

FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE II

a.a. 2015/2016

Dott. Marco Rescigno, INFN/Roma

Presentazione

- Recapiti:
 - Stanza 103/a (dietro Aula Amaldi)
 - Tel. 06-49914943
 - Email marco.rescigno@roma1.infn.it
- Ricevimento → venite liberamente
- Orario delle lezioni Martedì-Giovedì 11-13 **Aula 5**

Slide e materiale didattico

- Pagina web docente:
<http://www.roma1.infn.it/~rescigno/FNSNII.html>
- Contiene link al programma del corso e a quelli degli anni passati
- Le slide e altro materiale didattico mostrato a lezione nel corso dell'a.a. 2014/2015
- Sara' aggiornato mano a mano con il materiale di quest'anno.
- Nel frattempo vi daro' accesso ad una directory live su google drive

Libri di testo e materiale didattico

Seguiremo essenzialmente:

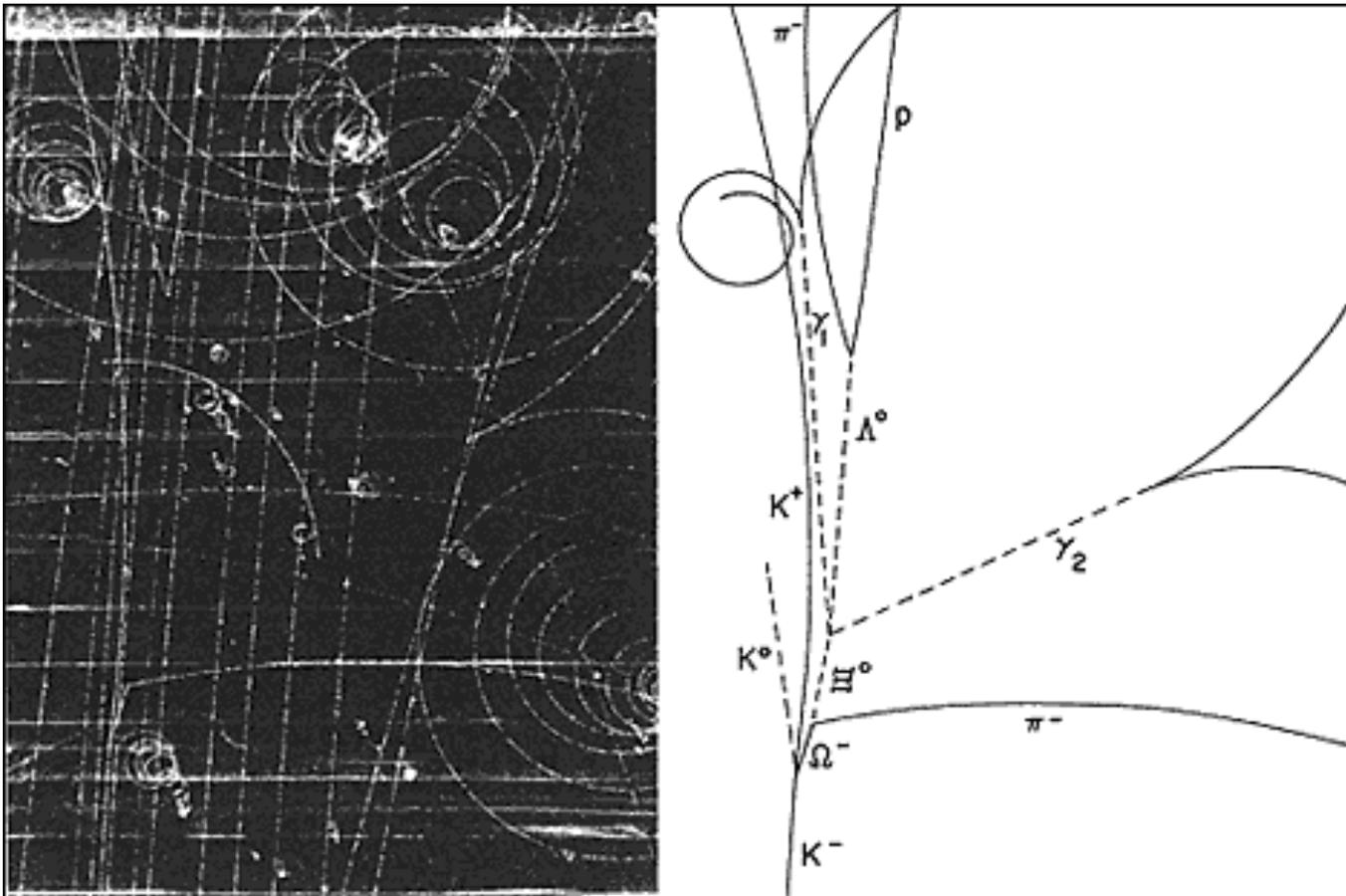
- **“Nuclear and Particle Physics”**; Burcham and Jobes; Pearson Prentice Hall
- Approfondimenti
 - **Perkins, Introduction to high energy physics**
 - **Cahn-Goldhaber, experimental foundations of particle physics**
- Risorse in rete:
 - **PDG, “The Review of Particle Physics”** : <http://pdg.lbl.gov/>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

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/ψ 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

