

Luciano Maiani:

Lezione Fermi 22

Carlo Rubbia scopre i bosoni intermedi:
"Europa 3, USA neanche Z⁰"

1. Una nuova generazione di macchine, al CERN e negli USA
2. Macchine a protoni
3. Il collisore SppbarS
4. La scoperta dei jet di adroni
5. 1983: UA1 e UA2 osservano W^\pm e Z^0 al p-pbar collider
6. Cosa abbiamo imparato da SppbarS

1. Una nuova generazione di macchine, al CERN e negli USA

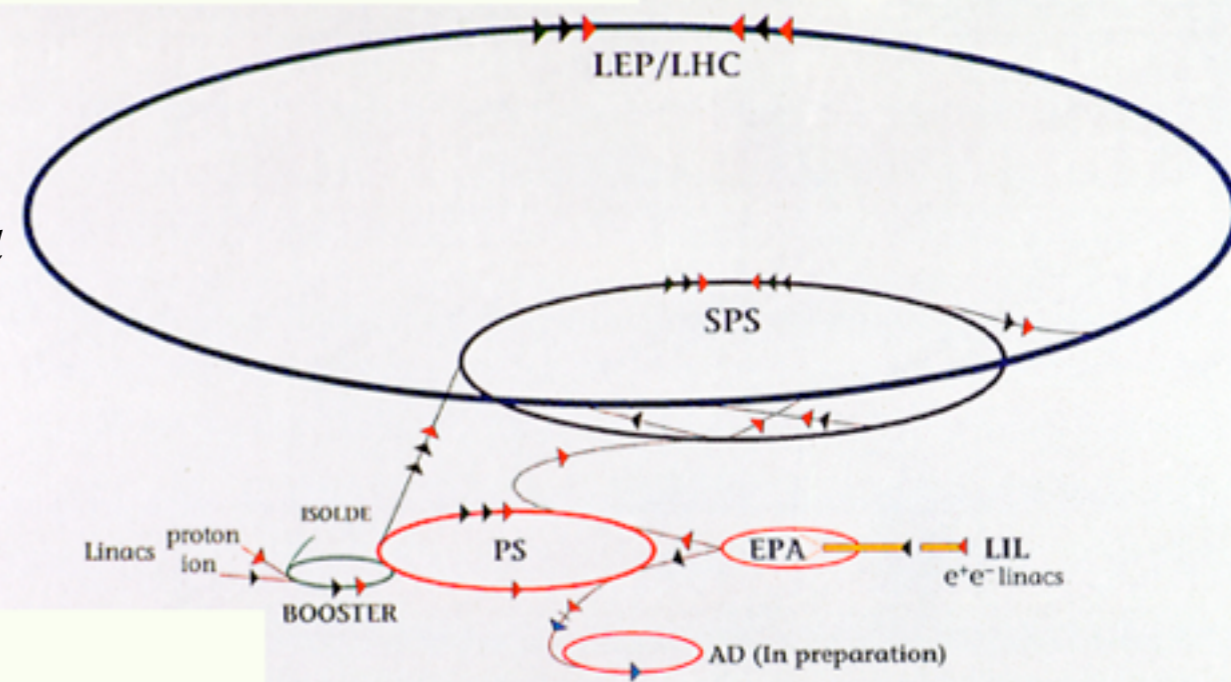
CERN, inizio anni '70. (*Caccia al Bosone di Higgs*, L. Maiani, R. Bassoli, Mondadori)

Era finito lo slancio derivato dalla costruzione della prima macchina, il Proto-Sincrotrone. Era stato anche approvato lo ISR (Intersecting Storage Rings, con il suo raffreddamento stocastico e il record di luminosità battuto solo 30 anni dopo) che stava iniziando a funzionare. A quel punto si poneva il problema di una macchina più grande, il gran salto verso gli acceleratori giganti, a elettroni o protoni.

Ma era evidente un problema: il terreno a disposizione del CERN, nel sito di Meyrin, non sarebbe stato in grado di ospitare una grande macchina.

