

Storia e risultati del CERN tra passato e futuro



...un preambolo

Il Cern è nato nel 1954

- ☞ Ho necessariamente dovuto fare delle scelte
 - ⇒ A posteriori c'è sempre il rischio di una *riscrittura della storia* (o almeno di una sua rilettura) alla luce di quello che è stato poi scoperto
 - Involontaria adesione di noi scienziati al mito di una storia (o almeno di una scienza) che "progredisce" attraverso una serie di risultati

Vi invito a prendere il resto di questa presentazione come una visione estremamente parziale della storia del CERN

- ☞ È un tentativo (soggettivo) di fornire alcuni spunti di riflessione legati anche allo sviluppo della fisica delle alte energie negli ultimi decenni



European Organization for Nuclear Research

Home | Sitemap | Contact us

Search this site all CERN

About us Science Research The LHC People



1954 1957 1959 1968 1971 1973 1976 1983 1986 1989 1990 1993 1995 2002 2004 2008

- CERN's mission
- CERN's structure
- The name CERN
- A global endeavour
- History highlights
- 1954: foundations for European science
- 1957: the first accelerator begins operation
- 1959: the PS starts up
- 1968: Georges Charpak revolutionizes detection
- 1971: the world's first

1983: discovery of the W and Z particles

In 1979, CERN took the bold decision to convert the Super Proton Synchrotron (SPS) into a proton-antiproton collider. The invention of a technique called stochastic cooling, which would allow sufficient numbers of antiprotons to be accumulated to make a beam, was the key to the success of this project.

The first proton-antiproton collisions were achieved just two years after the project was approved, and two experiments, named UA1 and UA2, started to search the collision debris for signs of W and Z particles, carriers of the weak interaction between particles.

Un risultato di successo

Lo startup del LHC è stato un grande evento mediatico mondiale che ha generato non solo attenzione da parte dei media ma anche

- ☞ Curiosità nelle persone comuni
 - ⇒ Che succede al CERN?
 - ⇒ Cosa fanno i fisici delle Alte Energie
 - ⇒ Sono così bravi?



Le domande che oggi vi propongo sono

- ☞ Come siamo arrivati a questo?
- ☞ Cosa c'è dietro un successo di tal fatta?

L'inizio

1950:

- ☞ Europa in pezzi, USA e URSS hanno fatto esplodere le atomiche, Germania divisa ed occupata
- ☞ Le scuole di fisica europee che avevano dominato tra le due guerre, spazzate via
- ☞ La fisica di frontiera ("nucleare" → subnucleare) si divideva in attività
 - ⇒ Con i raggi cosmici
 - ⇒ Con gli acceleratori
- ☞ I mezzi a disposizione permettevano ai fisici europei praticamente solo la prima strada
- ☞ Negli USA venivano costruiti/progettati acceleratori sempre più potenti ed erano a disposizione anche acceleratori utilizzati per il Progetto Manhattan

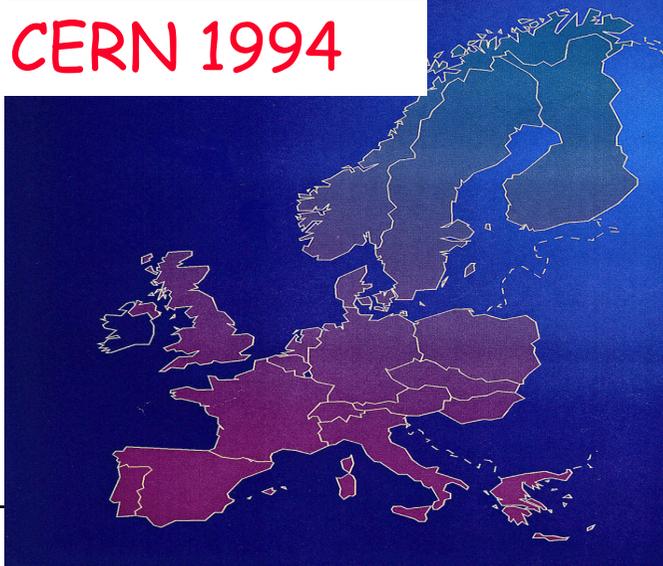
Accettare lo status quo?

Nei fatti la costruzione di acceleratori di particelle diventava ad un tempo

- ☞ Sempre più costosa (crescita di energia)
- ☞ Tecnicamente più complessa
- ☞ Richiedeva una quantità di risorse umane e di esperienze non disponibili in un solo stato

La risposta (non unanime) è stata di unire le forze

CERN 1994



Member States	Dates of Accession
 Austria	1959
 Belgium	1953
 Czech FR	1993
 Denmark	1953
 Finland	1991
 France	1953
 Germany	1953
 Greece	1953
 Hungary	1992
 Italy	1953
 Netherlands	1953
 Norway	1953
 Poland	1991
 Portugal	1986
 Slovak FR	1993
 Spain	1/1961 - 12/1968 - 1/1983
 Sweden	1953
 Switzerland	1953
 United Kingdom	1953

* Founding Members shown in bold italics

Tra gli
stati
fondatori
manca la
Yugoslavia

Gli inizi (anni '50)

Decisione di costruire due acceleratori

- ☞ Un sincrociclotrone, di concezione e costruzione "tradizionale", però con un'energia del fascio (600 MeV) che ne farà uno strumento utile a rimettere i fisici europei sulla cresta dell'onda
 - ⇒ Alcuni risultati molto importanti
- ☞ Uno, di concezione innovativa (il ProtoSincrotrone, o PS), che, con i suoi 28 GeV di energia del fascio, porterà i fisici europei alla "Frontiera dell'Energia"
 - ⇒ Di fatto apre la competizione con gli USA per la leadership nel settore
 - Dovremmo domandarci perché, però, molti risultati saranno comunque ottenuti prima negli USA che al CERN

Il sincrociclotrone

Macchina da 600 MeV

- ☞ Energia del fascio più alta al mondo, una macchina che permette al CERN di inserirsi nella fisica dei mesoni anche grazie all'alta intensità
- ⇒ I fisici europei tornano "back in business" nel 1958

Anche dimostrazione delle capacità tecniche e manageriali del neonato laboratorio!

USA e URSS non sono più soli !



Il primo successo

È il 1958..alla partenza della macchina un gruppo composto da Fidecaro et al e misura una reazione interessante, il decadimento

☞ $\pi \rightarrow e\nu$

⇒ previsto nella teoria delle ID ma non osservato

☞ alcune riflessioni

⇒ La rivelazione di questo decadimento resa possibile dall'alta intensità del fascio

⇒ Apre il capitolo dello studio delle interazioni deboli al CERN

→ Sarà un caso che due grandi successi siano legati a queste interazioni?

- Rivelazioni delle correnti neutre
- Scoperta di W e Z (Nobel a Carlo Rubbia)

ELECTRON DECAY OF THE PION

T. Fazzini, G. Fidecaro, A. W. Merrison, H. Paul, and A. V. Tollestrup*

CERN, Geneva, Switzerland

(Received September 12, 1958)

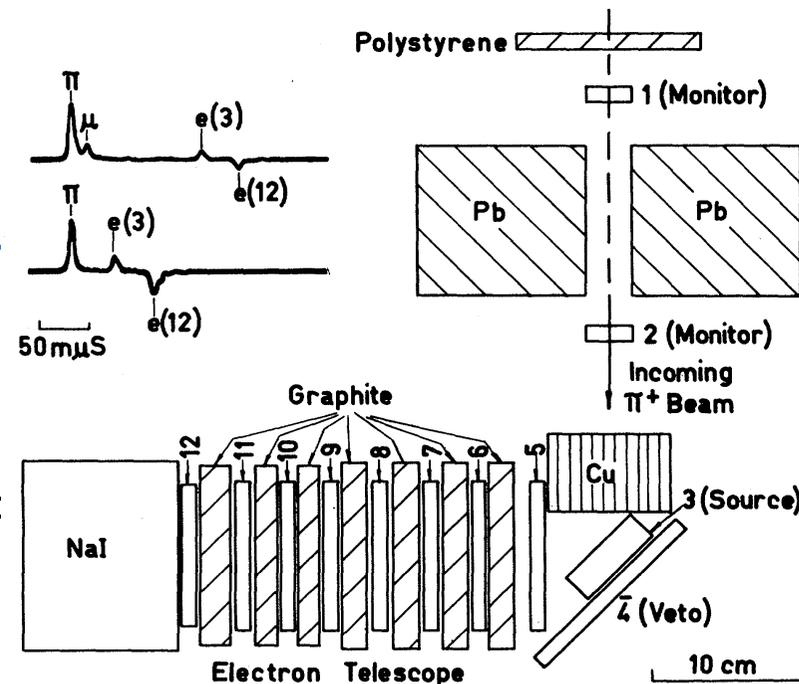


FIG. 1. Experimental layout, and (inset) typical $\pi-\mu-e$ and $\pi-e$ pulse.

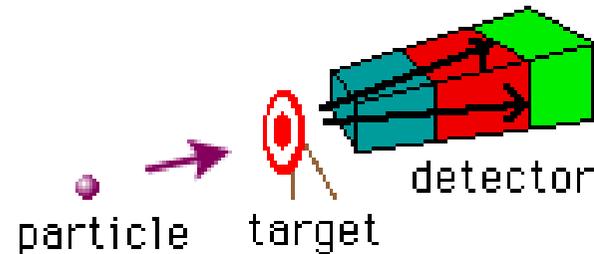
Il PS

Il Protosincrotrone da 28 GeV entra in funzione nel 1960

- ☞ 6 mesi più tardi entra in funzione uno analogo a Brookhaven

Il successo dei costruttori è parziale:

- ☞ Le linee di fascio e gli esperimenti non sono pronti o comunque in ritardo



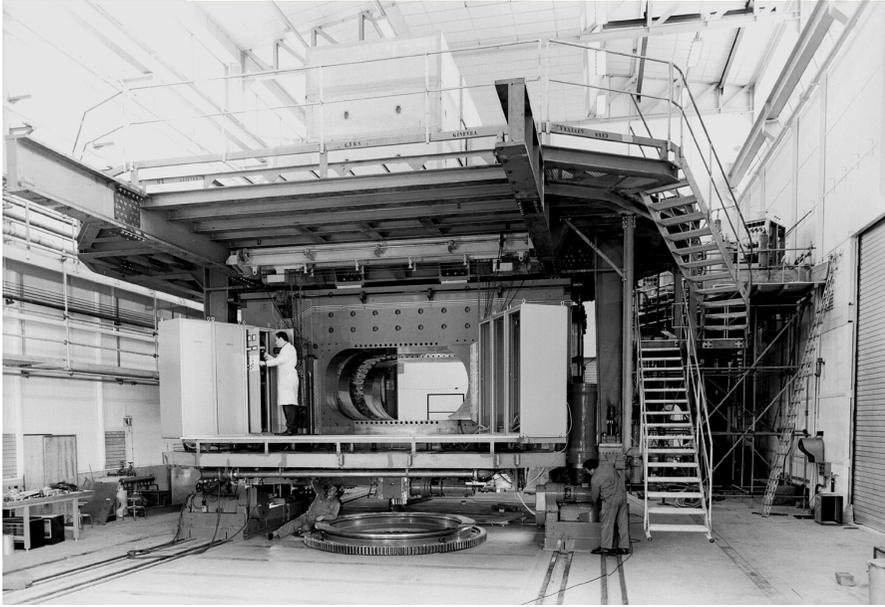
- ☞ I rivelatori (camere a bolle etc) saranno pronti solo più tardi
 - ⇒ **Gli americani riguadagnano sui ritardi**

Tecniche sperimentali

All'epoca erano in auge

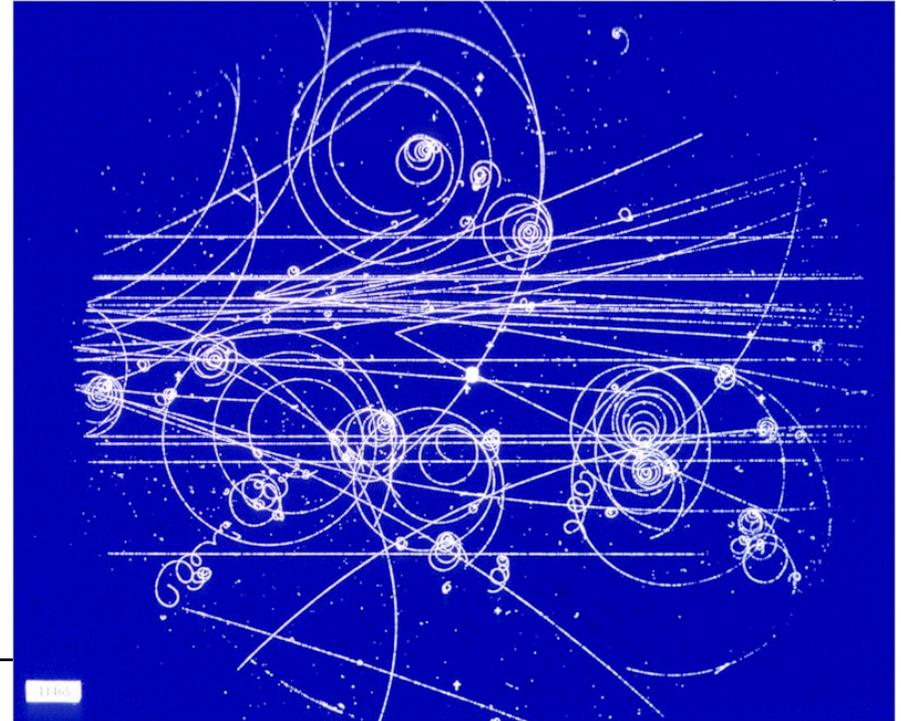
- ☞ Camere a bolle
 - ⇒ Le tracce delle particelle erano evidenziate da piccole bolle
- ☞ Primi rivelatori elettronici ("spark chamber", geiger counters e simili)
 - ⇒ Scariche elettriche apparivano al passaggio di una particella
- ☞ In entrambi i casi gli eventi di interesse erano fotografati ed i film analizzati