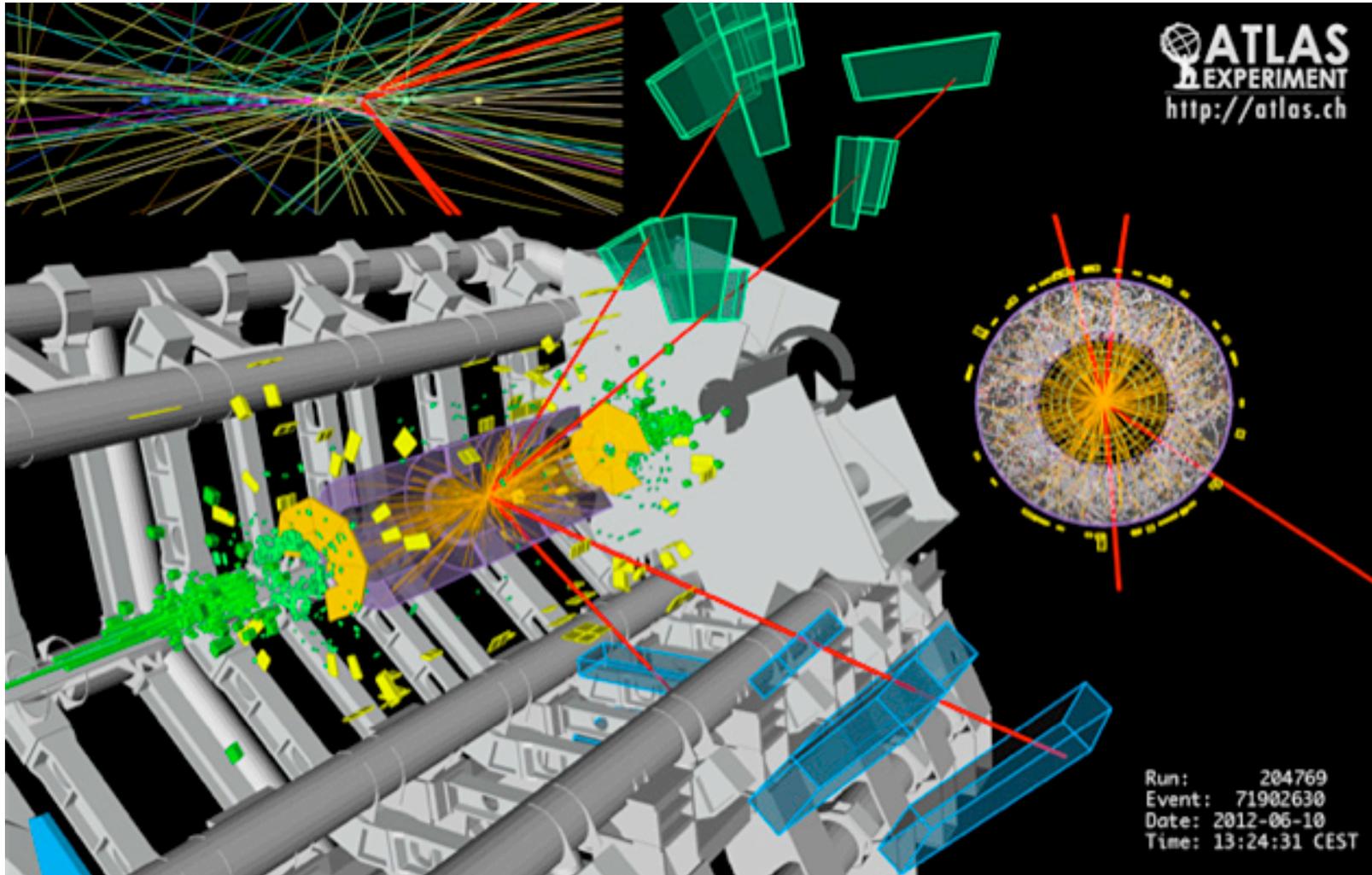
Scoperta di Ω^- : 1964

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

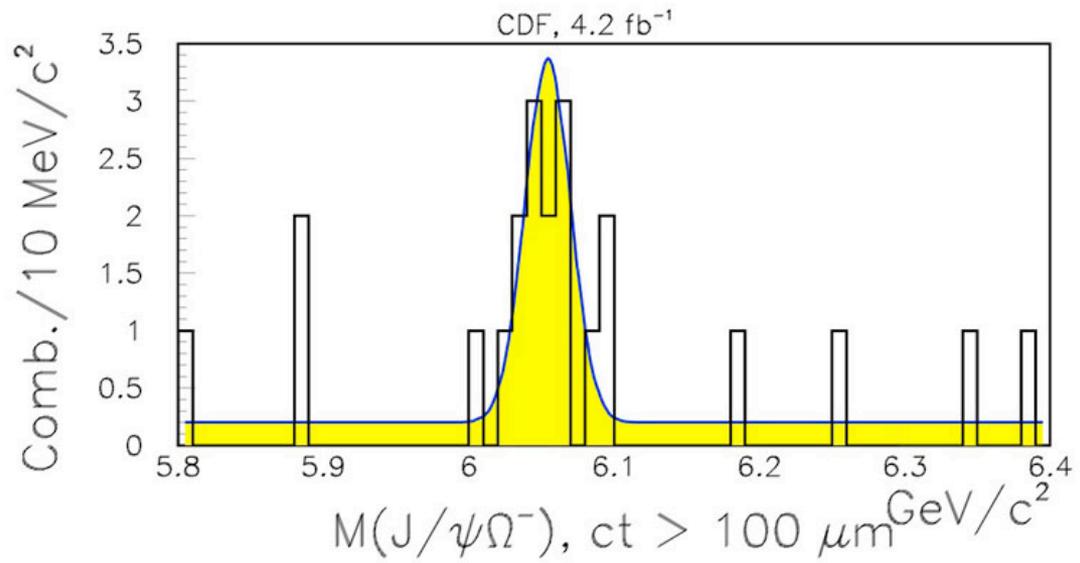
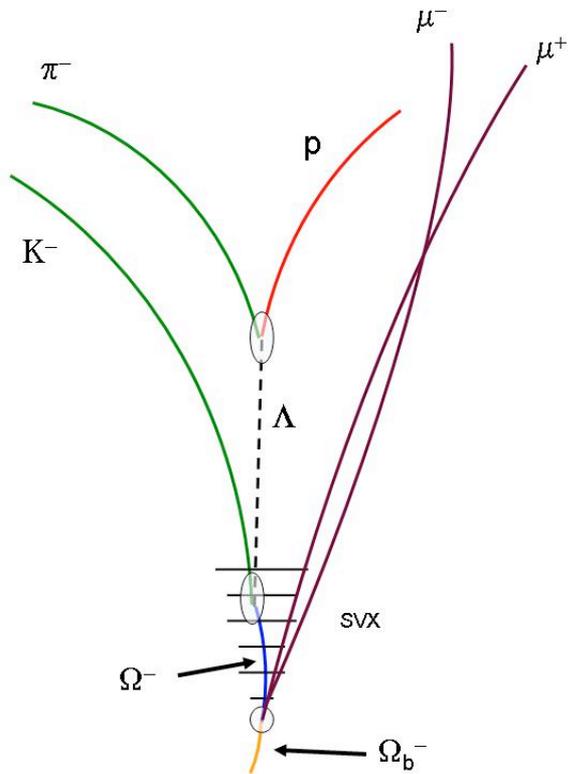


