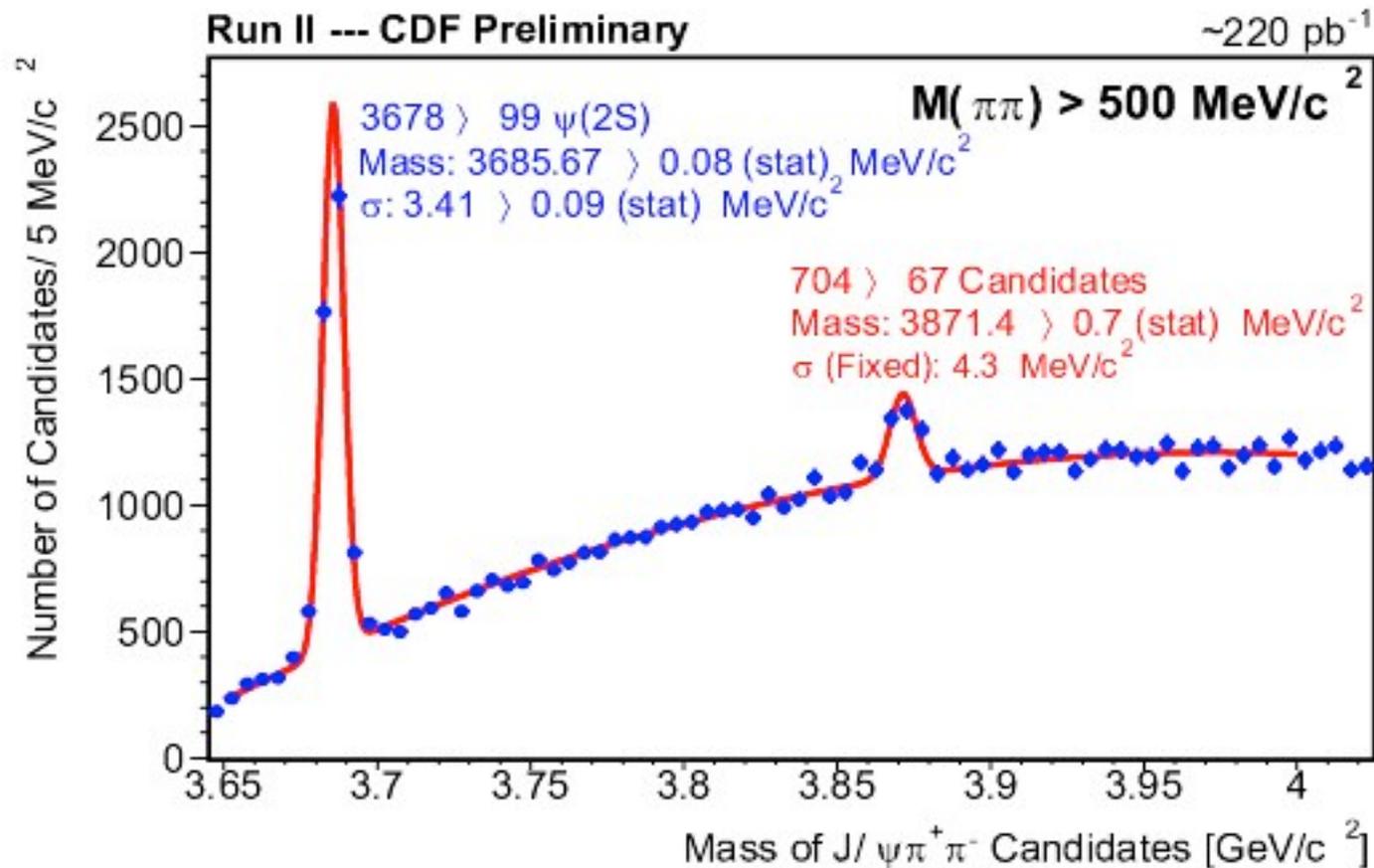
$$\Delta M = M(K^0_L) - M(K^0_S) = 5.3 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$$

$$\Delta M = M(B_{s,H}) - M(B_{s,L}) = 17.7 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$$