Camera a bolle



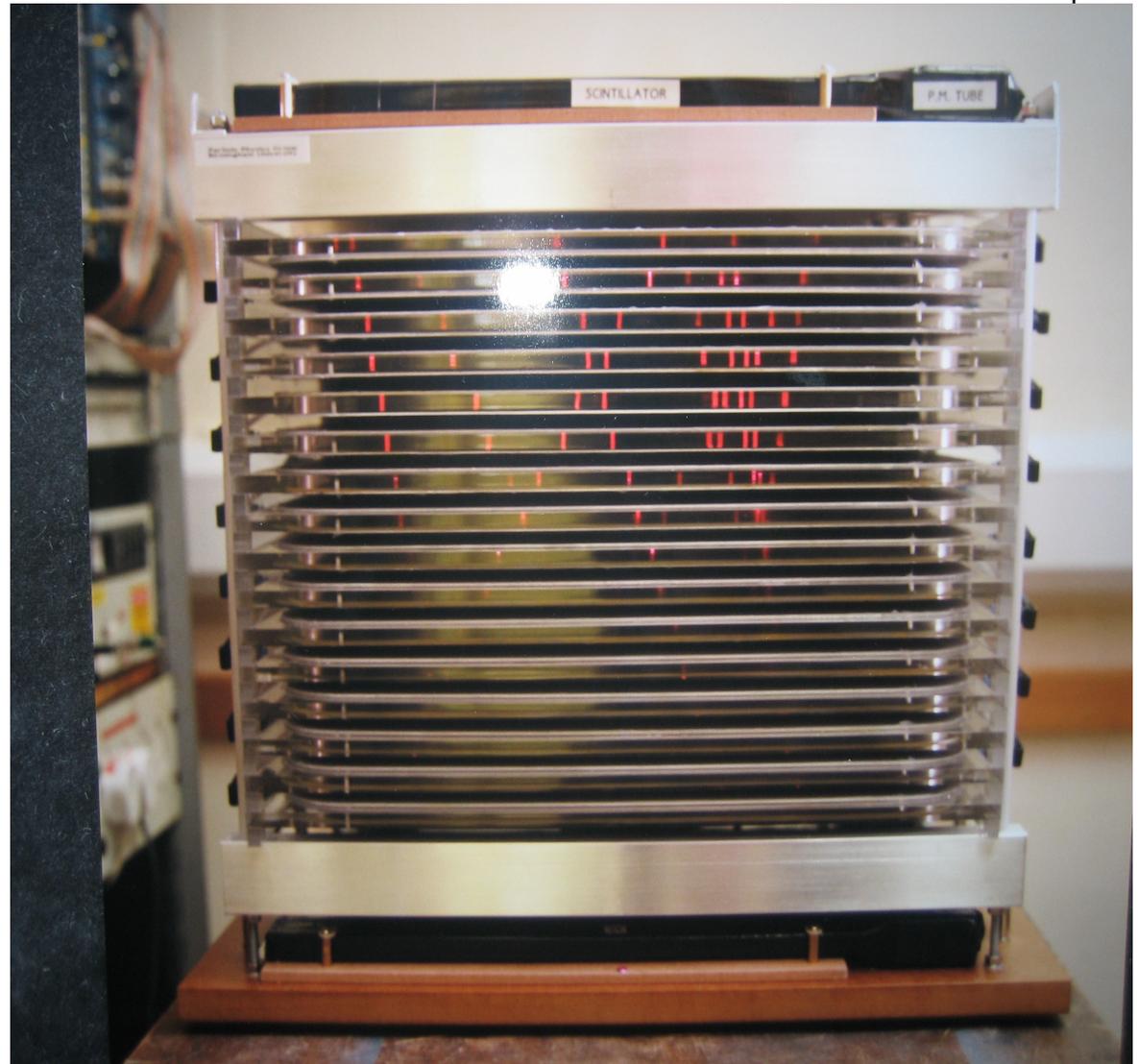
Le particelle cariche lasciano scie di piccole bolle che vengono fotografate in più proiezioni.

Camera a bolle in idrogeno in assemblaggio nel 1963.



Spark chambers

Le tracce sono visibili e la direzione delle particelle può essere ricostruita



Strumenti..

Ci sembrano strumenti ancora molto rudimentali ma, con l'ausilio dei

☞ primi computers

⇒ Scan automatico degli eventi

☞ e dei primi sistemi di trigger (acquisizione solo delle foto di eventi "interessanti")

Viene svolta gran parte della fisica degli anni '60

☞ Stimolo anche a sviluppare nuove tecniche di rivelazione (MWPC, rivelatori al silicio)

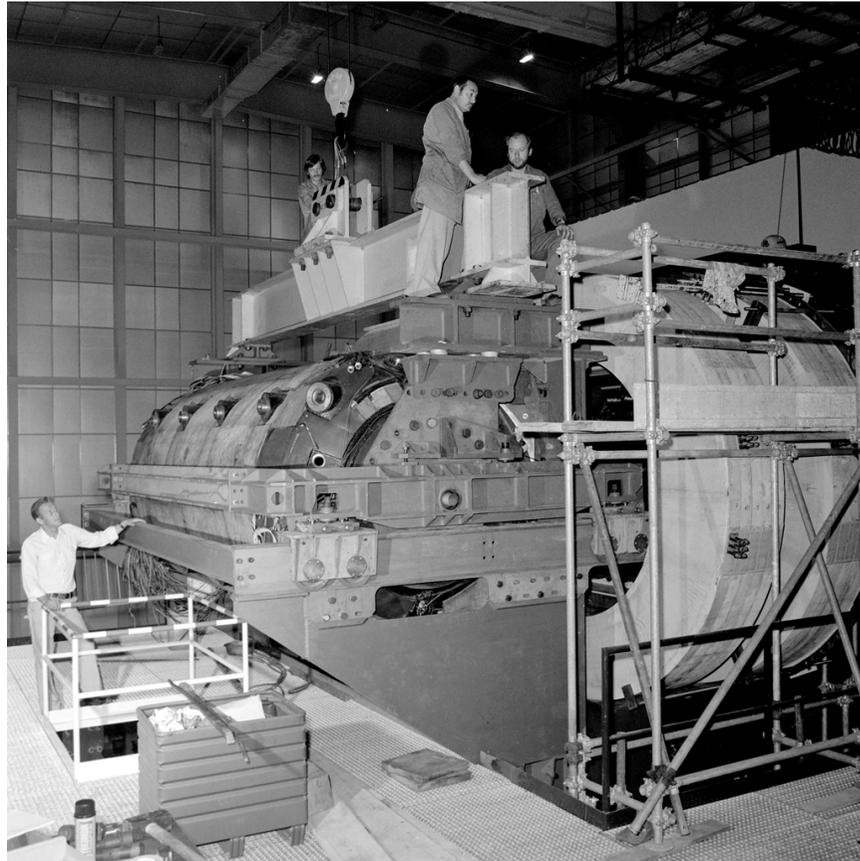
⇒ È un capitolo a parte dei successi del CERN!

→ Premio Nobel a Charpak nel 1992 per l'invenzione e lo sviluppo delle MWPC

Gargamelle e le correnti neutre

Alla metà degli anni '60 Lagarrigue (EP) propose la costruzione di una camera a bolle in freon per sfruttare il fascio (secondario) di neutrini prodotto al PS

- ☞ Progetto francese (+Italia, UK)
- ☞ In "concorrenza" con il progetto di una camera a bolle europea ad idrogeno
- ☞ Un progetto sicuramente impegnativo e tecnicamente complesso
- ☞ Obiettivo principale: scoprire il mediatore carico delle interazioni deboli: W^\pm
 - ⇒ prevista fin dal 1960 non c'era una previsione per la massa



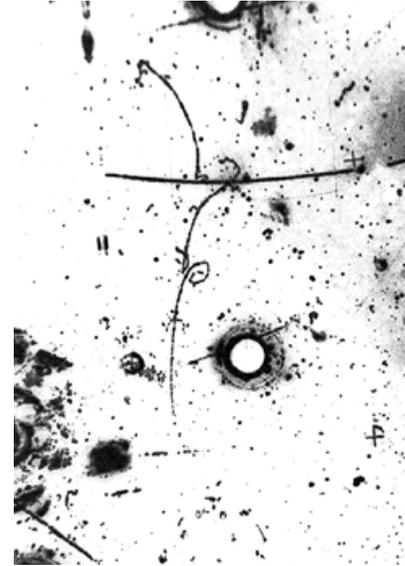
Le correnti cariche ed il 1971

Gargamelle ha un concorrente dall'altra parte dell'Oceano (E1A, esperimento di tipo elettronico al Fermilab)

- ☞ Fino al 1971 nessun documento riporta le correnti deboli come obiettivo della ricerca
 - ⇒ I fisici teorici, convinti da un lavoro di 't Hooft della potenzialità della teoria di Glashow, Weinberg e Salam, a convincere gli sperimentali che la loro camera a bolle era lo strumento giusto per osservare eventi del tipo

$$\nu_{\mu} - e \rightarrow \nu_{\mu} - e$$

- ☞ Gargamelle annunzierà l'osservazione delle correnti neutre nel 1973
 - ⇒ Weinberg e Salam hanno ragione!



Volume 46B, number 1

PHYSICS LETTERS

3 September 1973

SEARCH FOR ELASTIC MUON-NEUTRINO ELECTRON SCATTERING

F.J. HASERT, H. FAISSNER, W. KRENZ, J. Von KROGH,
D. LANSKE, J. MORFIN, K. SCHULTZE and H. WEERTS
III Physikalisches Institut der technischen Hochschule, Aachen, Germany

G.H. BERTRAND-COREMANS, J. LEMONNE, J. SACTON, W. Van DONINCK and P. VILAIN*
Interuniversity Institute for High Energies, U.L.B., V.U.B. Brussels, Belgium

C. BALTAY*², D.C. CUNDY, D. HAIDT, M. JAFFRE, P. MUSSET, A. PULLIA*³
S. NATALI*⁴, J.B.M. PATTISON, D.H. PERKINS*⁵, A. ROUSSET, W. VENUS*⁶ and H.W. WACHSMUTH
CERN, Geneva, Switzerland

V. BRISSON, B. DEGRANGE, M. HAGUENAUER, L. KLUBERG, U. NGUYEN-KHAC and P. PETIAU
Laboratoire de Physique des Hautes Energies, Ecole Polytechnique, Paris, France

E. BELLOTTI, S. BONETTI, D. CAVALLI, C. CONTA*⁷, E. FIORINI and M. ROLLIER
Istituto di Fisica dell'Università, Milano and I.N.F.N. Milano, Italy

B. AUBERT, L.M. CHOUNET, P. HEUSSE, A. LAGARRIGUE, A.M. LUTZ and J.P. VIALLE
Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Orsay, France

and
F.W. BULLOCK, M.J. ESTEN, T. JONES, J. MCKENZIE, A.G. MICHETTE*⁸
G. MYATT*⁹, J. PINFOLD and W.G. SCOTT*^{10, 11}
University College, University of London, England

Received 2 July 1973

One possible event of the process $\nu_{\mu} + e^{-} \rightarrow \nu_{\mu} + e^{-}$ has been observed. The various background processes are

La scoperta della correnti neutre

Questo risultato del CERN segna due importanti cambiamenti

- ☞ È un primo, importante, successo sperimentale del modello standard di Weinberg e Salam
 - ⇒ La predizione dell'esistenza di un bosone neutro è confermata
- ☞ È la prima volta che il CERN arriva davanti agli americani
 - ⇒ di fronte alla mancata osservazione da parte di E1A molti al CERN penseranno che ad essere sbagliato è il risultato di Gargamelle!
 - È una affascinante storia a parte

Gargamelle non avrà il Nobel, ma lo Z^0 lo porterà egualmente al CERN

Gli ISR e la fisica dell'alto Pt

A metà degli anni '60 il CERN decide di costruire due nuove macchine

- ☞ Un SuperProtoSincrotrone (SpS) da 300 GeV
 - ⇒ In realtà la decisione finale arriverà solo nel 1971!
- ☞ Una macchina per creare collisioni tra fasci di protoni sfruttando il PS come iniettore e due anelli per immagazzinare i fasci (1965)
 - ⇒ **Intersecting Storage Rings**
 - Nasce da un'idea del MURA (Midwestern Universities Research Association) che verrà subito abbandonata dagli USA
 - ⇒ Primo collisionatore tra adroni, l'esperienza (e le idee) generate da questa macchina saranno alla base del SpbarS

Espansione territoriale!

Nel 1965 la Francia concede un terreno adiacente al CERN per permettere la costruzione nel sito di Meyrin degli ISR



Un passo importante!

La disponibilità di terreno permetterà, più avanti, di costruire al CERN l'SPS e poi il LEP/LHC

...la fisica dei collisionatori

Collisioni tra adroni agli ISR (1967-1980)

☞ Due fasci (continui) di protoni, collidenti con un angolo

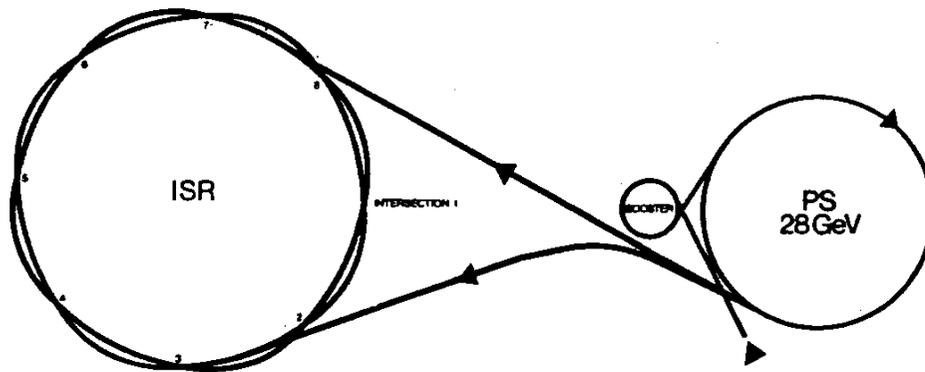
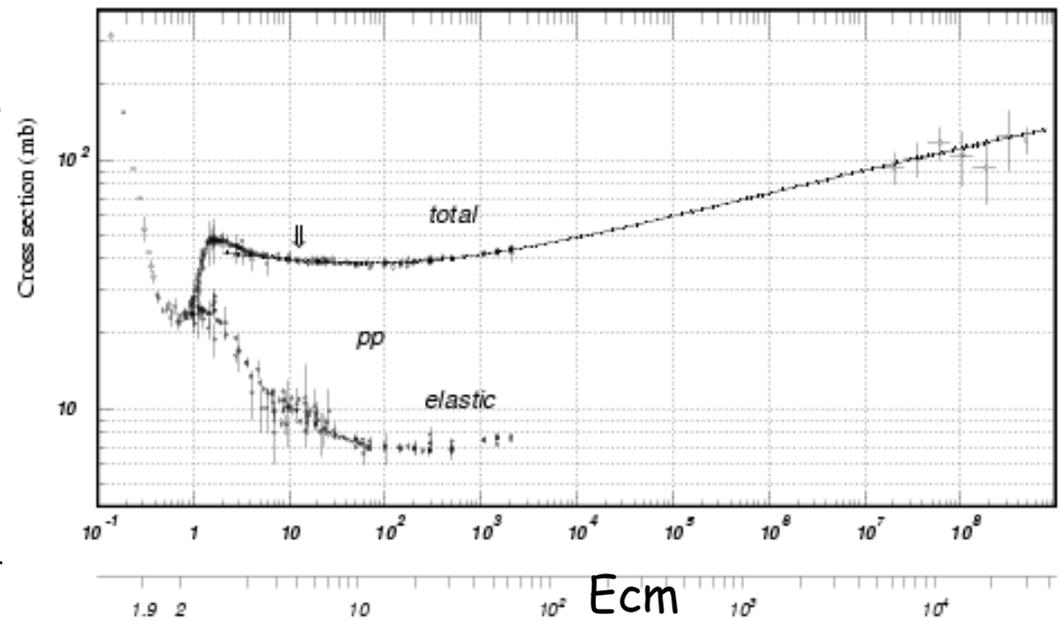


Fig. 2.1. Schematic view of the PS and ISR rings.