Scoperta del bosone di Higgs: 2012

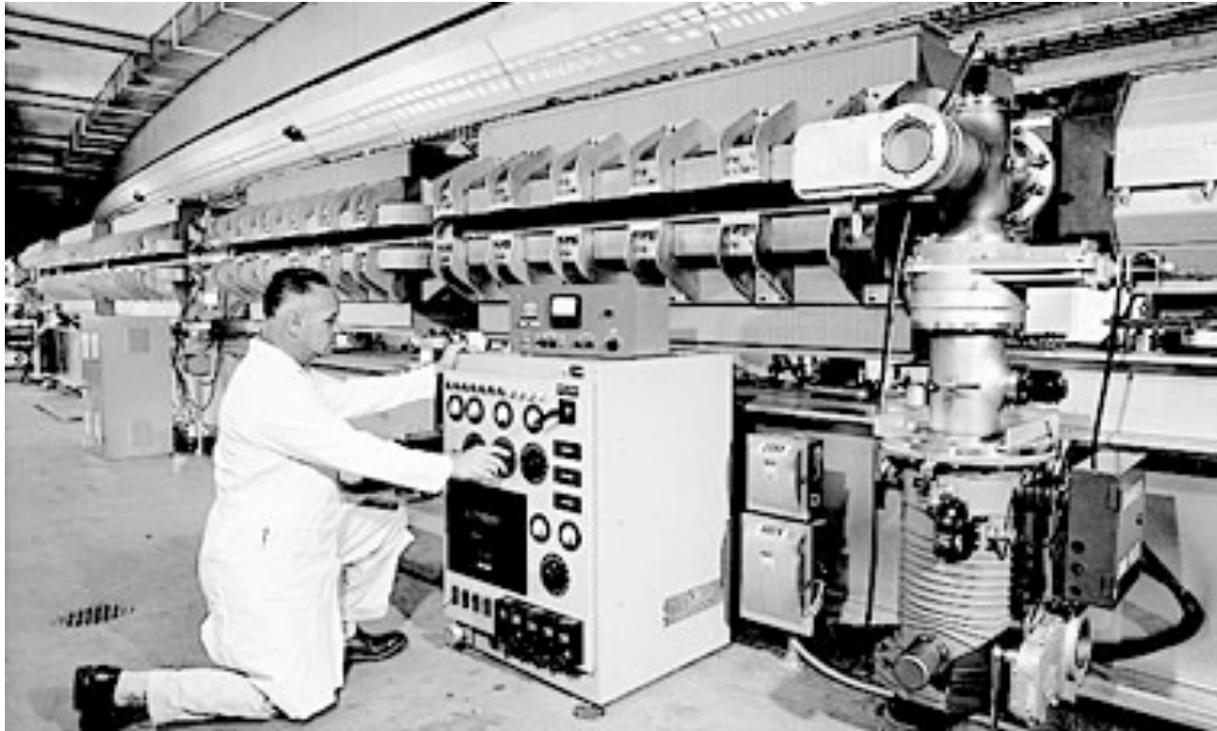
$H \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ trionfo del Modello Standard



Ma anche, scoperta di Ω_b a CDF: 2009

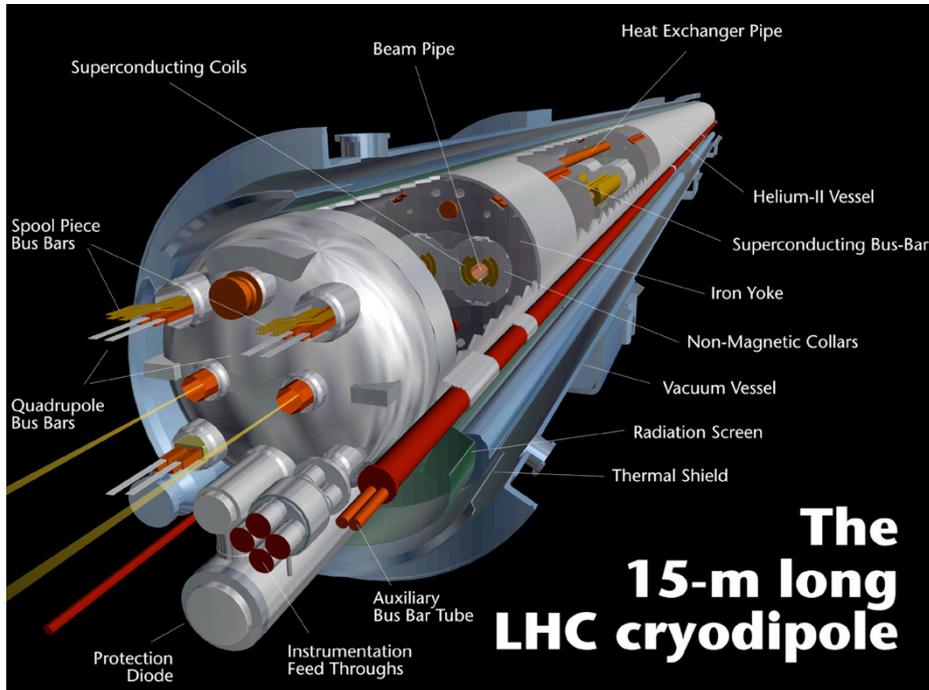


Dagli anni 60



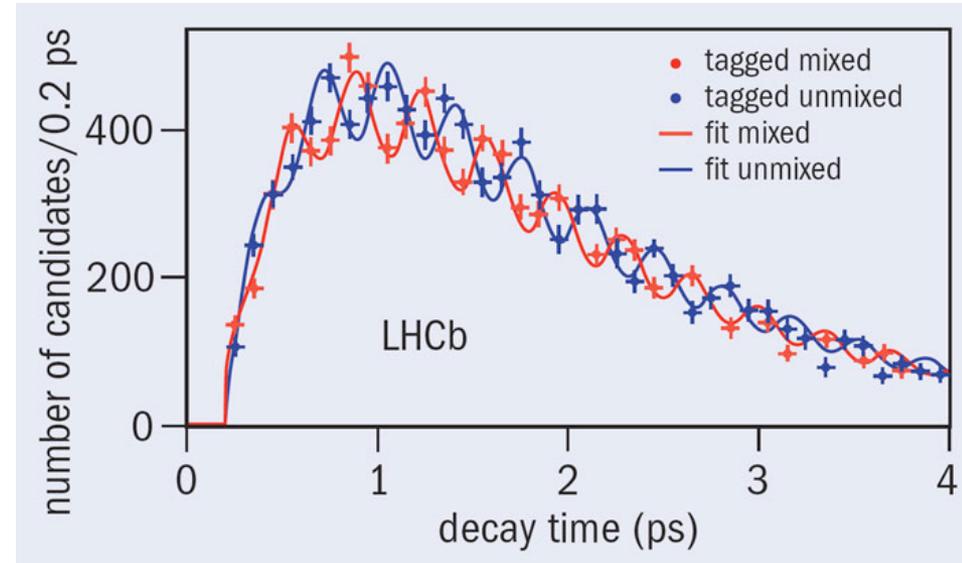
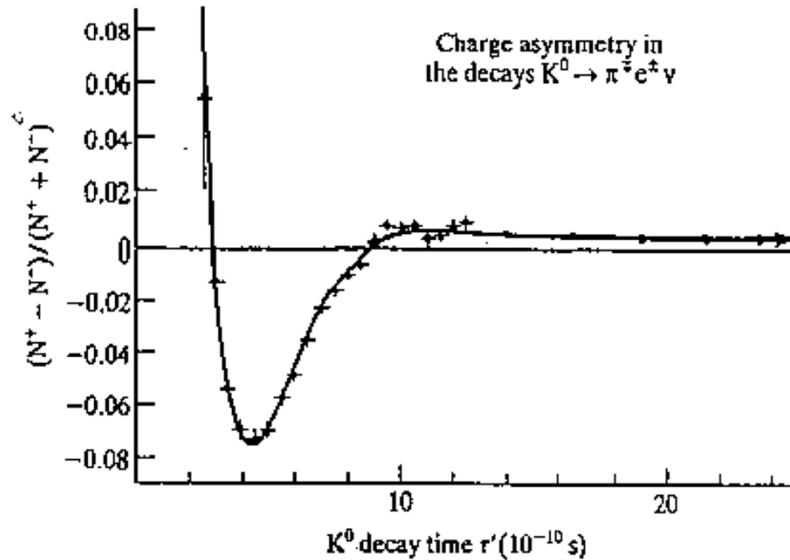
Tre scoperte da Nobel al AGS: il muon-neutrino, la violazione di C_p e la particella J/ψ