# Dalla scoperta di una nuova risonanza

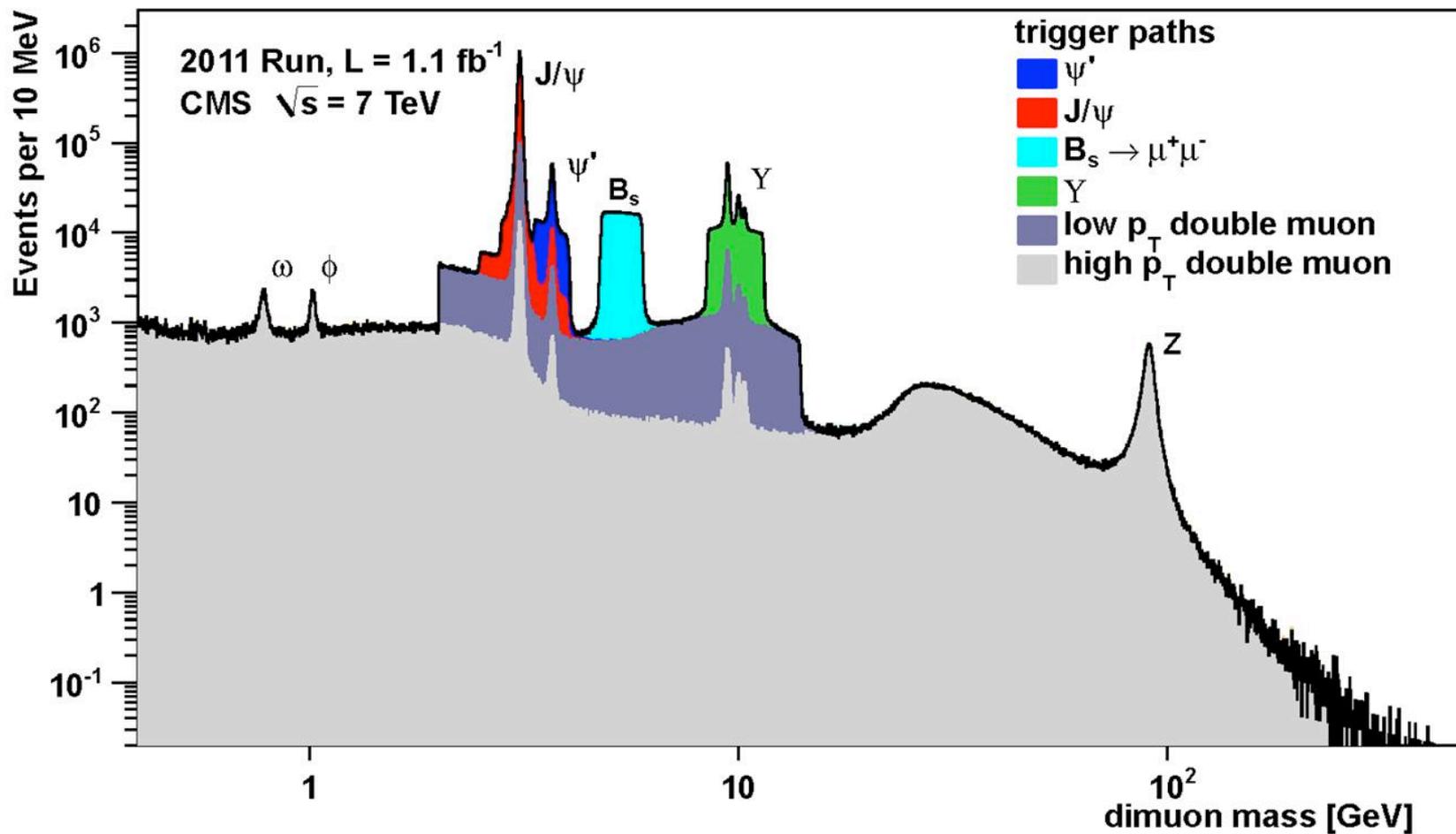


al suo utilizzo come