Misura della sezione d'urto p-p



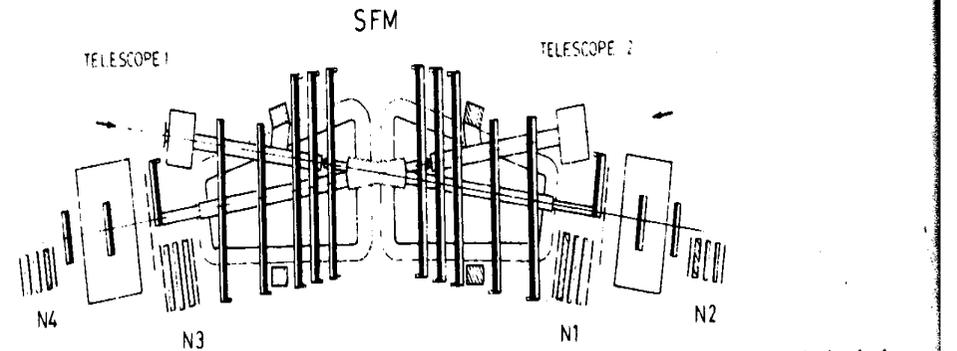
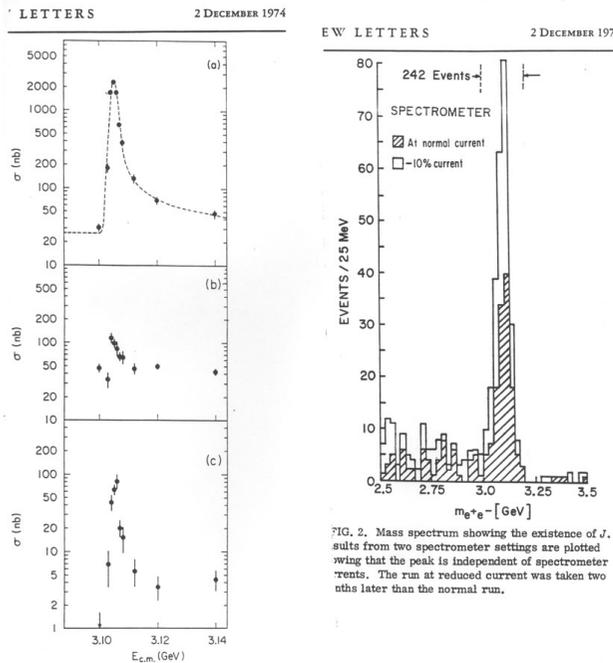
La "nuova" fisica

L'osservazione della J/Ψ a BNL e SLAC arriva nel 1974 (*November Revolution*):

- ☞ Stato legato di charm-anticharm a circa 3 GeV (i quark sono 3 e non 2!)
- ☞ Mancato agli ISR

Dopo il 1974, si volta pagina e si va a guardare cosa succede a 90° rispetto alla direzione del fascio

- ☞ Il più ambizioso:
 - ⇒ Split Field Magnet (il più grande rivelatore agli ISR)
- ☞ In origine costruito in un'ottica tradizionale (fisica a piccolo angolo)



detector as used in the CHOV experiment (R401). N, Neutron detectors. Compensator chambers and Trigger/Monitor hodoscope
avy lines.

Altri risultati dagli ISR

Primo tentativo di osservare lo $Z^0 \rightarrow \mu\mu$ (R 209)

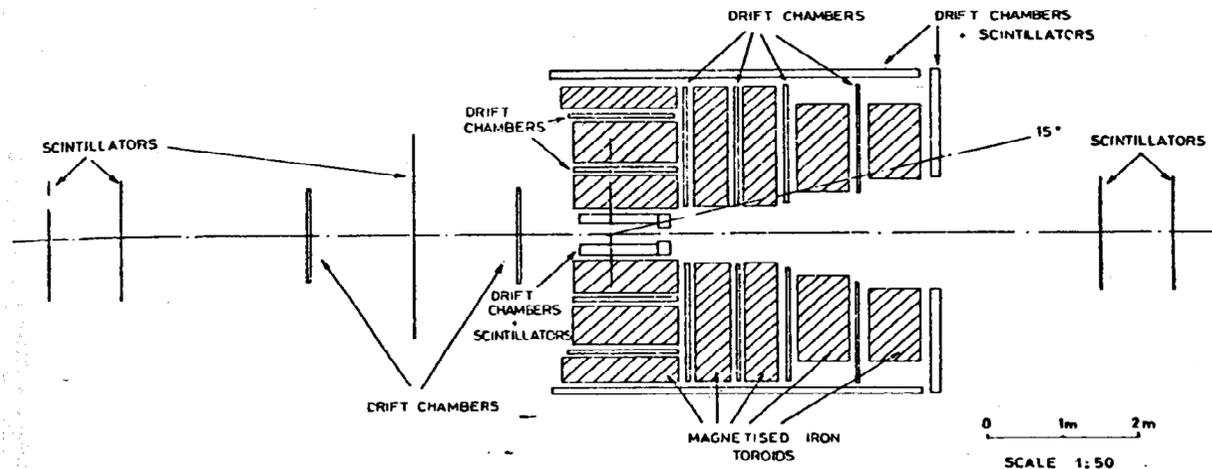


Fig. 11.5. Experiment R209: high mass muon pairs and associated hadrons.

Gli ISR mancheranno la prima osservazione sia della J/Ψ che della Y (stato legato $b\bar{b}$)

Però molti fisici americani verranno a lavorare al CERN e si getteranno le basi di collaborazioni future (UA1, UA2, CDF...)

Il SuperProtoSincrotrone

La possibilità di "scalare in alto" l'energia di un Protosincrotrone viene discussa alla fine degli anni '50

- ☞ USA, URSS seguono decisamente questa strada
 - ⇒ Già nel 1961 la comunità USA decide
 - Dopo alcuni "stop and go" la costruzione comincia nel 1967
 - Negli USA, a Fermilab (Chicago), il "Main Ring" comincerà le operazioni nel 1972 a 400 GeV
- ☞ In Europa il processo decisionale è ancora più lungo
 - ⇒ Nel 1961 c'è il PS da sfruttare, il processo procede lentamente
 - ⇒ Convergerà solamente nel 1971 con la decisione di costruire il SPS al CERN
 - ⇒ il primo fascio sarà pronto nel 1976.

L'SppS collider

Il maggiore successo del CERN non nasce come "il" progetto di punta

- ☞ Siamo alla metà degli anni '70 e da molte parti si indicano le collisioni e^+e^- come il luogo migliore per studiare i quarks, oramai affermatasi come i costituenti elementari, e le loro interazioni
- ☞ A portare a questa indicazione non sono estranei i risultati degli ISR
 - ⇒ Nonostante gli sforzi nessuna scoperta
 - ⇒ Le interazioni tra adroni appaiono troppo complicate (o almeno i loro stati finali, che sono quello che i fisici studiano)
 - ⇒ La scoperta della J/Ψ non è avvenuta ad un collider adronico ma (in una delle due versioni) in un collisore e^+e^-
- ☞ Ma gli ISR sono stati un successo del CERN (SI!)

Verso il LEP ?

Al CERN l'idea di costruire un "superacceleratore" e^+e^- con energie nel cm fino a 200 GeV si fa strada a partire dal 1976

- ☞ La proposta di Cline, Rubbia e McIntyre di lanciarsi in una modifica al SpS per farne un collisionatore "proton-antiprotons" va vista in questo contesto
 - ⇒ Non c'è un immediato "amore" degli user (e di parte della comunità europea dei fisici) verso questo progetto
 - Vogliono il LEP!
 - ⇒ Ma il CERN appoggia questa proposta
 - È una possibilità di vedere per primi W e Z, battere (finalmente!) la concorrenza americana
 - Stabilire che "anche il CERN ce la può fare" nella battaglia per il NOBEL
- ☞ Questo dibattito e le scelte fatte si inquadrano in un periodo di crisi economica (post 1973) che toccherà pesantemente il CERN e la comunità HEP

Il successo..

Il SpS è costruito su alcune esperienze importanti

- ☞ Idea (ed esperimenti preliminari) perseguiti da Simon Van der Meer agli ISR sul
 - ⇒ "Cooling stocastico"
 - Una maniera elegante di aggirare il teorema di Liouville e di riuscire a "stringere" (raffreddare) un fascio
 - Initial Cooling Experiment sarà la chiave per lanciare il progetto (1978)
- ☞ L'ottimo vuoto del SpS
- ☞ Una catena di macchine funzionanti
 - ⇒ Il PS verrà usato per accelerare i pbar e fungerà da iniettore
 - Questo permetterà di ridurre l'impatto sulle operazioni del SpS per il "fixed target" ed aumenterà il consenso al progetto
- ☞ La capacità di Carlo Rubbia di perseguire un progetto

II Sp-pbarS

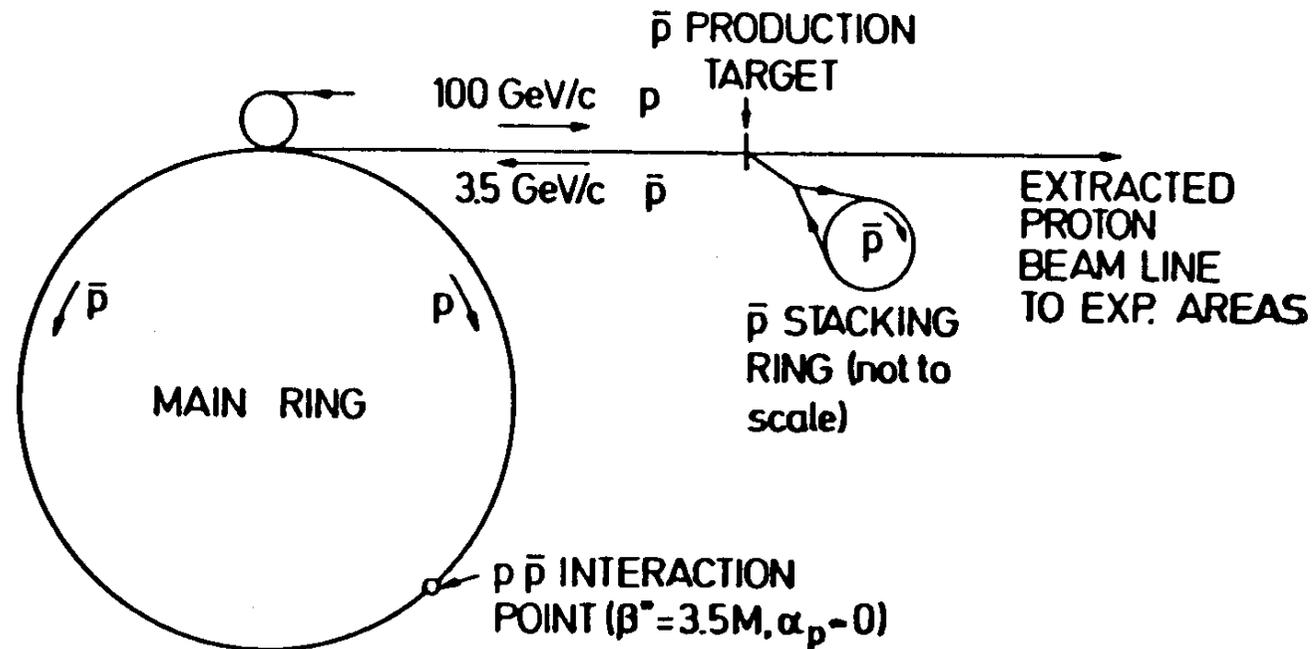


Fig. 5. General layout of the $p\bar{p}$ colliding scheme, from Ref. [9]. Protons ($100 \text{ GeV}/c$) are periodically extracted in short bursts and produce $3.5 \text{ GeV}/c$ antiprotons, which are accumulated and cooled in the small stacking ring. Then \bar{p} 's are reinjected in an RF bucket of the main ring and accelerated to top energy. They collide head on against a bunch filled with protons of equal energy and rotating in the opposite direction.