Ad oggi



Un “solo” Nobel al momento...

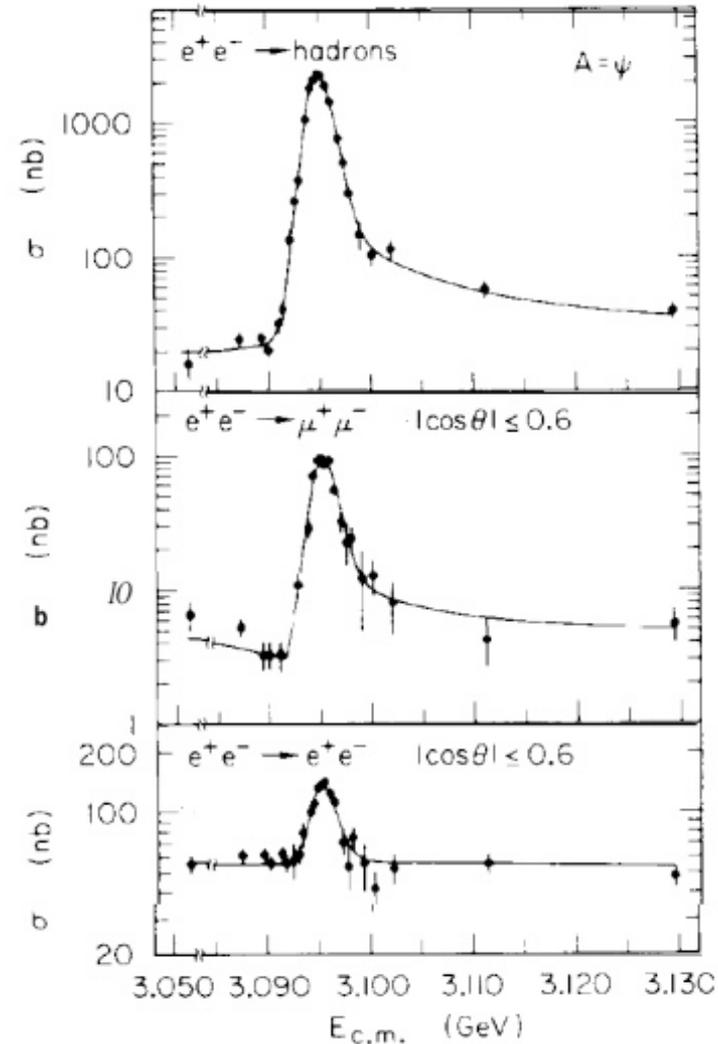
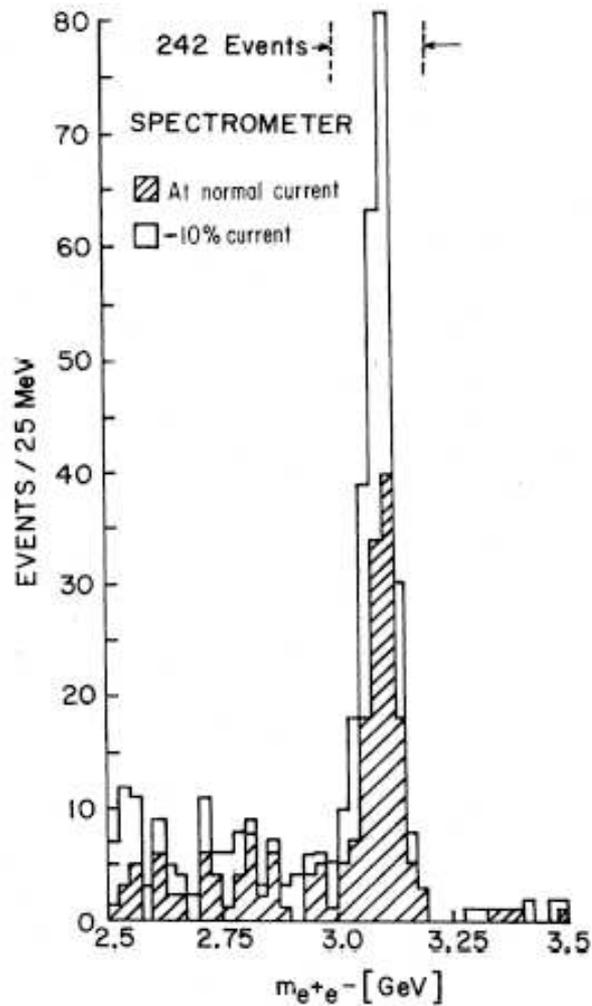
Ma anche oscillazioni di flavor