mezzo per nuove scoperte

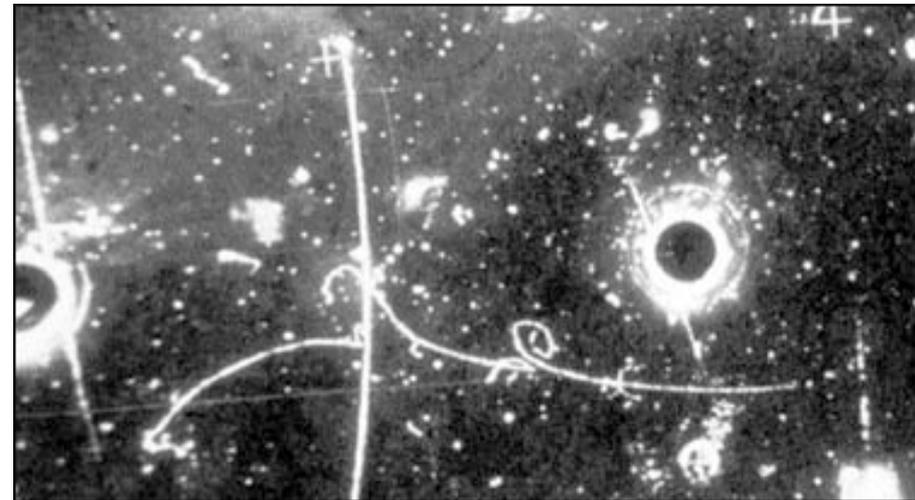
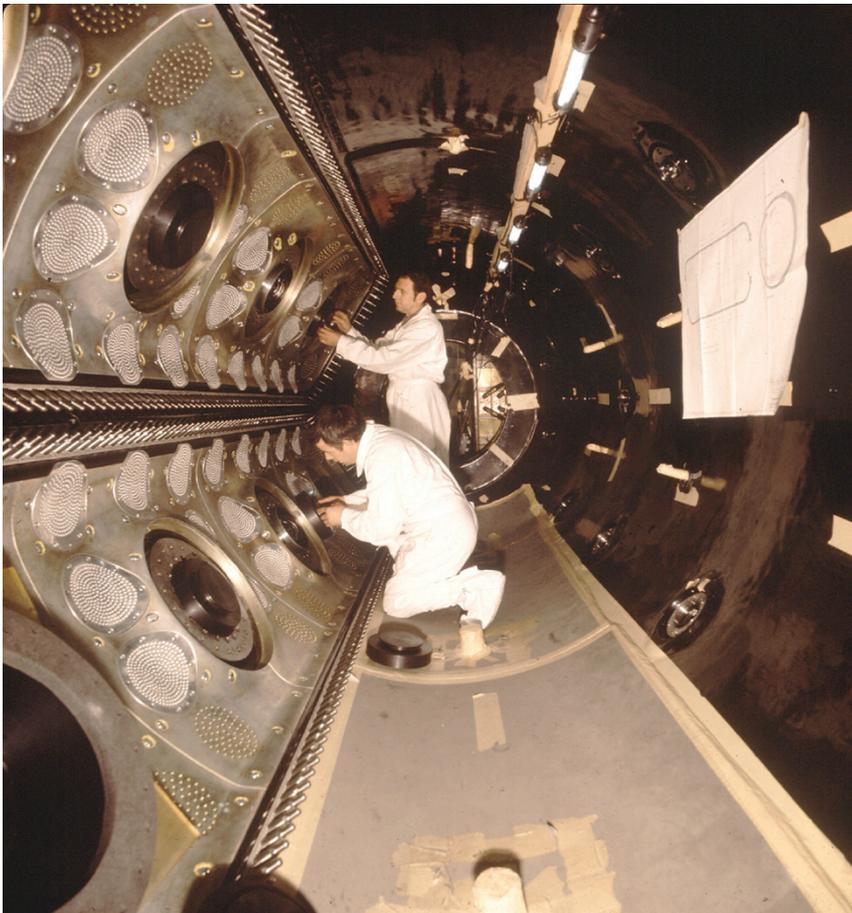