Il salto in avanti

Agli ISR lo spazio attorno al punto di interazione (misurato in parti dell'angolo solido) era "lottizzato"

- ☞ Per permettere a più gruppi (relativamente) piccoli di lavorare, ognuno aveva il suo piccolo esperimento

Carlo Rubbia ottiene al SppS il salto in avanti

- ☞ Un rivelatore "a 4π " (come si dirà poi), cioè disegnato per coprire tutto l'angolo solido (o la stragrande maggioranza di esso) e guardare a tutti i prodotti delle interazioni come un unicum

In realtà i rivelatori furono due (UA1/2)

- ☞ Uno per ogni punto di interazione
- ☞ Centinaia di fisici (in ciascun esperimento) a lavorare insieme

UA1/UA2

Gli esperimenti nascono nella seconda metà degli anni '70

- ☞ È un punto di snodo della fisica delle alte energie
 - ⇒ I fenomeni a basso impulso trasferito non sono più così importanti
 - È il momento dei fenomeni ad alto P_T
 - È un salto che implica un cambiamento radicale

Abbiamo visto lo "shift" verso il piano trasverso

- ☞ Non è una strada univoca, ad esempio, per quanto riguarda il campo magnetico:
 - ⇒ UA1 ha un campo dipolare (non ottimizzato per lavorare nel pianto trasverso), c'è ancora timore di come trattare le particelle in avanti
 - ⇒ UA2 non ha campo magnetico
 - Non è uno spettrometro

UA1 ed UA2

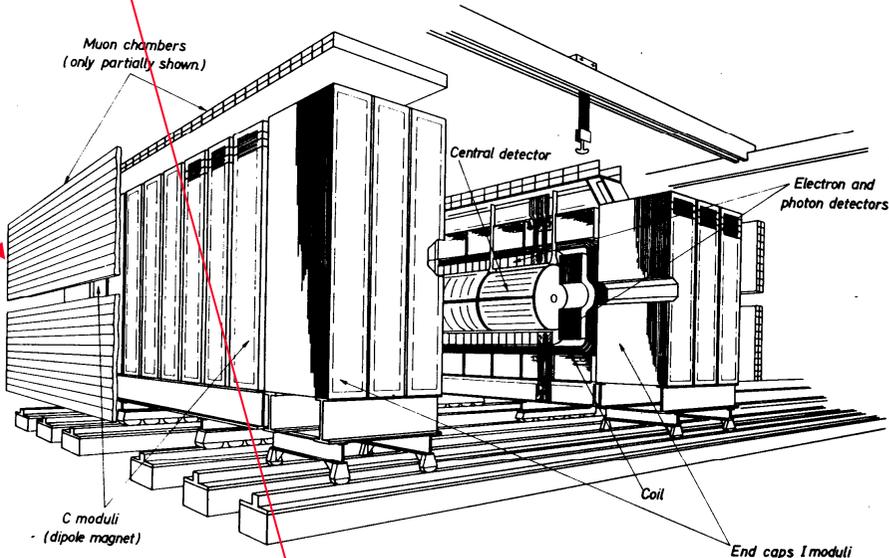
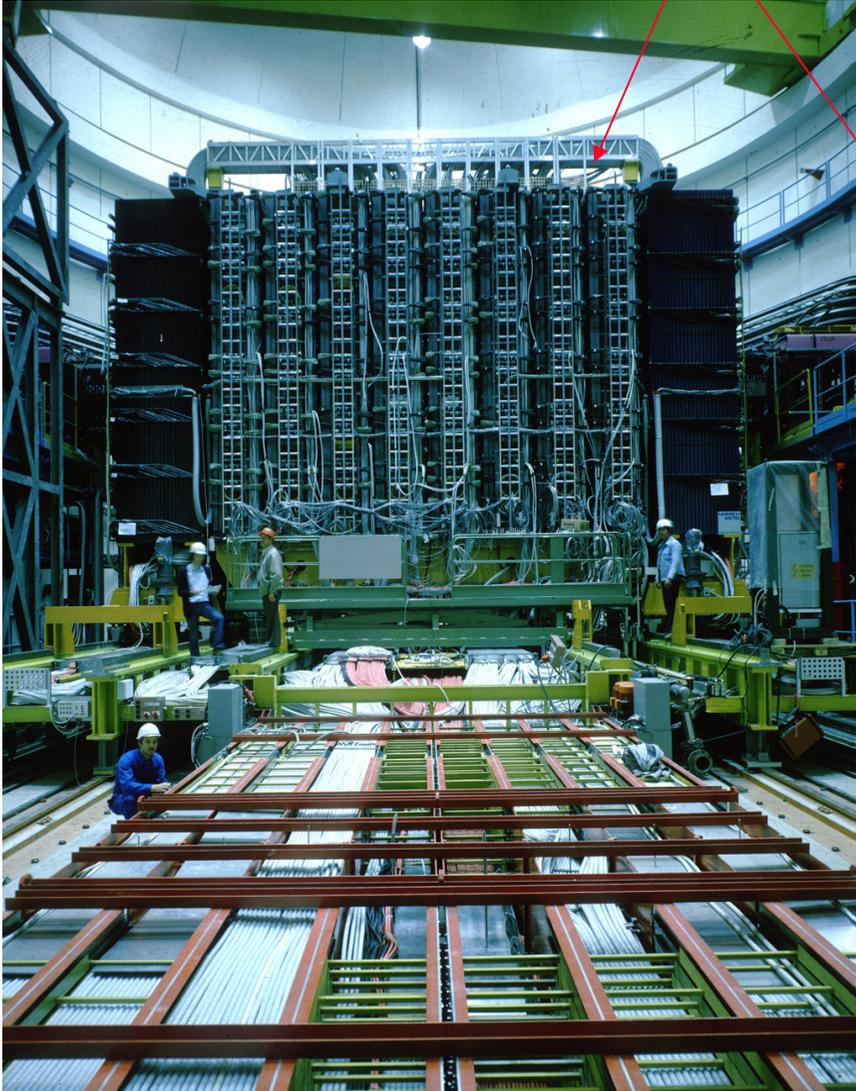


Fig. 1. The Large Angle Detector of the UA1 Apparatus.

ie 122B, number 5,6

PHYSICS LETTERS

17 Marc

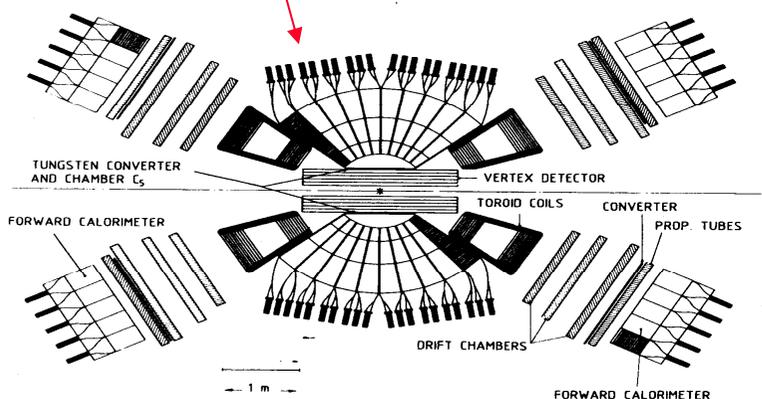


Fig. 1. The UA2 detector: Schematic cross section in the vertical plane containing the beam.

Le scelte (si) pagano

UA2 è il primo dei due esperimenti ad annunciare l'osservazione di jets (fiotti di particelle derivanti dall'adronizzazione dei quark)

⇒ Discussioni aperte su come mai UA1 mancò i jets

☞ È un risultato troppo spesso dimenticato

☞ Importante per la comunità

⇒ Jets non erano stati osservati agli ISR

→ Alcune indicazioni?

⇒ Comparazione con calcoli teorici ancora rudimentali (ma che rapidamente diventano accurati)

→ Si apre il capitolo dello studio della cromodinamica quantistica attraverso la misura delle proprietà dei quarks e non dei loro stati legati

Jets

OBSERVATION OF VERY LARGE TRANSVERSE MOMENTUM JETS AT THE CERN $\bar{p}p$ COLLIDER

The UA2 Collaboration

M. BANNER^f, Ph. BLOCH^f, F. BONAUDI^b, K. BORER^a, M. BORGHINI^b, J.-C. CHOLLET^d, A.G. CLARK^b, C. CONTA^e, P. DARRIULAT^b, L. DI LELLA^b, J. DINES-HANSEN^c, P.-A. DORSAZ^b, L. FAYARD^d, M. FRATERALI^e, D. FROIDEVAUX^{b,d}, J.-M. GAILLARD^d, O. GILDEMEISTER^b, V.G. GOGGI^{e,1}, H. GROTE^b, B. HAHN^a, H. HÄNNI^a, J.R. HANSEN^b, P. HANSEN^c, T. HIMEL^b, V. HUNGERBÜHLER^b, P. JENNI^b, O. KOFOED-HANSEN^c, M. LIVAN^e, S. LOUCATOS^f, B. MADSEN^c, B. MANSOULIÉ^f, G.C. MANTOVANI^{e,2}, L. MAPELLI^b, B. MERKEL^d, M. MERMIKIDES^b, R. MØLLERUD^c, B. NILSSON^c, C. ONIONS^b, G. PARROUR^{b,d}, F. PASTORE^b, H. PLOTHOW-BESCH^d, J.-P. REPELLIN^d, J. RINGEL^b, A. ROTHENBERG^b, A. ROUSSARIE^f, G. SAUVAGE^d, J. SCHACHER^a, J.L. SIEGRIST^b, F. STOCKER^a, J. TEIGER^f, V. VERCESI^e, H.H. WILLIAMS^b, H. ZACCONÉ^f and W. ZELLER^a

^a Laboratorium für Hochenergiephysik, Universität Bern, Sidlerstrasse 5, Bern, Switzerland

^b CERN, 1211 Geneva 23, Switzerland

^c Niels Bohr Institute, Blegdamsvej 17, Copenhagen, Denmark

^d Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Université de Paris-Sud, Orsay, France

^e Istituto di Fisica Nucleare, Università di Pavia and INFN, Sezione di Pavia, Via Bassi 6, Pavia, Italy

^f Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, Gif sur Yvette, France

Received 25 August 1982

The distribution of total transverse energy ΣE_T over the pseudorapidity interval $-1 < \eta < 1$ and an azimuthal range $\Delta\phi = 300^\circ$ has been measured in the UA2 experiment at the CERN $\bar{p}p$ collider ($\sqrt{s} = 540$ GeV) using a highly segmented total absorption calorimeter. In the events with very large ΣE_T ($\Sigma E_T \geq 60$ GeV) most of the transverse energy is found to be contained in small angular regions as expected for high transverse momentum hadron jets. We discuss the properties of a sample of two-jet events with invariant two-jet masses up to 140 GeV/ c^2 and we measure the cross section for inclusive jet production in the range of jet transverse momenta between 15 and 60 GeV/ c .

1. Introduction. The suggestion that hard scattering of hadron constituents should result in two jets with the same momenta as the scattered partons [1] has motivated an intense experimental effort [2]. Earlier ISR experiments [3] have reported observations of such double-jet structures. However these jets were not as clearly identified as they are in the hadronic final states of high-energy e^+e^- annihilations [4], because in hadronic collisions the jets carry only a fraction of the total energy available. As a consequence,

jets are accompanied by several soft hadrons which may make their identification more difficult and in general they are not collinear.

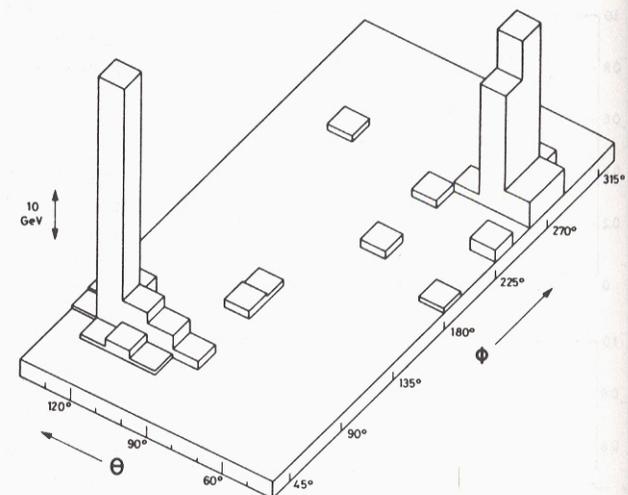
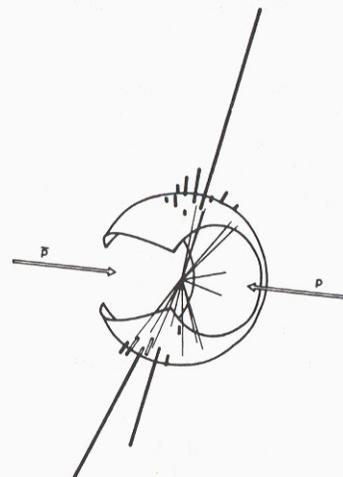
The recent successful operation of the CERN $\bar{p}p$ collider [5] has opened a new possibility to observe high transverse momentum hadron jets. At $\sqrt{s} = 540$ GeV the yield of jets with $E_T > 20$ GeV is expected to increase by about four orders of magnitude with respect to the top ISR energy [6] whereas the average particle density in the central region for an ordinary collision has increased by less than a factor of 2 [7].

We report here on results from the UA2 experiment at the CERN $\bar{p}p$ collider. This experiment uses a large

¹ Now also at Istituto di Fisica, Università di Udine, Italy.

² Now also at Istituto di Fisica, Università di Perugia, Italy.

Articolo dell'agosto 1982!



Uno $Z \rightarrow \mu\mu$ a UA1

Guardiamo insieme l'eleganza e la "chiarezza" di questo evento



Il Lego plot

$Z \rightarrow e^+e^-$ (4 eventi)

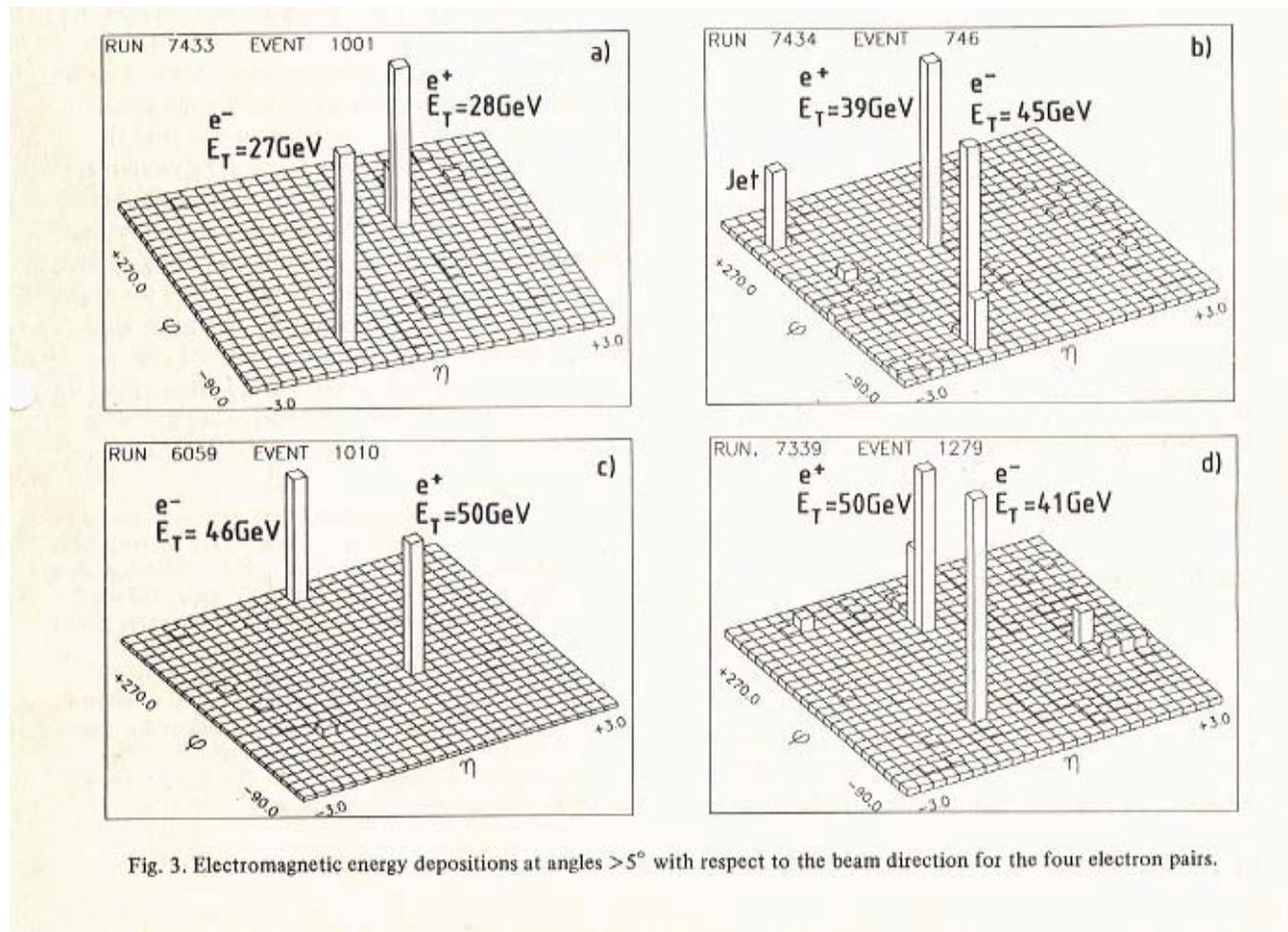


Fig. 3. Electromagnetic energy depositions at angles $>5^\circ$ with respect to the beam direction for the four electron pairs.