Ed ecco che le spinte centrifughe si ripresentarono. I fisici di diversi paesi pensarono: bene, finora abbiamo concentrato le macchine di avanguardia a Ginevra, ora puntiamo ad avere noi la grande macchina. Europea sí, ma a casa nostra. Pochi si sottraevano a questa tentazione.

Gli acceleratori del CERN



La catena dei protoni:

PS: Proton-Synchrotron → SPS: Super Proton Synchrotron
→ LHC: Large Hadron Collider

Macchine Underground

... Il gruppo di Pisa era il piú agguerrito e si guardava attorno per trovare un sito dove mettere la nuova macchina. Due luoghi sembravano i piú adatti: nella pianura del Carso, vicino a Trieste, o nel tavoliere delle Puglie.

Nella difficile discussione riguardo al Paese su cui far convergere gli sforzi europei, il Direttore del CERN, Sir John Bertram Adams, caló sul tavolo la carta decisiva: la pianura, o meglio il sottosuolo della pianura, di Gex.

La pianura di Gex é basata su un grande blocco di 'molasse', una roccia sedimentaria derivata dalla rottura e dalla risedimentazione di rocce piú antiche. La molasse é relativamente facile da scavare ma é stabile. Dunque, un ospite ideale per un grande tunnel sotterraneo.

La costruzione Super Proton Synchrotron (SPS), con energia del fascio pari a 300 GeV, fu approvata nel 1972. Pochi mesi dopo inizio' lo scavo del tunnel, per terminare nel 1974



Super Proton Synchrotron tunnel completed
31 July 1974



Il laboratorio Fermi negli USA

- 1968. Nasce il National Accelerator Lab, successivamente battezzato Enrico Fermi Lab
- Missione del NAL era di realizzare un'acceleratore di protoni di 200 GeV, da estendere successivamente a 500 GeV. Il primo traguardo fu raggiunto a tempo di record, nel 1972.
- In programma un fascio di neutrini di alta energia: correnti neutre e struttura dei nucleoni
- la sezione d'urto inelastica dei neutrini cresce proporzionalmente a E_ν , come una sezione d'urto puntiforme: partoni carichi =quark!
- 1976. La macchina di FermiLab raggiunge 500 GeV
- USA guidano la corsa, il CERN insegue...

2. Machine a protoni

Liouville's theorem states that the phase space density of a particle beam cannot be changed under the action of conservative forces if the beam is considered to be a continuous medium.

Electron beams are naturally cooled by the emission of synchrotron radiation.

In the 1960's, Budker proposed the cooling of protons by their interaction with a cold electron beam (non-conservative) Coulomb collisions.

In 1972 (from work done in 1968), Van der Meer discovered the principle of stochastic cooling, which makes use of the fact that the beam is not a continuous medium.



Joseph Liouville (1809 – 1882)

Lyn Evans

La differenza, tra i fasci di elettroni e quelli di protoni nelle macchine circolari, è un pó come la differenza tra un mondo con inflazione e un mondo senza.

Quando c'è inflazione, se fate degli sbagli finanziari, ad esempio si alzano troppo i salari o si mandano troppo presto le persone in pensione, la svalutazione della moneta attenua, automaticamente e in tempi brevi, gli effetti negativi. L'economia si riassetta da se. Al contrario, nel mondo senza inflazione, l'effetto di un aumento ingiustificato dei costi permane nel tempo e richiede correzioni difficili e penose.

Macchine a protoni



The Intersecting Storage Rings (1971-1984)



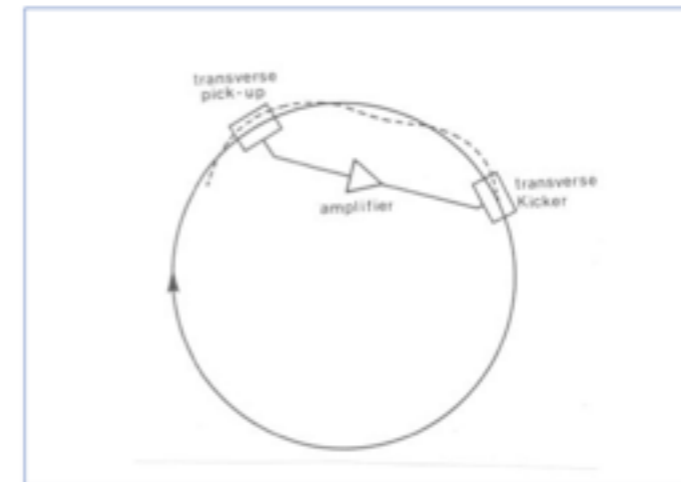
- **First hadron storage rings**
- **First observation of Schottky noise**
- **First demonstration of stochastic cooling**