Prima evidenza di X(3872) ad un collider adronico

# o infine come “sorgente” di muoni

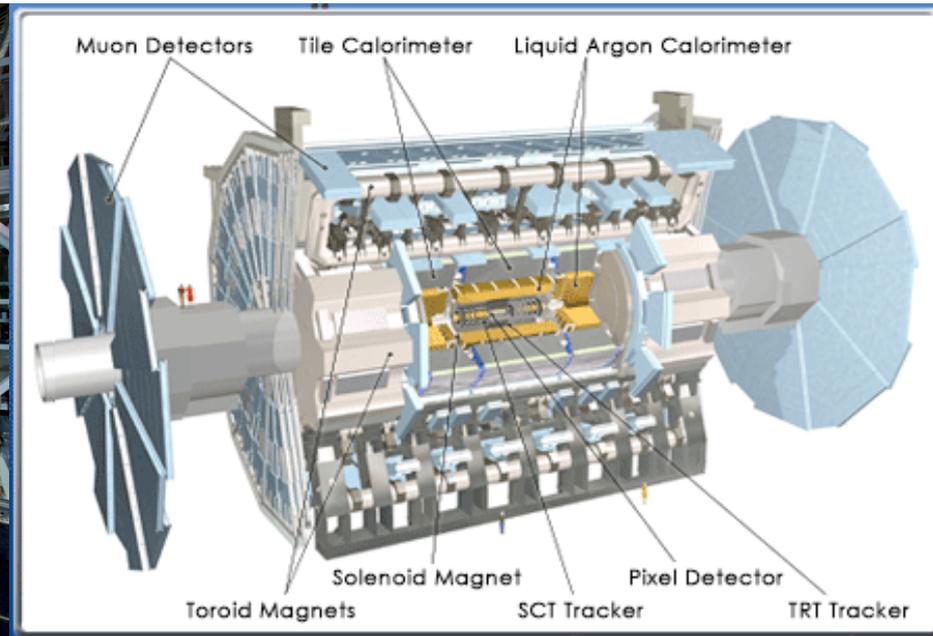
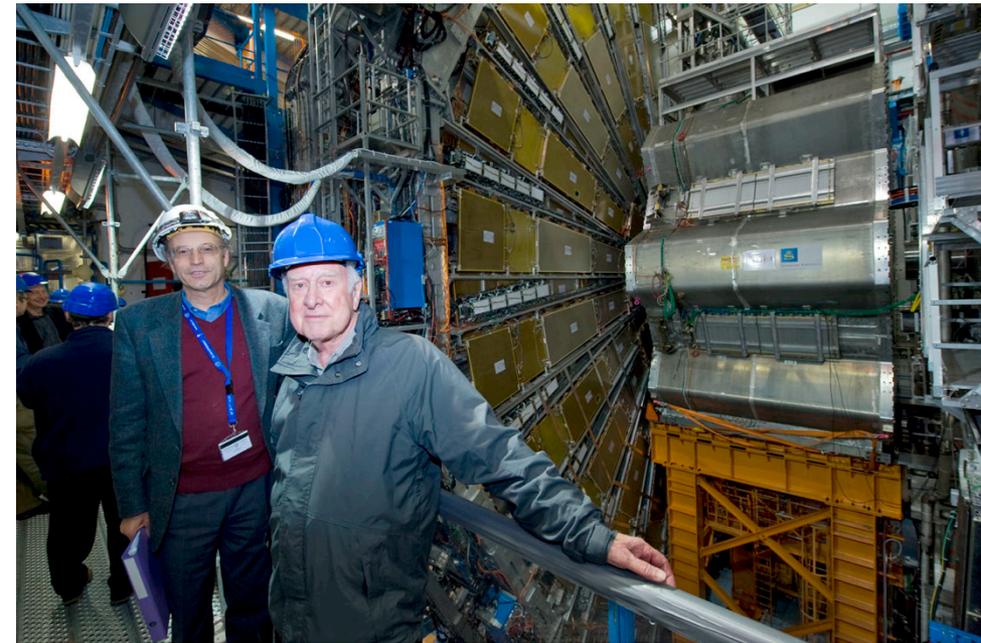


# Senza dimenticare lo sviluppo dei rivelatori



20 T di Freon [CF<sub>3</sub>Br](#)  
2 metri diametro per 4.8 metri  
lunghezza

# Fino al gigantismo attuale



Diameter: 22 m. Length: 43 m.