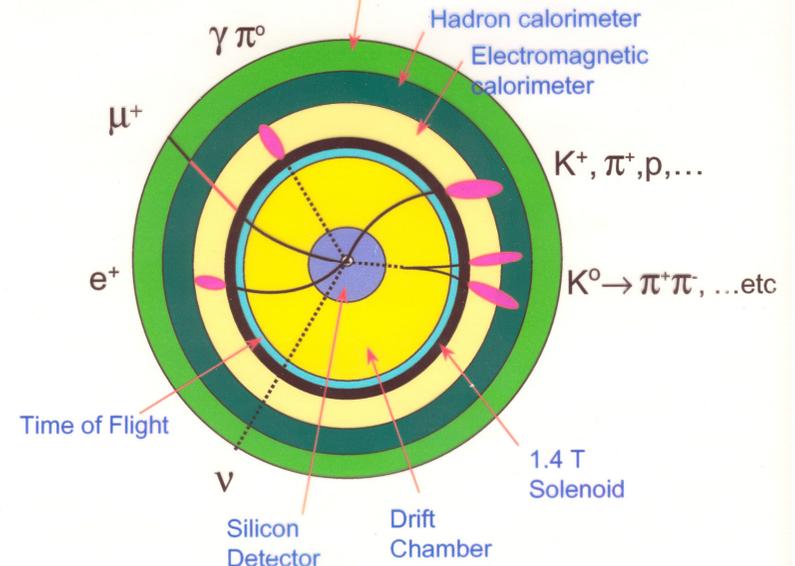
Un indubbio successo

Premio Nobel nel 1984 a Carlo Rubbia e Simon Van der Meer

- ☞ Scoperta W/Z
- ☞ Jets in collisioni adroniche

I rivelatori elettronici si mostrano in grado di fare bene così come necessario

- ☞ "qualità delle immagini come le camere a bolle"
 - ⇒ E1A è vendicato!
- ☞ Emerge il nuovo paradigma dei rivelatori ai collider:
- ☞ La cipolla cilindrica



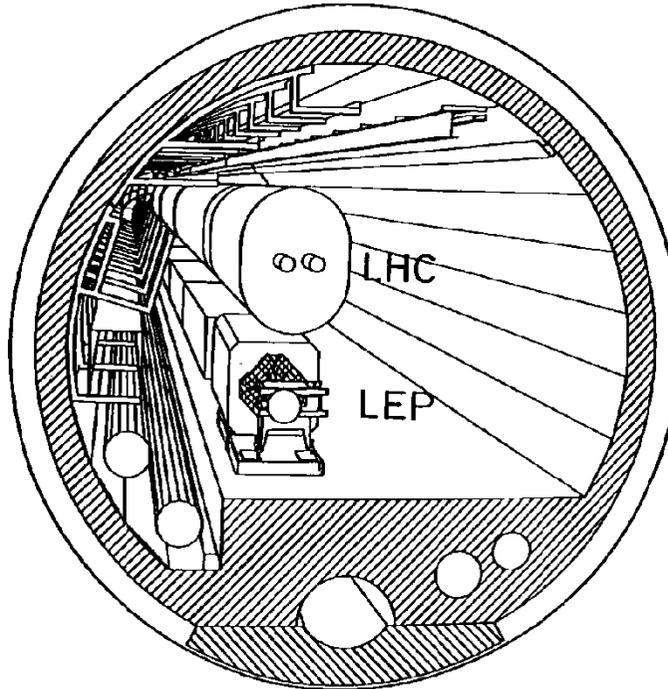
Large Electron Positron

Il CERN negli stessi anni era impegnato in un progetto ambizioso

- ☞ Costruire un acceleratore di particelle da 100 (e poi 200) GeV
- ⇒ Gli e^\pm per collidere
- Va con un anello di sincrotrone a gamma
- Costi enormi
- ⇒ Per ridurre i costi, si pensò a un anello molto grande
- Enorme tunnel
- Ma questo era il 1984



ECFA 84/85
CERN 84-10
5 September 1984



LARGE HADRON COLLIDER
IN THE LEP TUNNEL

Vol. I

PROCEEDINGS OF THE ECFA-CERN WORKSHOP

held at Lausanne and Geneva,
21-27 March 1984

di
e di sincrotrone
stere al fiotto di
in un anello molto
dentro l'anello!

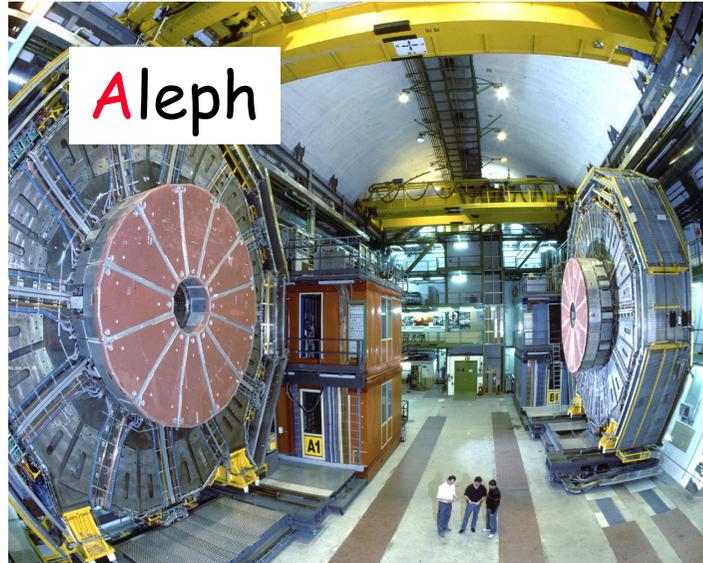


Una macchina, 4 esperimenti

4 esperimenti "4 π ", essenzialmente con gli stessi obiettivi scientifici

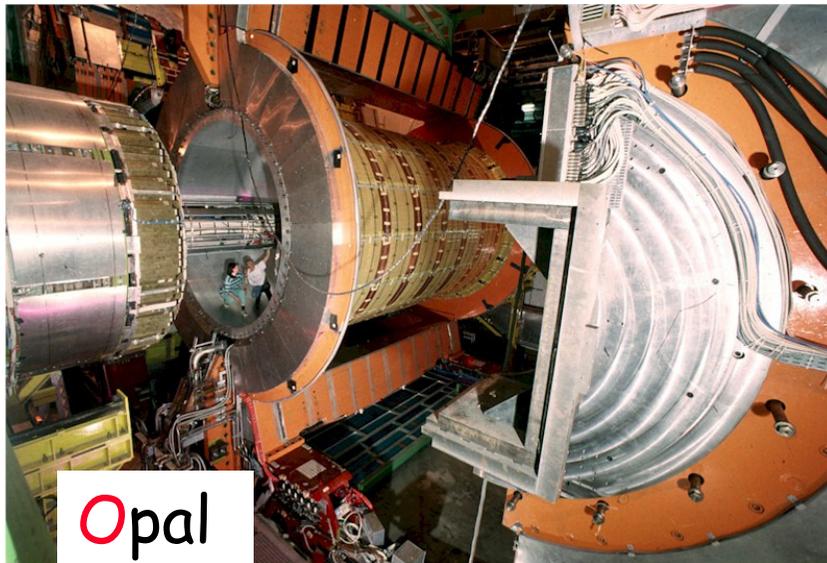
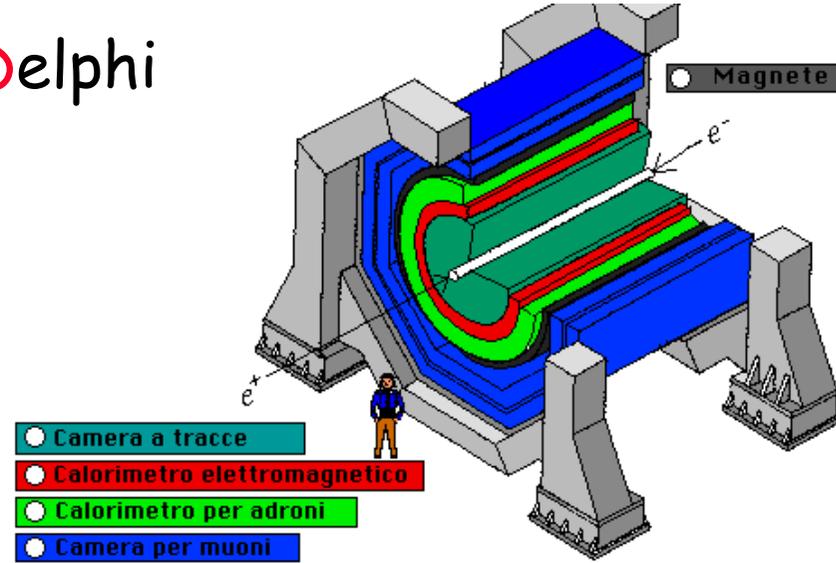
- ⇒ Studio delle proprietà di W e Z
- ⇒ Identificazione del bosone di Higgs
- ⇒ Scoperta della Supersimmetria
- ☞ In alcuni casi scelte tecniche (moderatamente) diverse
- ☞ Con il tempo i rivelatori (e le analisi) si sono sempre di più assomigliate tra di loro
 - ⇒ La scelta equivale a x4 il numero degli eventi raccolti
 - La scelta degli esperimenti di avere analisi "simili" ha portato a delle distorsioni
 - Le analisi furono davvero sempre indipendenti?

ADOL



Aleph

Delphi



Opal



L3

Obiettivi scientifici: successo e non

Il LEP viene disegnato a fine anni '70

- ☞ Scoperta di W e Z segna le due energie alle quali deve funzionare:
 - ⇒ $E_{cm}=91 \text{ GeV}$ (massa dello Z)
 - Studiare in dettaglio la fisica del bosone appena scoperto
 - ⇒ $E_{cm}=2M_W$ (studiare il W)

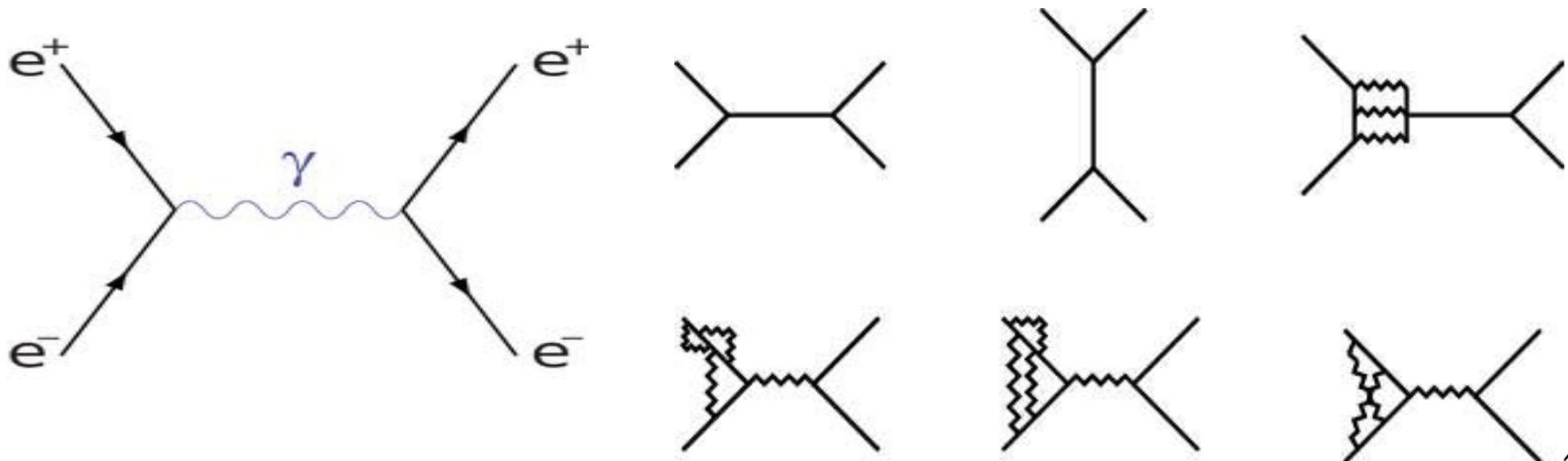
In quegli stessi anni i fisici teorici realizzano che il modello standard ha dei problemi strutturali

- ☞ Non è il modello finale che unifichi tutte le forze
 - ⇒ Nel migliore dei casi ne è l'espressione a "basse energie" e presenta molti problemi formali
- ☞ La soluzione (il "nuovo paradigma") è la supersimmetria
 - ⇒ Ad ogni particella di spin $\frac{1}{2}$ corrisponde una particella a spin 0
 - Poiché dovrebbero avere la stessa massa (ed ovviamente non ne abbiamo vista nessuna), la SUSY è rotta ad una scala ignota e lo spettro di particelle appare a masse ignote
 - Le previsioni era di osservare SUSY a masse raggiungibili a LEP

Ma il successo può essere inaspettato

Quando il LEP comincia a prendere dati

- ☞ 14 luglio 1989 (200 anni dalla presa della bastiglia)
 - ⇒ *Grandeur francese..*
- ☞ Il modello standard è nella sua infanzia dal punto di vista delle conferme sperimentali
 - ⇒ *La teoria è solida e permette di effettuare delle previsioni "oltre il tree level"*



Le correzioni radiative

Questi diagrammi contengono delle "correzioni radiative" (fotoni ed altre particelle virtuali che vengono scambiate

- ☞ Particelle virtuali ma effetti reali
 - ⇒ Ci sono delle quantità misurabili che vengono alterate dall'esistenza (o meno) di questi processi
 - Grande successo della teoria EWK e della sua capacità predittiva
 - Un po' noioso il fatto che non emerga nulla di nuovo!
- ☞ Il livello di precisione raggiunto nei calcoli EWK diventa comparabile a quello della QED!