1977. Rubbia e Van der Meer lanciano il “raffreddamento stocastico” degli antiprotoni

1977 Initial Cooling Experiment (ICE)

Stochastic Betatron Cooling

- In 1977 the (g-2) ring at CERN was converted into a machine on which stochastic cooling could be tested in detail.
- In parallel, the theory of stochastic cooling was developed by Sacherer, Hereward, Van de Meer and Mohl.
- In May 1978 ICE achieved cooling for the first time in all 3 dimensions
- In June the ppbar project was submitted to CERN Council for approval.



$$\bar{x} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{N_s}} \frac{1}{\tau} = \frac{W}{2N}$$

No mixing from pickup to kicker

Good mixing from kicker to pickup

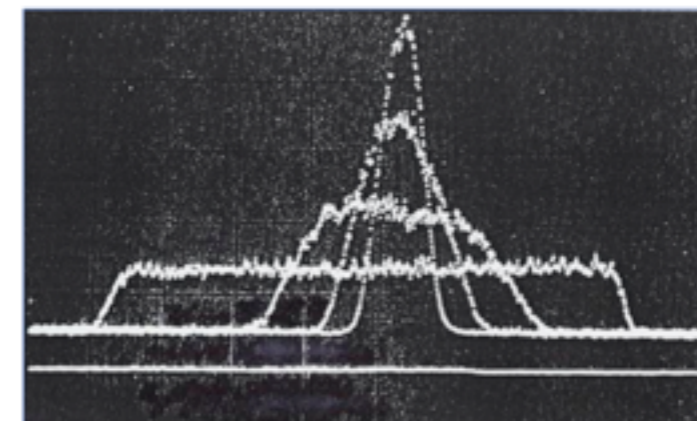
Lyn Evans

13

Lyn Evans

Momentum Cooling in ICE

12



Schottky scan after 1, 2 and 4 min.

Signal height proportional to the square root of density and

from: The Large Hadron Collider, by Lyn Evans

Lyn Evans: *The Large Hadron Collider*

.... In the SPS, beam conditions were even more difficult than in the ISR. The beams were bunched, with stringent conditions on the level of RF noise required for a good beam lifetime.

...In fact, our colleagues at SLAC tried to cheer us up by performing an experiment at SPEAR where they reduced the energy and therefore the amount of synchrotron radiation damping and measured the maximum achievable tune shift.

Their conclusion was that when they extrapolated to zero damping, the ppbar collider could never work!

But the collider did work.

- L'approvazione del SppbarS collider fu una decisione molto coraggiosa, anche a fronte dello scetticismo USA;
- sul piano della fisica, molti pensavano: p-p, si vedrà qualcosa di decifrabile ?
- forte partecipazione italiana;
- - G. Salvini guida con entusiasmo il gruppo romano in UA1.