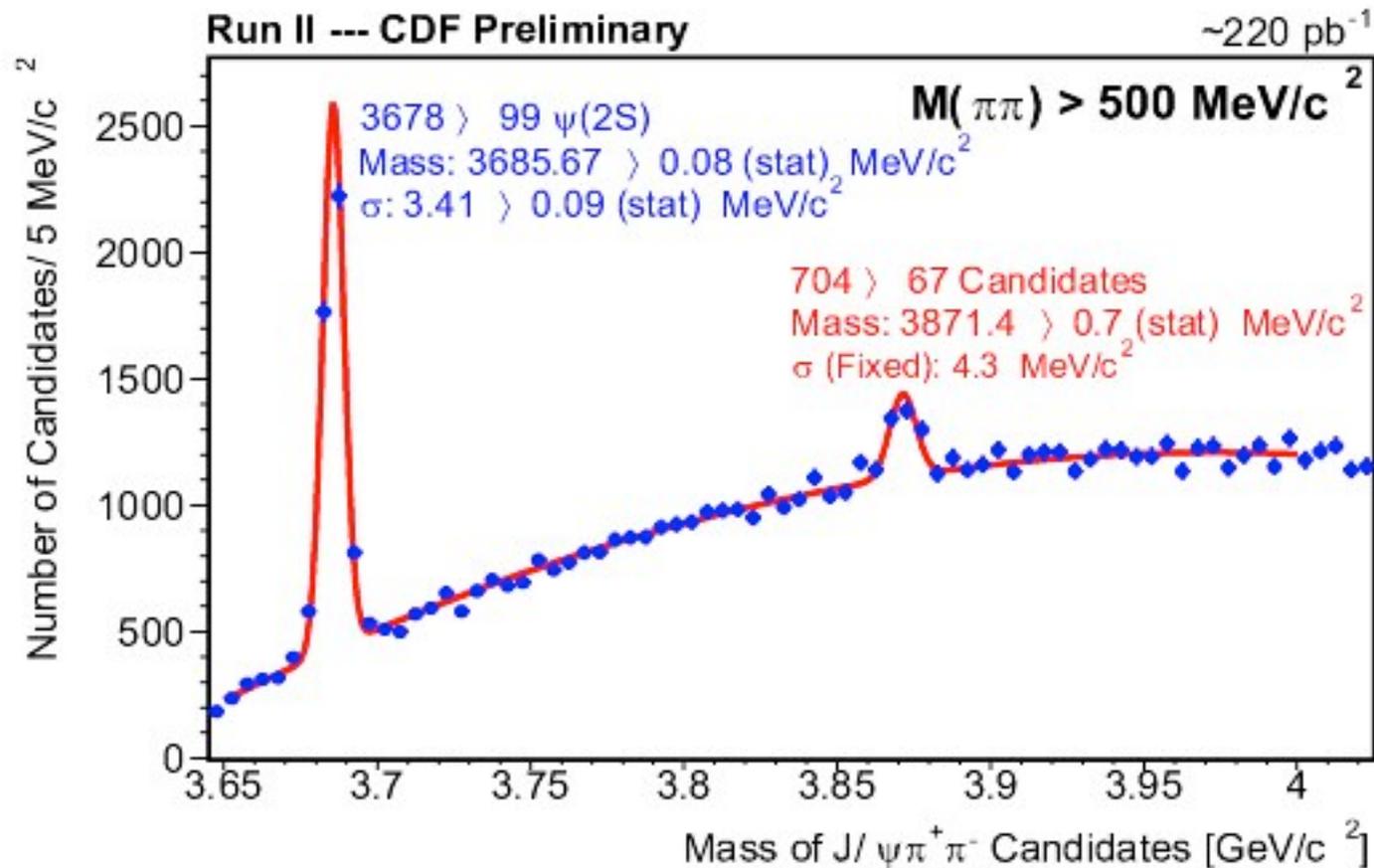
$$\Delta M = M(K^0_L) - M(K^0_S) = 5.3 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$$