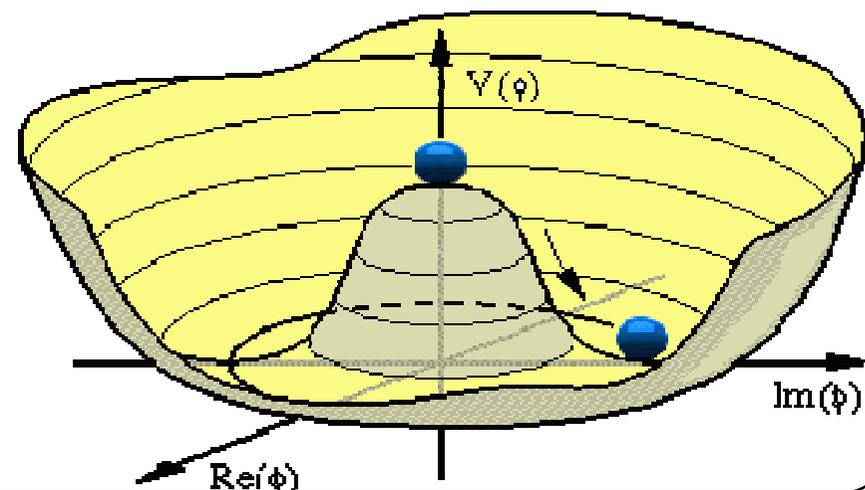
Cresce la fiducia nelle capacità predittive della teoria, anche se SUSY non si osserva...

La caccia all'Higgs

Il bosone di Higgs (o "particella Dio" secondo la definizione di Lederman "God Particle")

- ☞ Non è un ingrediente basilare del modello standard
 - ⇒ Ma è incluso perché è una maniera "economica" di fornire massa ai leptoni, che del modello standard sono i lego
 - ⇒ Non è -necessariamente- la vera strada percorsa dalla natura, ma al momento è quella considerata più probabile(*)

Dove qui "più probabile" non ha un valore matematico



La caccia del bosone di Higgs al LEP

Avviene essenzialmente per due strade

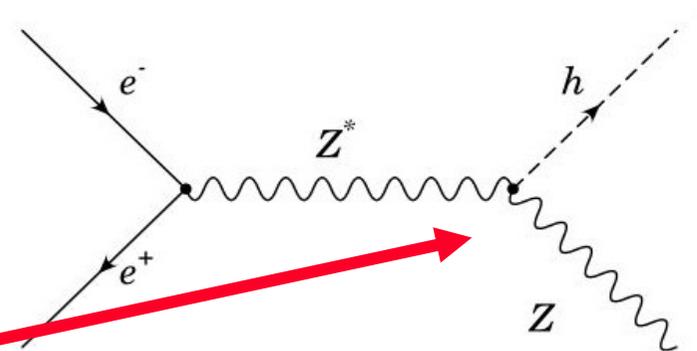
- ☞ Diretta
- ☞ Indiretta

Diretta

- ☞ L'Higgs viene prodotto insieme allo Z

⇒ Stato finale piuttosto semplice

- 2 particelle prodotte nel decadimento dello Z
- 2 particelle prodotte nel decadimento dell'Higgs

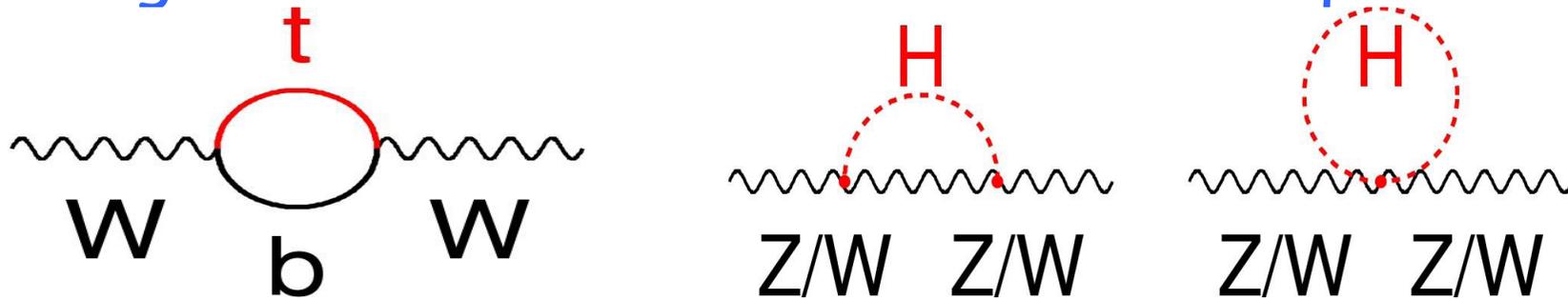


Grazie allo studio di questo processo i 4 esperimenti di LEP mettono un limite inferiore $M_H > 114 \text{ GeV}$

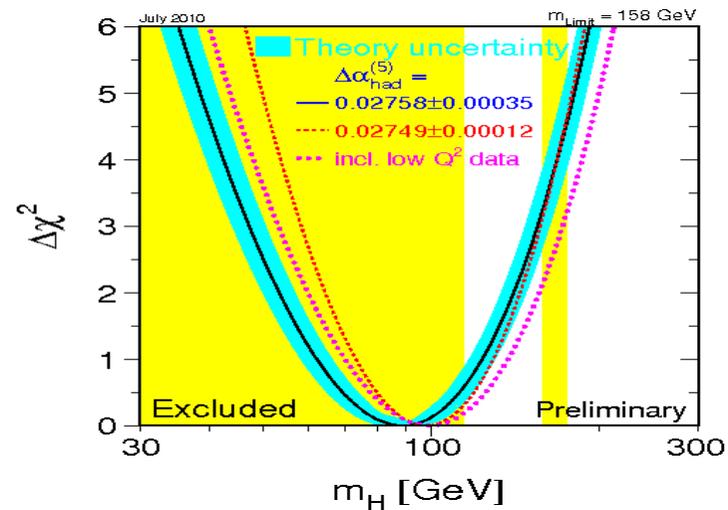
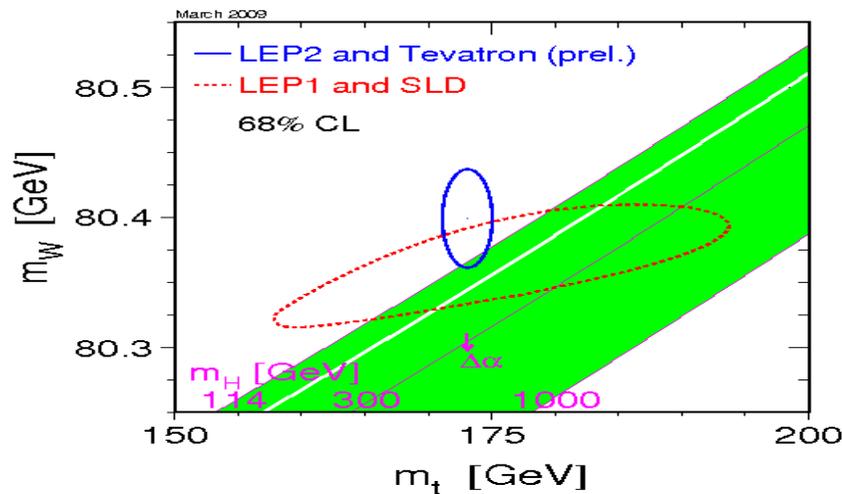
Il LEP viene spento alla fine del 2000 quando alcuni esperimenti vedevano degli eventi "tantalizing"

Le stime indirette

Nel modello standard la massa dell'Higgs è legata alla massa del bosone W e del quark top



Misurando M_W , M_{top} è possibile predire M_H



Il prossimo successo

La chiusura del LEP è stata necessaria per cominciare i lavori di costruzione necessari al Large Hadron Collider

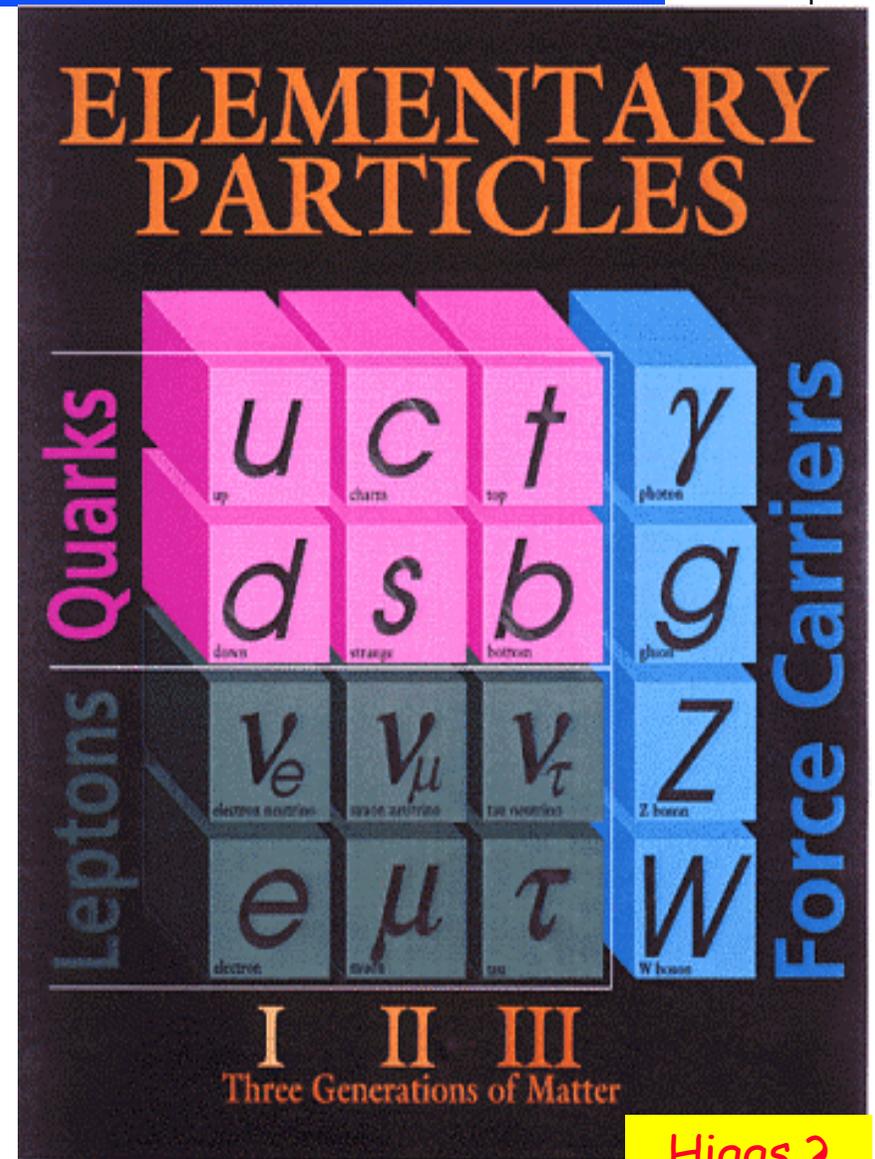
- ☞ Ma LHC è cominciato molto prima!
 - ⇒ Approvazione formale nel 1994
 - ⇒ R&D su magneti e rivelatori in tutti gli anni '90 ed i primi anni '00
- ☞ La costruzione degli enormi rivelatori, richiede un cambiamento di scala e di mentalità
 - ⇒ Definizione accurata delle specifiche
 - Spesso il semplice numero di oggetti da costruire richiede l'intervento dell'industria
 - Impadronirsi dei concetti di Quality Assurance e profonda conoscenza dei processi di fabbricazione

La fisica che si vuole studiare

Il Modello Standard, è valido? E fino a che scale di energia?

La particella di Higgs, esiste? E se si, è quella attesa dal modello standard ?

Capiamo la violazione di CP? O il settore dei quark pesanti (b,c) "risente" dell'esistenza di particelle e/o interazioni a noi sconosciute?