3. Sp̄p collider

C. Rubbia, Nobel Lecture

247

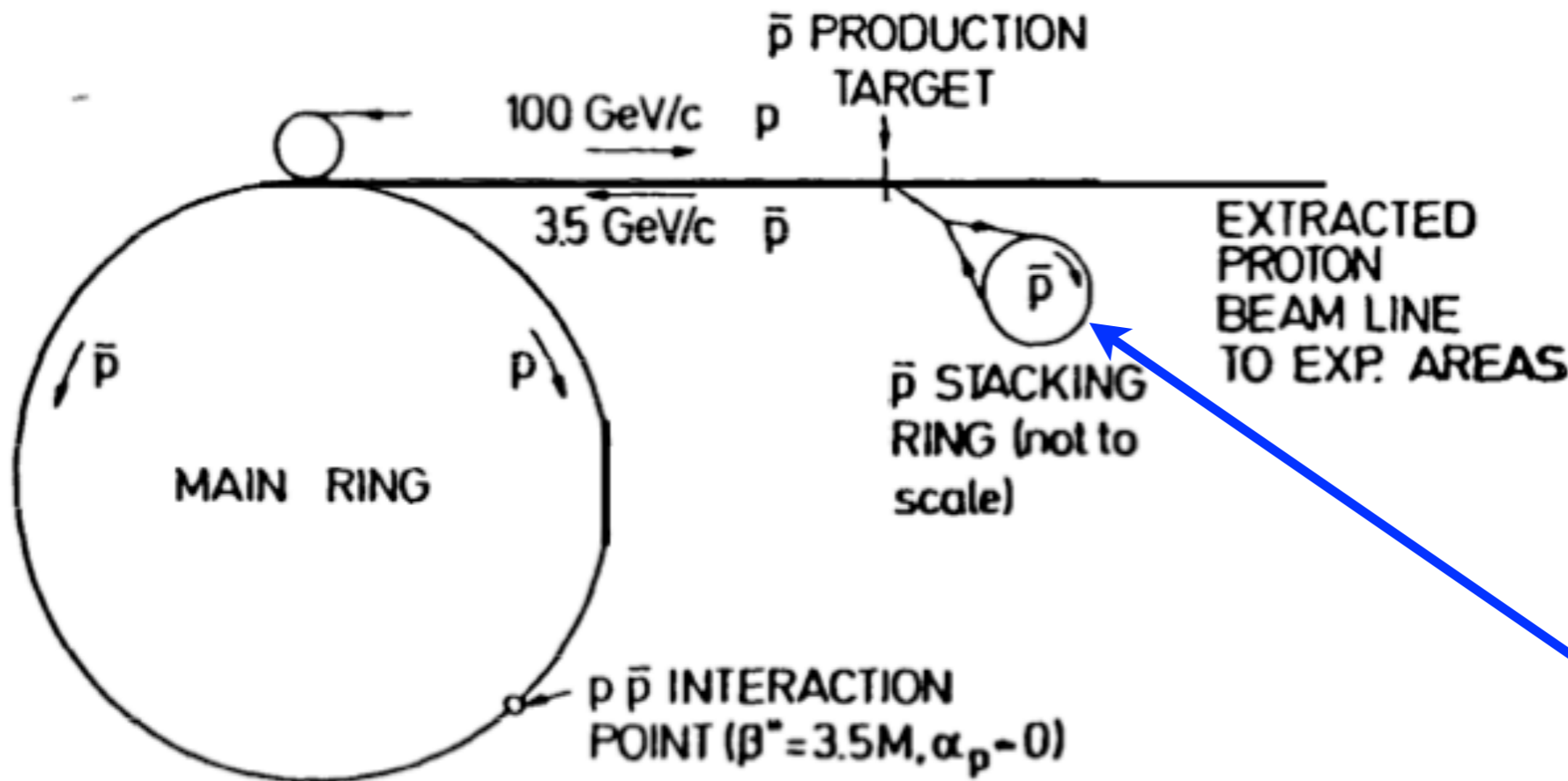
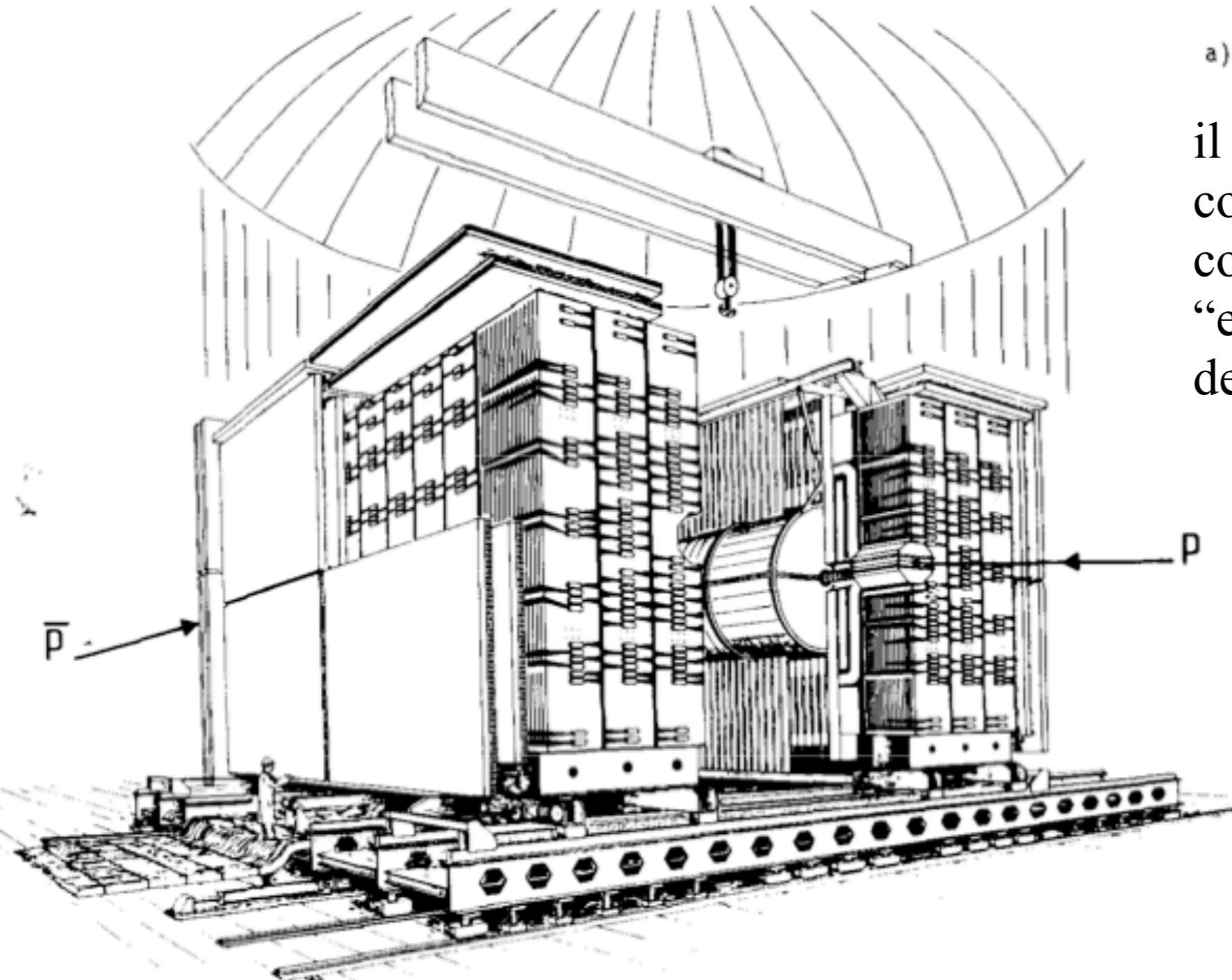