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

Dalla scoperta di una nuova risonanza

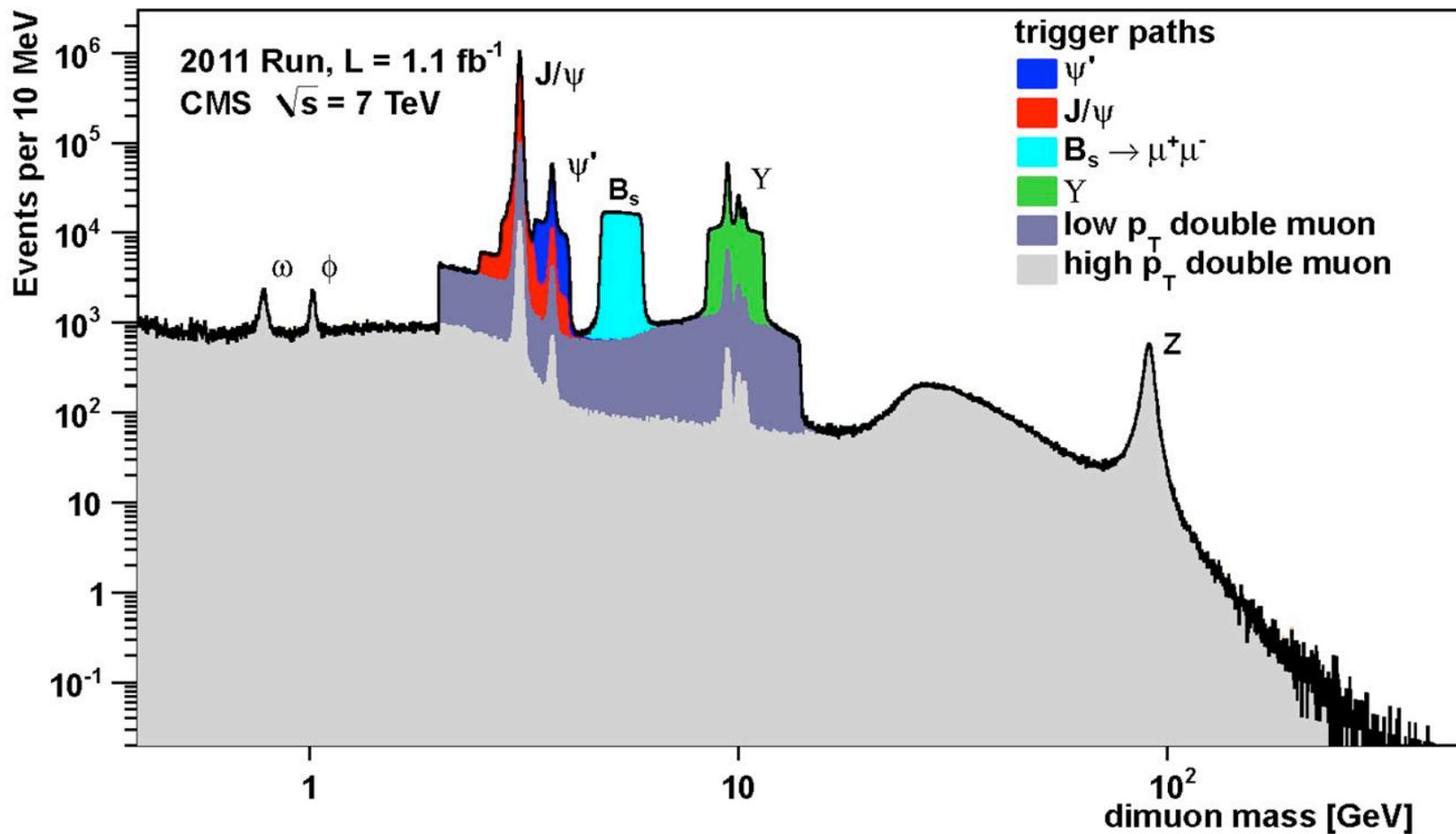


al suo utilizzo come mezzo per nuove scoperte

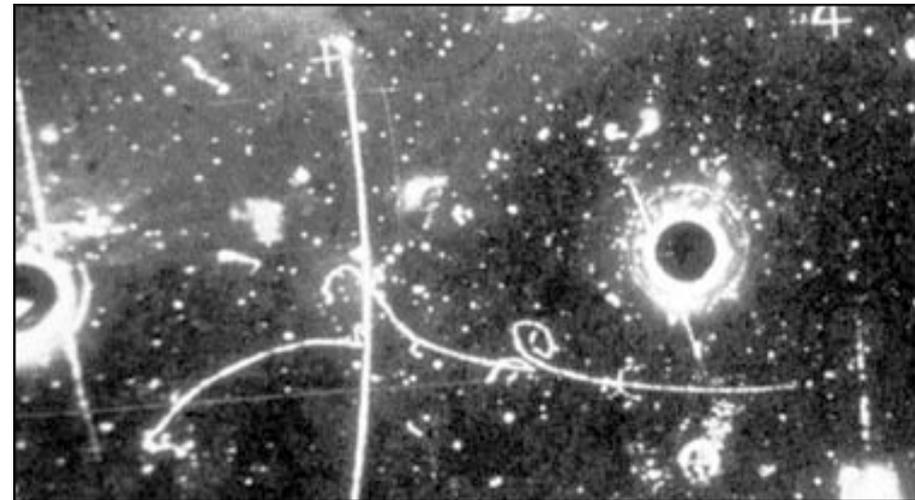
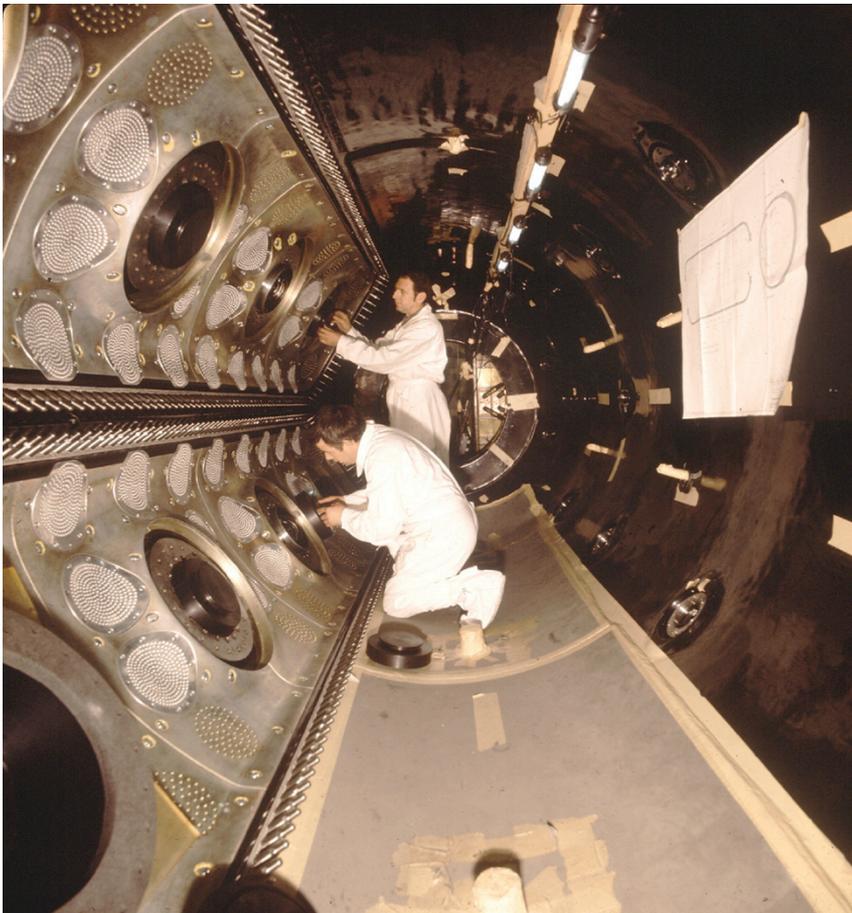