I rivelatori

Semplicemente, non possono essere oggetti "chiavi in mano"

☞ 4 esperimenti principali

⇒ ATLAS, CMS

→ Due rivelatori "4 π " disegnati (e designati) per dare la caccia a tutto: dalla particella di Higgs alla Supersimmetria, a qualsiasi fenomeno imprevisto

⇒ LHCb, destinato a lavorare soprattutto sulla fisica del (b) flavour

⇒ ALICE

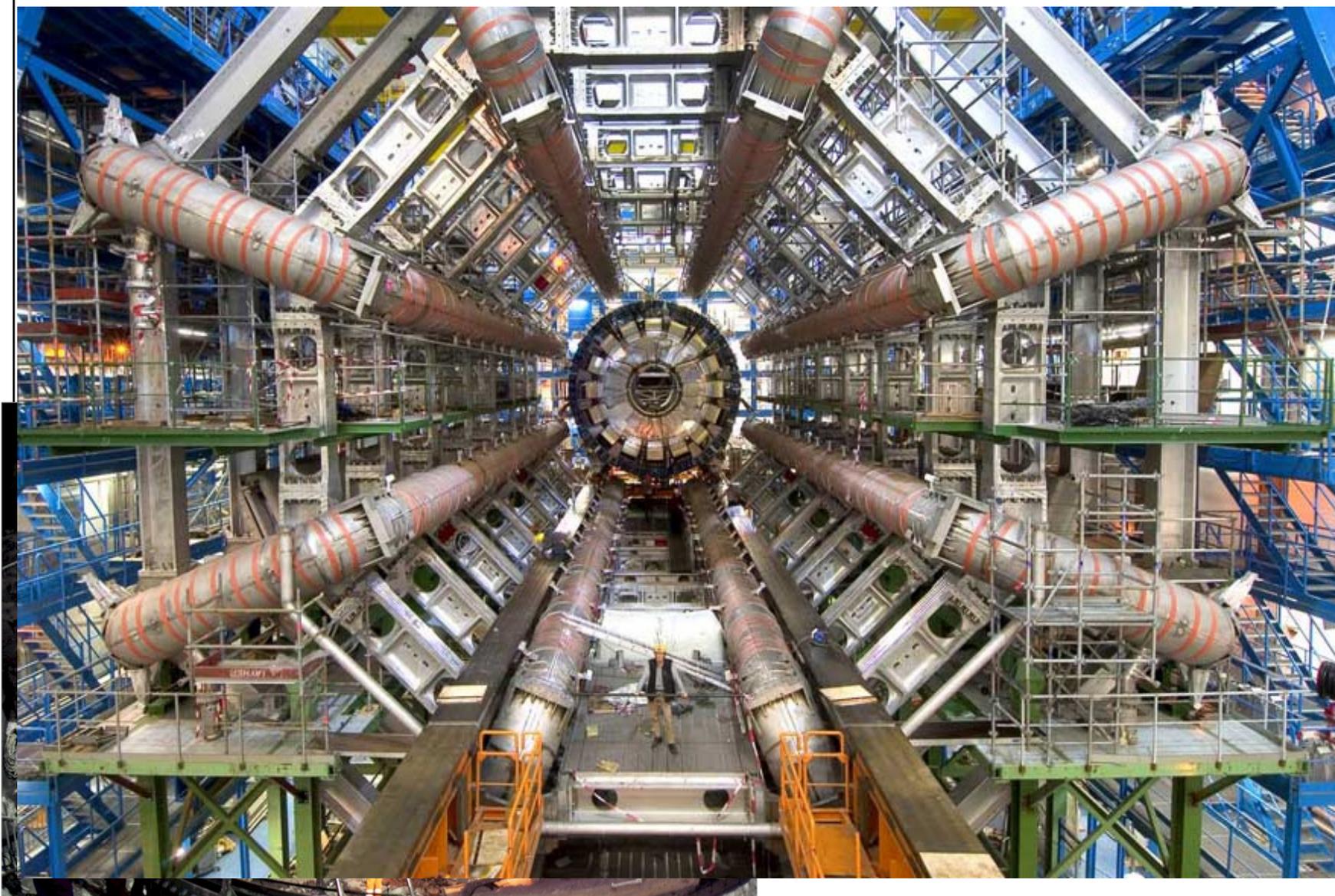
→ Un rivelatore ottimizzato per studiare la fisica degli ioni pesanti (QGP in interazioni Pb-Pb)

☞ 2 esperimenti più piccoli

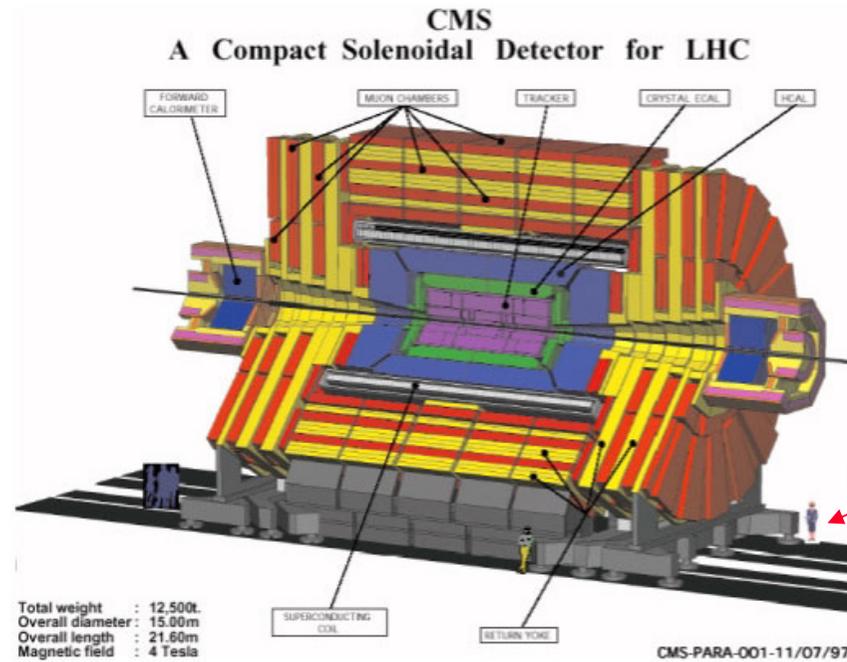
⇒ TOTEM (misura della sezione d'urto pp)

⇒ LHCf: interazioni a grande energia simili a quelle che si svolgono nelle parti alte dell'atmosfera

ATLAS



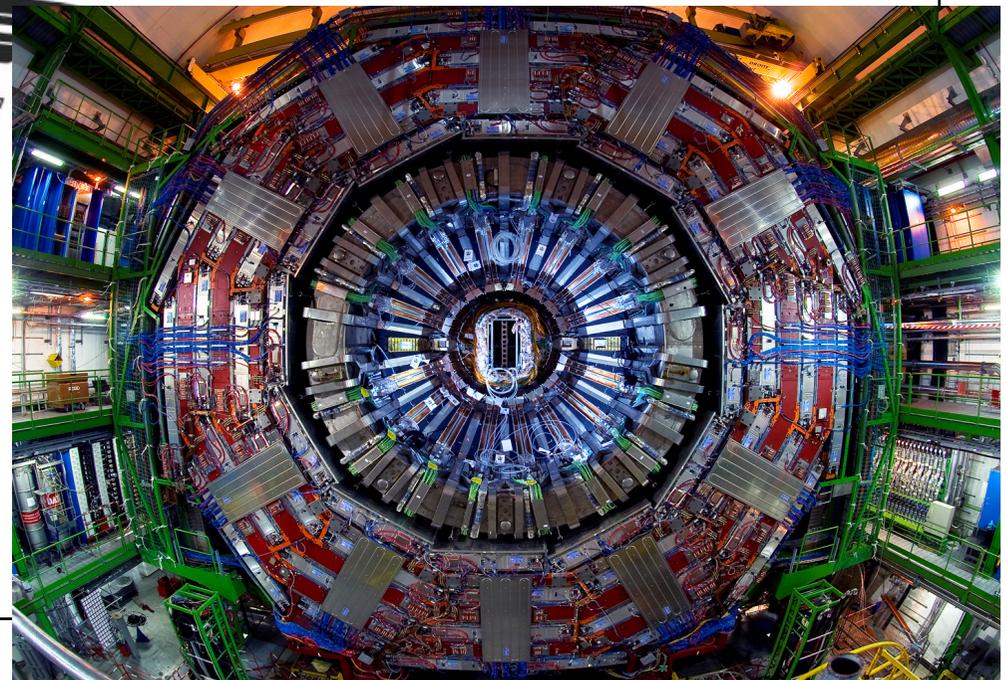
CMS



A sinistra: uno sketch

Scala: una persona

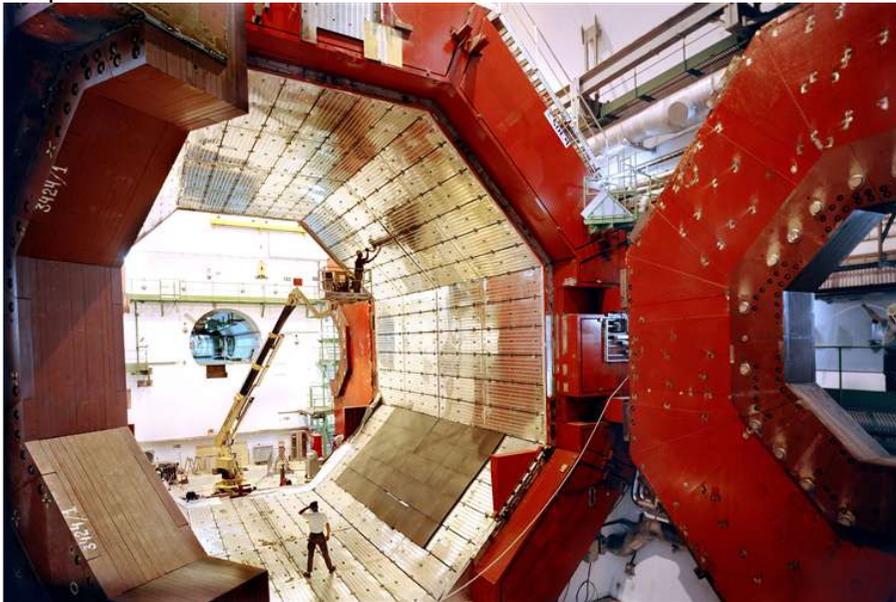
Una foto del 2009



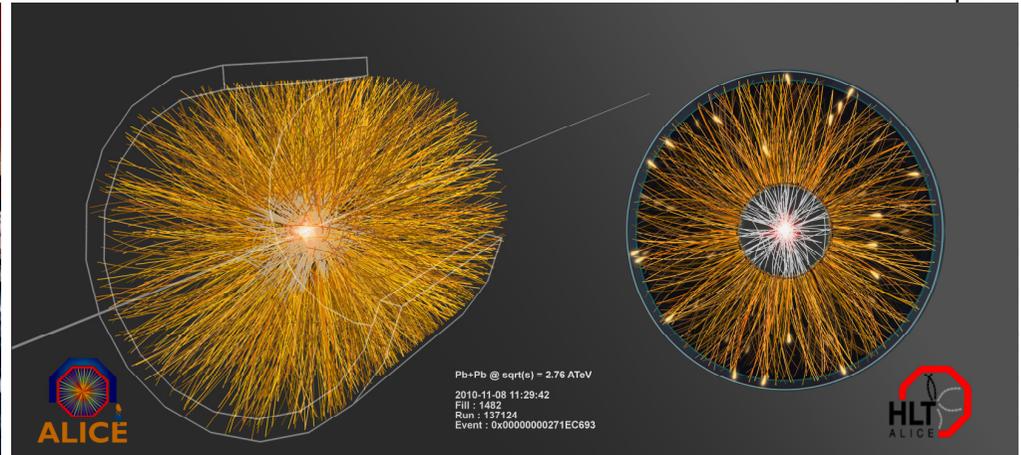
ALICE

In questi giorni collisione Pb-Pb al CERN:

- ☞ Si cerca di chiarire come era fatto il "brodo primordiale" quando la densità di materia ed energia era altissima



A sx immagine durante la costruzione

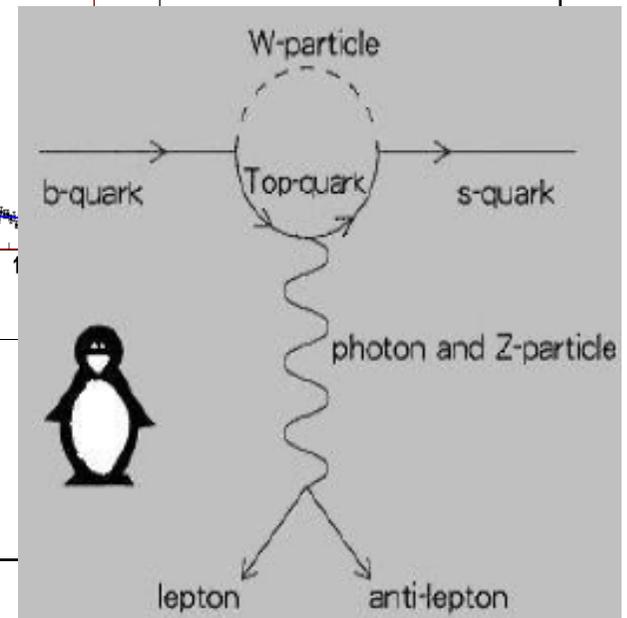
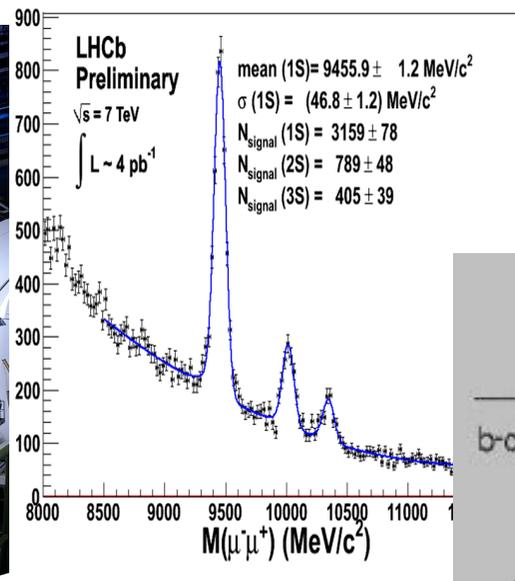


Un evento ricostruito online

LHCb

Il mondo che ci circonda è fatto di materia, come mai?

☞ LHCb è un esperimento che cerca di rispondere a questa domanda studiando le asimmetrie materia-antimateria nel settore del quark b



Successi ed insuccessi

Tutti ricordiamo l'inizio -mediaticamente brillante- del LHC nel settembre 2008

☞ Seguito da un gravissimo incidente che ha fermato per un anno il LHC

⇒ Un insuccesso?

→ Certamente sì!

⇒ Ma..