Fig. 5. General layout of the $p\bar{p}$ colliding scheme, from Ref. [9]. Protons (100 GeV/c) are periodically extracted in short bursts and produce 3.5 GeV/c antiprotons, which are accumulated and cooled in the small stacking ring. Then \bar{p} 's are reinjected in an RF bucket of the main ring and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

Il rivelatore UA1



a)

il piu' grande rivelatore costruito fino a quel tempo completamente "ermetico" (copertura completa dell'angolo delle collisioni)

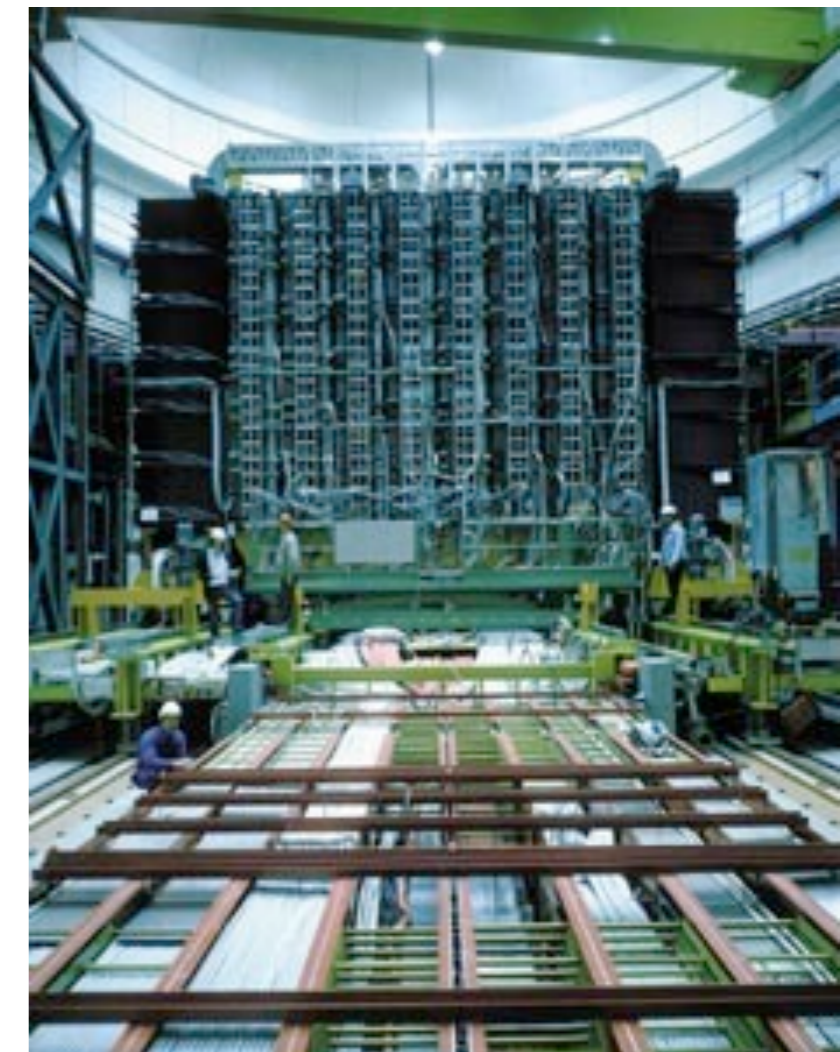
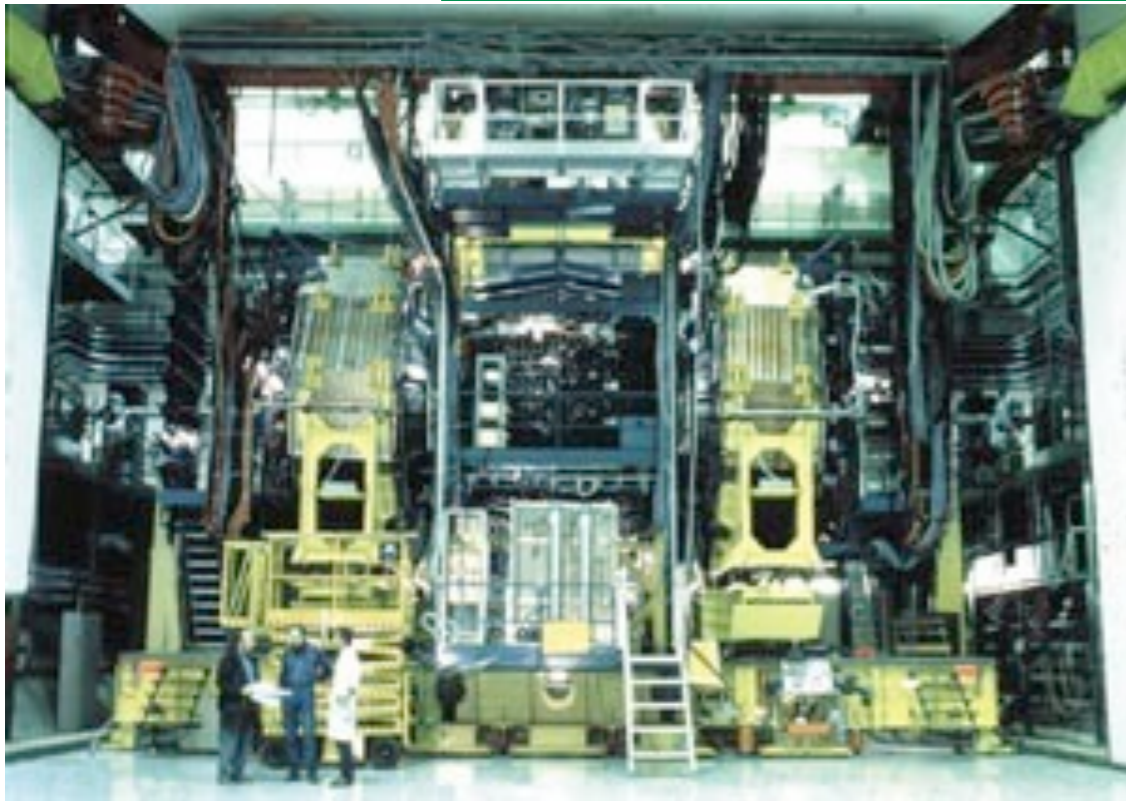