Prima evidenza di X(3872) ad un collider adronico

o infine come “sorgente” di muoni

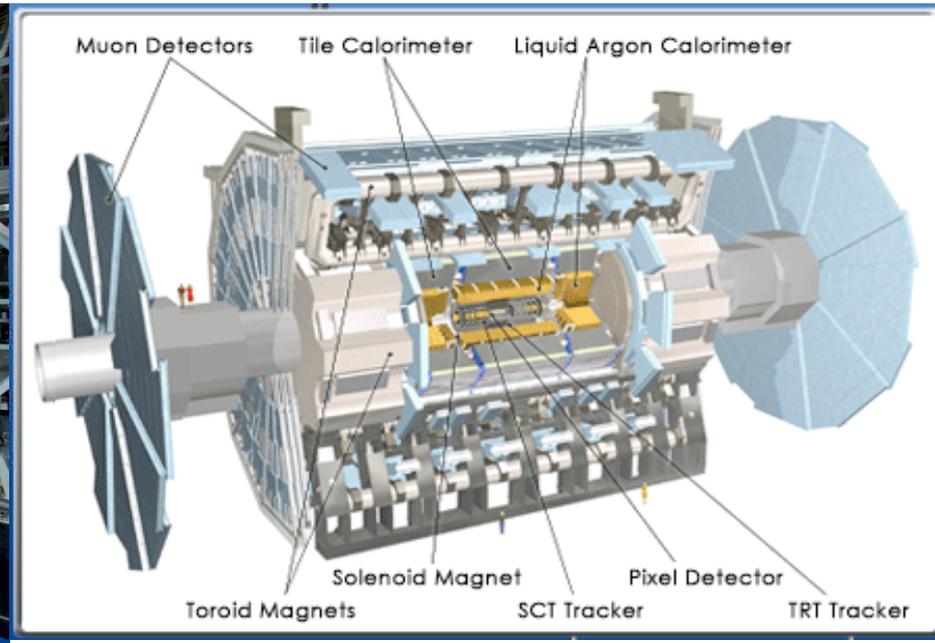
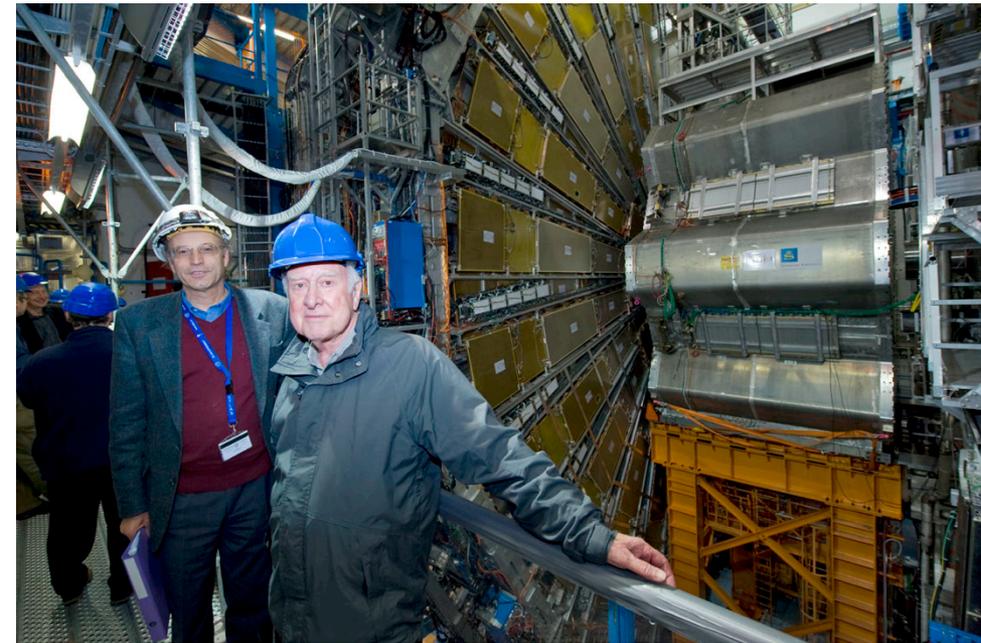


Senza dimenticare lo sviluppo dei rivelatori



20 T di Freon [CF₃Br](#)
2 metri diametro per 4.8 metri
lunghezza

Fino al gigantismo attuale



Diameter: 22 m. Length: 43 m.

Programma (2014-2015)

- **Interazioni particelle con la materia e metodi di misura (richiami)**
- **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**
- **Argomenti di Fisica particellare moderna**

Programma (2014-2015)

- **Interazioni particelle con la materia e metodi di misura (cenni)**
- Perdite di energia per ionizzazione, Bethe-Bloch, fluttuazioni di Landau, percorso residuo, particelle al minimo di ionizzazione e multiplo scattering. Radiazione Cherenkov, identificazione di particelle. Perdita di energia per elettroni, energia critica, bremsstrahlung. Interazione dei fotoni, effetto fotoelettrico, Compton, creazione di coppie. Sciami elettromagnetici e adronici. Misura di particelle cariche in campo magnetico.
- **(Burcham: cap. 2: par. 1-3)**

Programma (2014-2015)

- **Simmetrie e leggi di conservazione**
- Unitarietà dell'operatore di simmetria. Generatore della trasformazione. Simmetrie continue e discrete. Numeri quantici additivi e moltiplicativi. Operatore di parità. Parità intrinseca. Invarianza di gauge e conservazione
- della carica. Numero barionico e leptonico. Misura della parità del π^- . Simmetria per coniugazione di carica. Autovalori della coniugazione di carica del γ , del π^0 , di stati di coppie particella-antiparticella (bosoni e fermioni). Cenni alla time reversal. 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.
- **(Burcham: cap. 8: par. 8.1-8.10, 8.12)**

Programma (2014-2015)

- **Spettroscopia adronica e Modello a quark**
- La scoperta delle particelle strane. Produzione associata. La stranezza. Interazioni dei mesoni K carichi. Iperoni strani metastabili. Cenni al gruppo SU(3). Matrici di Gell-Mann e generatori di SU(3). Classificazione delle particelle adroniche. Grafico isospin-iper carica. Introduzione dei quark.
- Numeri quantici dei quark. Costruzione dell'ottetto 0- dei mesoni. Degenerazione degli stati con $Y=0$ e $I_3=0$. Isodoppio (u,d). Cenni alla
- formula di massa di Gell-Mann e Okubo. Mesoni vettoriali 1-. Decadimenti della ϕ e dell' ω . Regola di OZI. Masse efficaci dei quark u, d, e s. Discussione sul concetto di massa di una particella: massa dei quark.
- **(Burcham: cap.9: par 9.1; cap.10: par.10.1 (cenni), 10.2,10.3,10.4,10.5 (cenni), 10.7.2**

Programma (2014-2015)

- **I colore e la QCD**
- Problemi con la simmetria della funzione d'onda della Δ^{++} . Introduzione del colore. Ipercarica di colore e di isospin di colore. Ipotesi del confinamento del colore. Gli adroni sono "bianchi". Cenni ai collider e^+e^- . Evidenza sperimentale del colore: rapporto R e larghezza del π^0 . Carica di colore. I gluoni a la QCD. Il colore dei gluoni. Costante di accoppiamento forte α_s . Cenni al running delle costanti di accoppiamento. Libertà asintotica della QCD. Processo di adronizzazione. Spin dei quark e scoperta del gluone..

Programma (2014-2015)

- **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. Cenni all'invarianza dalla scala. Scattering anelastico elettrone-protone. Relazione tra Q^2 , u e x . 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 densità dei partoni. Relazione di Callan-Gross. Quark di valenza e quark del mare. Regole di somma. Impulso trasportato dai gluoni. Processi di Drell-Yan.
- **(Burcham: cap.12, par.12.1-12.7)**

Programma (2014-2015)

- **Interazioni deboli**

- Introduzione al decadimento beta. Decadimenti di Fermi e di Gamow-Teller. 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: τ - θ 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 (senza il calcolo della larghezza parziale). Vita media del pione. 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. Matrice CKM e cenni alla misura del modulo dei suoi elementi.
- **(Burcham: cap.5: par.5.2, cap. 11: par.11.1, 11.2,11.3.2,11.5,11.6,11.8- 11.12 ; cap.10 :par.10.7.1,10.7.3**

Programma (2014-2015)

- **Scoperta del quarkonio e della terza famiglia di fermioni**
- Scoperta della J/Ψ . Esperimenti a BNL e SLAC. Misura delle proprietà della J/Ψ . Regola di OZI e α_s running. Open charm. Scoperta del leptone tau. Scoperta della Ypsilon. Quarkonium states.
- **(Cahn-Goldhaber cap. 9)**