☞ Il CERN ha saputo premere un bottone di reset

⇒ Sotto la guida del nuovo DG e del nuovo DR

→ Individuato il problema e le soluzioni con l'aiuto di review esterne

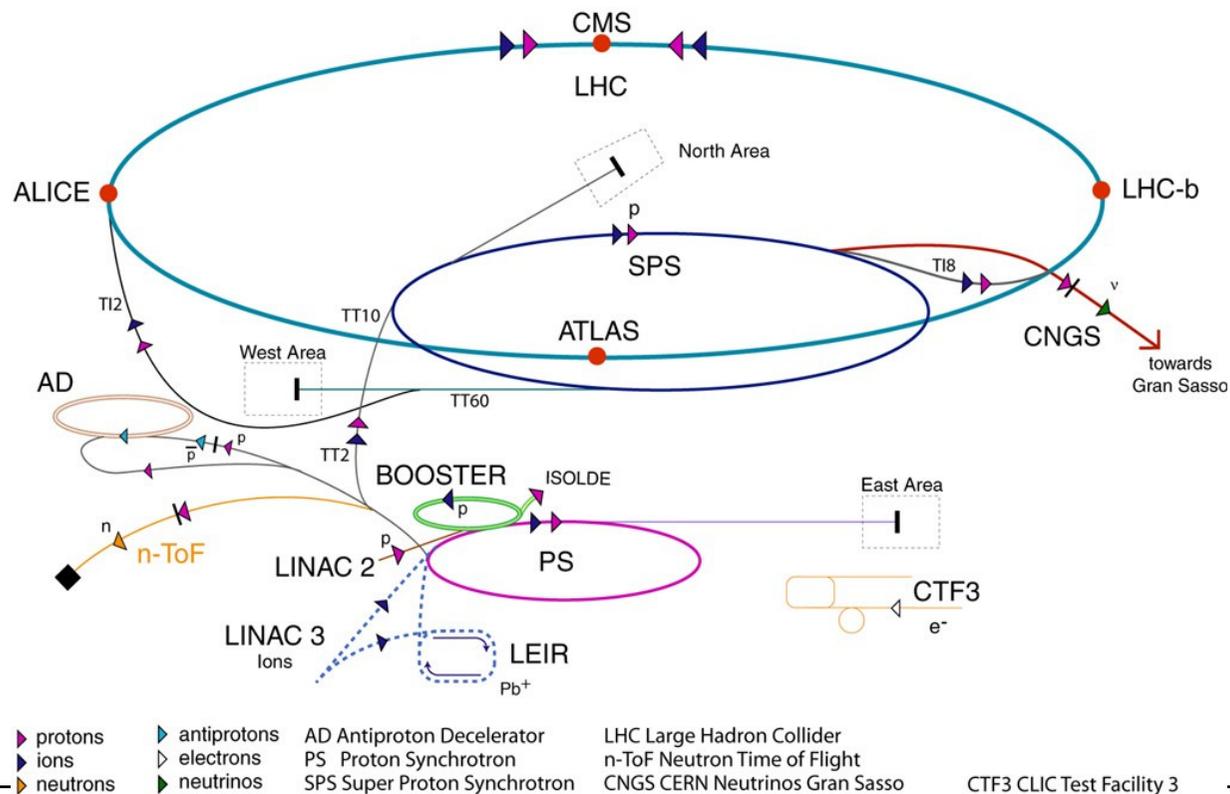
• Una novità (benvenuta)

→ Messo a frutto le grandissime capacità presenti non solo al CERN ma anche in altri laboratori

⇒ Cambiamenti degli obiettivi immediati per garantire agli esperimenti la possibilità di fare delle misure di fisica!

Costruendo sul passato:

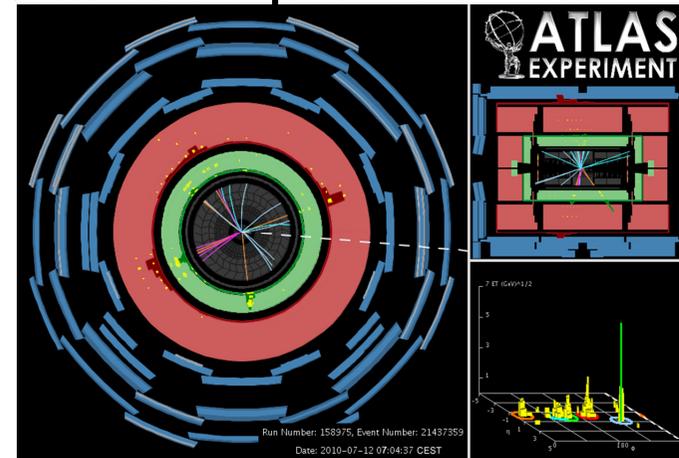
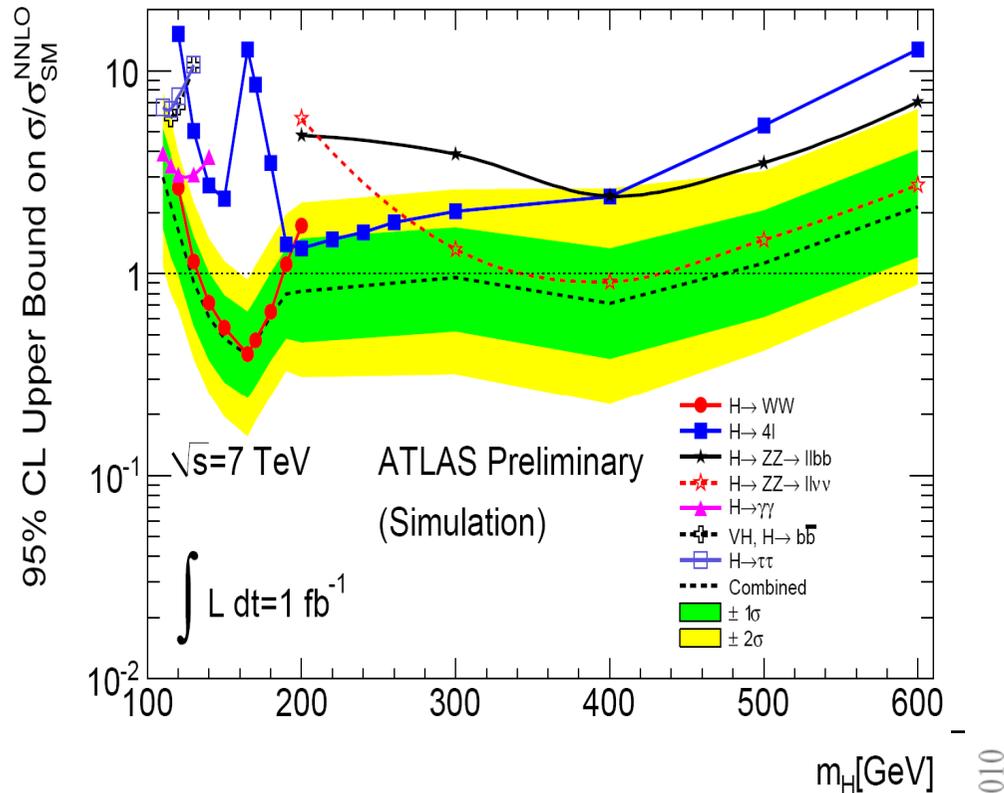
La catena di accelerazione del LHC comincia dal booster
 che inietta nel PS
 che inietta nel SpS
 che inietta in LHC....



Oggi...

Attualmente LHC funziona a 7 TeV nel c.m. invece che ai 14 TeV di disegno

➔ Riduzione della sezione d'urto di produzione di molti processi, tra cui quelli di interesse per la ricerca del bosone di Higgs



EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH (CERN)



CMS-TOP-10-001



CERN-PH-EP/2010-039
2010/10/29

First Measurement of the Cross Section for Top-Quark Pair Production in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV

The CMS Collaboration*

Alcune sfide per il CERN

Da un punto di vista della fisica

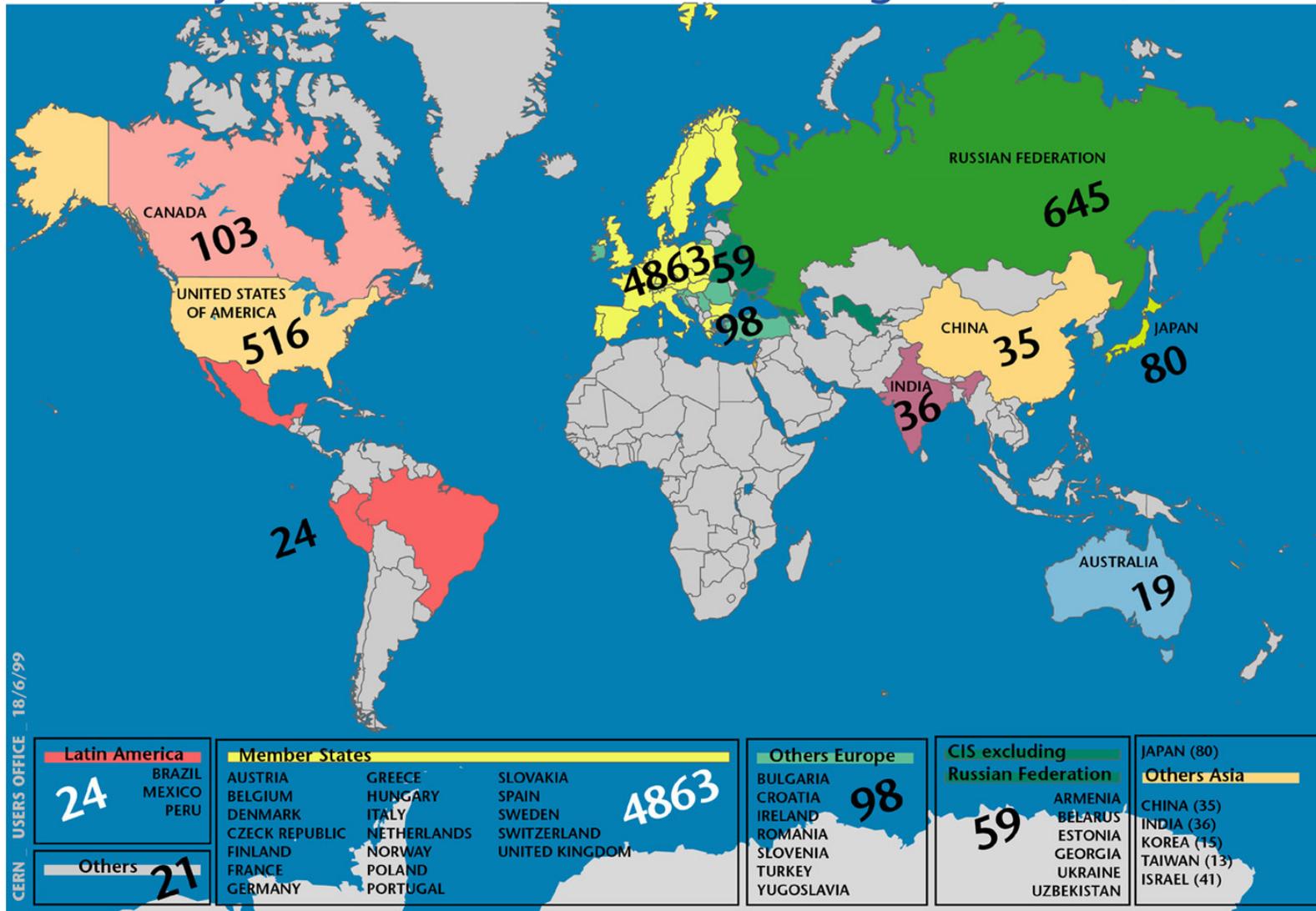
- ☞ Il programma di LHC è appena iniziato
- ☞ C'è un piano per raggiungere, nel 2015, l'energia e l'intensità dei fasci prevista nel progetto

L'organizzazione deve affrontare un periodo particolare per la fisica delle A.E.

- ☞ Maggiore laboratorio al mondo
 - ⇒ Molti paesi vogliono entrare a far parte del CERN come Stati membri...
- ☞ C'è bisogno di mettere in cantiere il prossimo acceleratore
 - ⇒ Un altro collider e^+e^- , ma a che energie, come e dove?

Gli utenti

Nationality Distribution of CERN Users registered on 1/1/1999



Altre ricerche da portare avanti

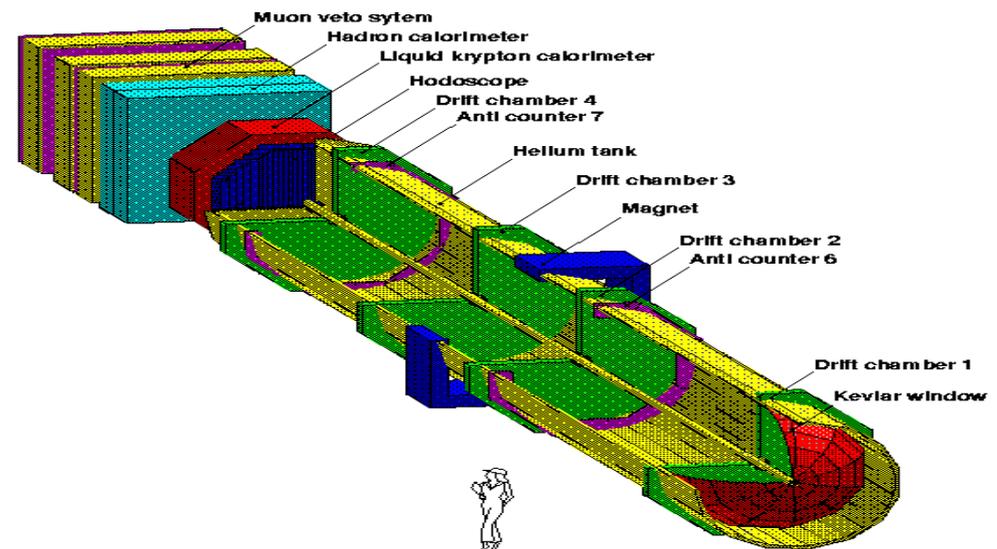
Recente "fabbricazione" di anti-idrogeno

- ☞ Una eredità del programma p-pbar anche se a bassa energia!

Un programma di ricerca (NA62) al SpS dedicato allo studio di rari decadimenti del K

- ☞ Anche qui si costruisce sulle eredità di NA31/48

Misura di precisione dell'asimmetria materia-antimateria nel settore del K (1993 al SpS)



Ma ci saranno dei nuovi successi?

L'invenzione del World Wide Web al CERN nel 1990 da parte di Tim Berners-Lee

☞ Considerata un'idea "vaga ma interessante"

⇒ Completamente inattesa ed ha cambiato il mondo!

Lo sviluppo dei rivelatori (camere a fili) da parte di Charpak ha cambiato il modo di rivelare particelle

Il Nobel per la scoperta di W/Z è stato un "cogliere l'attimo fuggente" da parte di una dirigenza attenta

Molte idee vengono sviluppate, all'interno (ed intorno) alle attività del CERN

Conclusioni?

Non ci sono conclusioni (per fortuna) in vista per l'avventura scientifica del CERN

- ☞ È una storia destinata a continuare
- ☞ Vitalità di un laboratorio si mostra al grande pubblico il giorno in cui i "risultati" vengono resi noti
 - ⇒ Accensione di un acceleratore
 - ⇒ Scoperte di fisica
- ☞ In realtà abbiamo visto ogni progetto nasce molto prima

Oggi le enormi risorse (anche umane) necessarie nella fisica degli acceleratori è importante avere i primi risultati da LHC in regioni inesplorate per sapere come muoversi!