# Programma

- **Simmetrie e leggi di conservazione**
- **Spettroscopia adronica e Modello a quark**
- **Il colore e la QCD**
- **Struttura degli adroni e modello a partoni**
- **Interazioni deboli**
- **Il sistema dei mesoni K neutri e violazione di CP**
- **Il Modello Standard.**
- **Verifiche sperimentali del Modello Standard**

# Programma

- **Simmetrie e leggi di conservazione**

- Simmetrie continue e discrete. Numeri quantici additivi e moltiplicativi. Numero barionico e leptonico. Misura della parità del  $\pi^-$ . Teorema CPT. Isospin. SU(2). Matrici di Pauli. Generatori di SU(2). Invarianza delle interazioni forti per trasformazioni di isospin. Formula di Gell-Mann Nishijima. Conseguenze dinamiche dell'invarianza di isospin: scattering nucleone-nucleone, scattering pione-nucleone, risonanza Delta.

- **Spettroscopia adronica e Modello a quark**

- La scoperta delle particelle strane. Produzione associata. La stranezza. Interazioni dei mesoni K carichi. Iperoni strani metastabili. Classificazione delle particelle adroniche. Grafico isospin-ipercarica. Introduzione dei quark. Numeri quantici dei quark. Costruzione dell'ottetto 0- dei mesoni. Mesoni vettoriali 1-. Decadimenti della  $\phi$  e dell' $\omega$ . Regola di OZI.

# Programma

- **Il colore e la QCD**

- Problemi con la simmetria della funzione d'onda della  $\Delta^{++}$ . Introduzione del colore. Ipercarica di colore e di isospin di colore. Ipotesi del confinamento del colore. Evidenza sperimentale del colore: rapporto R e larghezza del  $\pi^0$ . Carica di colore. I gluoni a la QCD. Il colore dei gluoni. Costante di accoppiamento forte  $\alpha_s$ . Cenni al running delle costanti di accoppiamento. Liberta' asintotica della QCD. Processo di adronizzazione. Regola di OZI e la QCD.

- **Struttura degli adroni e modello a partoni**

- Introduzione allo scattering elettrone-protone. Variabili cinematiche e quadrimpulso trasferito. Esperimento di Hofstadter. Sezione d'urto di Rutherford, di Mott e di Rosenbluth. Fattori di forma elettrico e magnetico. Legge di scala dei fattori di forma. Fattore di forma di dipolo. Dimensione del protone. Scattering elastico elettrone-muone. Scattering anelastico elettrone-protone. Apparato sperimentale di Slac. Esempi di misure di sezioni d'urto anelastiche. Sezione d'urto differenziale e funzioni di struttura. Scaling di Bjorken: variabile x. Evidenze sperimentali dello scaling. Interpretazione di Feynman dello scaling: ipotesi dei partoni. Scattering elastico elettrone-partone. Funzione di distribuzione della densita' dei partoni. Relazione di Callan-Gross. Quark di valenza e quark del mare. Regole di somma. Impulso trasportato dai gluoni.