- **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: K^0_1 e K^0_2 . Decadimenti del K^0_1 in $\pi^+\pi^-$ e del K^0_2 in $\pi^+\pi^-\pi^0$. Vite medie. Oscillazioni di stranezza. Diagramma di Feynman per l'oscillazione. Interazioni dei K^0 e degli anti- K^0 con la materia. Determinazione di Δm . Rigenerazione dei K^0_1 . 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 η^{+-} e η^{00} . Decadimenti semileptonici del K^0_L . Introduzione del parametro δ_I . Definizione operativa del segno della carica elettrica. Violazione diretta di CP. Elementi di matrice per le transizioni $\Delta I=1/2$ e $\Delta I=3/2$. Introduzione del parametro ϵ' . Introduzione del doppio rapporto per la misura di ϵ' . Condizioni per il mescolamento dei mesoni neutri.
- **(Burcham: cap.11: par.11.13; consultare anche Cahn-Goldhaber cap. 7)**

Programma (2014-2015)

- **Teorie di Gauge e Modello Standard.**
- Teorie di gauge. Invarianza di gauge locale: QED. Campi di Yang-Mills. Modello di Glashow- Weinberg-Salam. Rottura spontanea di una simmetria discreta. 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 θ_w . Massa dei bosoni. Massa dei fermioni. Bosone di Higgs. Struttura a doppietti delle particelle nel Modello Standard. Corrente carica puramente levogira. Corrente e.m. Corrente neutra di SU(2). Corrente neutra di ipercarica debole. Relazione di Gell-Mann Nishijima per l'isospin debole e l'ipercarica debole. Numeri quantici per leptoni e quark. Interazioni nel modello SU(2) \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. Cenni alla rinormalizzazione ed al running delle costanti di accoppiamento.
- **(Burcham: cap.13: par.13.1,13.5,13.6)**

Programma (2014-2015)

- **Correnti neutre e prime misure di $\sin^2(\theta_W)$**
- Scoperta delle correnti deboli neutre in camera a bolle. Scattering su nucleoni e su elettroni. Le correnti neutre e la misura di $\sin^2(\theta_W)$. Il rapporto neutral current su charged current (NC/CC). L'esperimento CHARM e la misura di $\sin(\theta_W)$ dal rapporto di reazioni di corrente neutra su elettroni per neutrini e anti-neutrini. Asimmetrie avanti-indietro nel processo $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ a energie del centro di massa minori di M_Z .
- **(Burcham: cap.14 : par.14.1,14.3.1,14.3.2,14.3.3, 14.3.6,14.3.4)**

Programma (2014-2015)

- **Produzione di W e Z ai collider adronici e leptonici.**
- Produzione dello Z e del W al collider SPPS. Collisioni protone-protone e protone-antiprotone, generalità: variabili cinematiche, underlying event e minimum bias (cenni), espressione generale per le sezioni d'urto. Scoperta di W e Z a SppS, misura di elettroni, muoni e del momento trasverso mancante. Picco Jacobiano, massa trasversa. Misure di precisione della massa del bosone W: motivazioni; misura alla soglia di produzione nelle annichilazioni e^+e^- ; misura tramite ricostruzione diretta a Lep2; misura ai collider adronici, CDF. Misura della larghezza di decadimento del bosone W. Polarizzazione dei bosoni W ai collider adronici, verifica dello spin del bosone W, impatto sulla determinazione delle pdf dei quark, asimmetrie leptoniche a Tevatron (protone-antiprotone) e a LHC (protone-protone). Determinazione del mare strano con W+charm (cenni).
- **(Burcham: cap.14 : par. 14.3.8, 14.4.7, 14.4.8. Cahn-Goldhaber cap.12. Su MW: LEP EWK Working Group, "Electroweak Measurements in Electron-Positron Collisions at W-Boson-Pair Energies at LEP": <http://lepewwg.web.cern.ch/LEPEWWG/2/lep2rep.pdf> ; CDF collaboration, <http://www-cdf.fnal.gov/physics/ewk/2012/wmass/>)**

Programma (2014-2015)

- **Misure di precisione elettro-deboli a LEP/SLD**
- Il collider e+e- LEP. Misura della massa e delle larghezze parziali e totale dello Z. Misura dell'energia del fascio con la tecnica della depolarizzazione risonante. Misura della luminosità, scattering Bhabha a piccolo angolo. Correzioni radiative QED. Misura del numero di famiglie di neutrini leggeri: diretta, indiretta, dalla cosmologia. Sezioni d'urto differenziali, asimmetrie e la misura di $\sin^2(\theta_W)$. Decadimenti del leptone tau e polarizzazione. Cenni alle correzioni radiative elettro-debole e misura indiretta della massa del quark top e del bosone di Higgs.
- **(Lep Final Results:** Physics Reports: Volume 427 Nos. 5-6 (May 2006) 257-454 <http://lepewwg.web.cern.ch/LEPEWWG/1/>
- **Articolo di Review su EWK precision measurement a Lep:** M. Grunewald, Physics Reports, Volume 322, Issues 3-4 (1999), pp. 125-346)

Programma (2014-2015)

- **Ricerca del bosone di Higgs, scoperta a LHC, misura delle proprietà e prospettive.**
- La ricerca a LEP. Sezioni d'urto di produzione ai collider adronici. Decadimenti del bosone di Higgs nel Modello Standard. La scoperta a LHC. Decadimenti in due bosoni. Misura di massa e larghezza. Determinazione di Spin Parità. Decadimenti in due fermioni. Determinazione degli accoppiamenti. Esempi di interpretazione dei risultati in modelli oltre il Modello Standard (BSM).
- **“A Massive Particle Consistent with the Standard Model Higgs Boson observed with the ATLAS Detector at the Large Hadron Collider”:** Science 338 (2012) 1576-1582: <http://inspirehep.net/record/1223730>
- **“Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC”:** Phys.Lett. B 716 (2012) 1-29: <http://inspirehep.net/record/1124337>
- **“Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC”:** Phys.Lett. B716 (2012) 30-61: <http://inspirehep.net/record/1124338>
- **The CMS Collaboration , “Evidence for the direct decay of the 125 GeV Higgs boson to fermions”** Nature Physics 10, 557–560 (2014) <http://www.nature.com/nphys/journal/v10/n8/full/nphys3005.html>

Possibili argomenti da approfondire

- Alcuni argomenti moderni mancanti
- Attualita' e prospettive della fisica del neutrino
- Fisica astroparticellare e ricerca di Materia Oscura
- Fisica del sapore dei quark e ricerca indiretta di nuova fisica nei decadimenti di charm e beauty

Modalita' di esame

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