# Programma

- **Interazioni deboli**

- Introduzione al decadimento beta.. Interazione puntiforme di Fermi. Interazione vettore-vettore. Costante di Fermi. Regola di Sargent. Generalizzazione della teoria di Fermi. Associazione tra tipi di corrente e covarianti bilineari. Spettro di energia dell'elettrone nel decadimento beta. Interazione V e A. Particelle strane:  $\tau$ - $\theta$  puzzle. Determinazione della parità dello stato a 2 pioni e a 3 pioni. Teoria a due componenti del neutrino. Proiettore di elicità. Misura dell'elicità del neutrino: esperimento di Goldhaber. Interazione V-A. Universalità delle interazioni deboli. Vita media del muone. Rapporti di decadimento (B.R.). Interazione corrente-corrente delle interazioni deboli. Violazione dell'unitarietà della teoria puntiforme di Fermi. Introduzione del bosone W. Propagatore del W. Relazione tra  $M_W$  e  $G_f$ . Relazione tra carica debole e carica elettrica. Angolo di Weinberg. Decadimento del pione carico Confronto tra il BR in elettrone e quello in muone. Elicità del muone e dell'elettrone. Decadimento del K carico in muone. Rapporti tra i decadimenti del K e del pione. Angolo di Cabibbo. Organizzazione delle particelle in doppietti di isospin. Decadimento del K neutro in coppia di muoni. Corrente neutra con cambiamento di stranezza. Effetto GIM. Introduzione del quark charm. Modello spettatore. Scoperta della  $J/\Psi$ . Matrice CKM. Scoperta della Ypsilon.

# Programma

- **Il sistema dei mesoni K neutri e violazione di CP**

- Il sistema dei K neutri. Produzione del  $K^0$  e anti- $K^0$ . Autostati di CP: Vite medie. Oscillazioni di stranezza. Interazioni dei  $K^0$  e degli anti- $K^0$  con la materia. Determinazione di  $\Delta m$ . Rigenerazione. Esperimento di Cronin e Fitch sulla violazione di CP. Violazione di CP dei  $K^0_L$ . Violazione diretta e indiretta. Introduzione dei  $K^0_S$  e  $K^0_L$ . Introduzione dei parametri della violazione di CP  $\eta_{+-}$  e  $\eta_{00}$ . Definizione operativa della carica positiva. Violazione diretta di CP. Elementi di matrice per le transizioni  $\Delta I=1/2$  e  $\Delta I=3/2$ . Introduzione del parametro  $\epsilon'$ . Introduzione del doppio rapporto per la misura di  $\epsilon'$ . Condizioni per il mescolamento dei mesoni neutri. Cenni alla violazione di CP nel sistema dei B neutri. Matrice CKM e Triangolo di Unitarietà.

# Programma

- **Il Modello Standard.**

- Teorie di gauge. Invarianza di gauge locale: QED. Campi di Yang-Mills. Modello di Glashow- Weinberg-Salam. Potenziale  $\lambda\phi^4$ . Rottura spontanea di una simmetria continua: teorema di Goldstone. Meccanismo di Higgs. Meccanismo di Higgs applicato al modello GWS. Angolo di mixing debole  $\theta_w$ . Massa dei bosoni. Massa dei fermioni. Bosone di Higgs. Struttura a doppietti delle particelle nel Modello Standard. Numeri quantici per leptoni e quark. Interazioni nel modello  $SU(2)_L \times U(1)$ . Introduzione dei  $W$  carichi. Introduzione del fotone e dello  $Z$ . Accoppiamento del fotone. Struttura delle correnti deboli neutre. Accoppiamento vettoriale e assiale dello  $Z$

# Programma

- **Verifiche sperimentali del Modello Standard**

- Scoperta delle correnti deboli neutre in camera a bolle. Produzione dello Z e del W al collider SPPS. Il collider LEP. Misura della massa e delle larghezze parziali e totale dello Z. Misura del numero di famiglie di neutrini leggeri. Produzione di coppie di W al LEP. Verifica dell'esistenza del vertice triplo di bosoni di gauge. Predizioni della massa dalle misure a LEP e scoperta del quark top a Tevatron. Misura della massa. Scoperta del bosone di Higgs a LHC e verifica dei suoi numeri quantici.

# Modalita' di esame

- Argomento a scelta del candidato.
- Possibilita' di approfondimento ulteriore a scelta dello studente
- Domande complementari a scelta del docente