Fig. 8a. The UA1 detector solid-angle is fully covered down to 0.2° .

Il secondo rivelatore: UA2

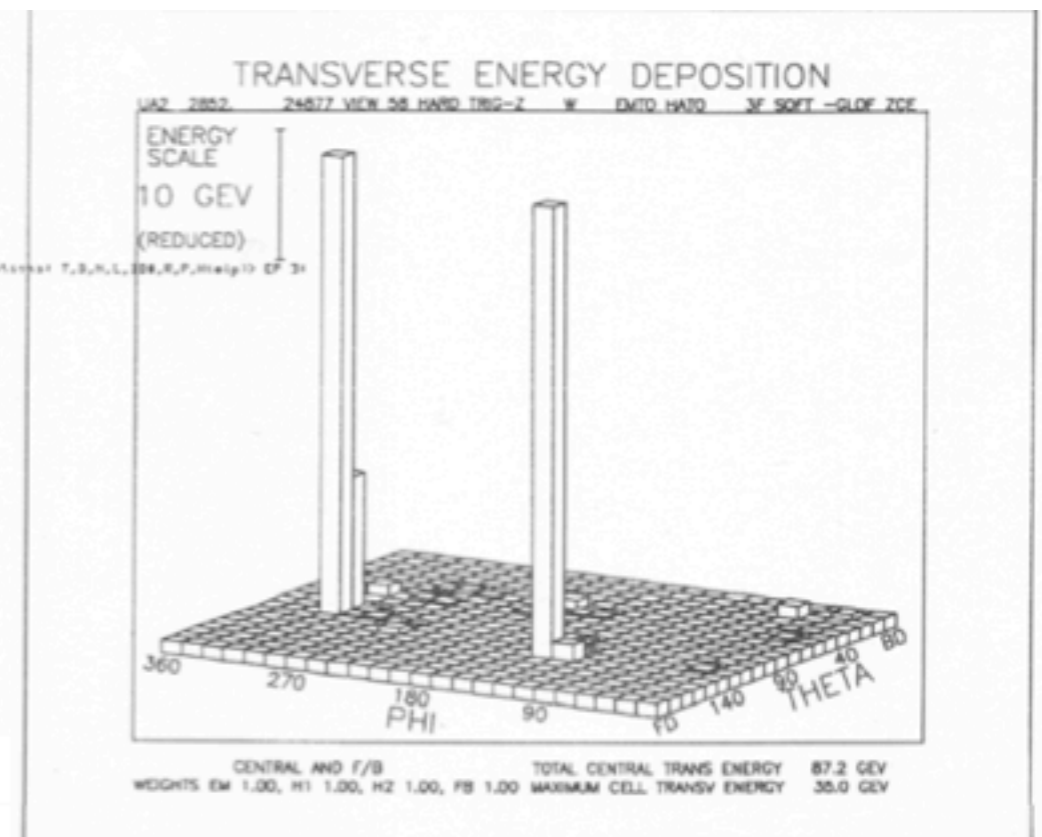


finalizzato alla rivelazione di $Z^0 \rightarrow e^+ e^-$

1983 The early 1980s were crucial:

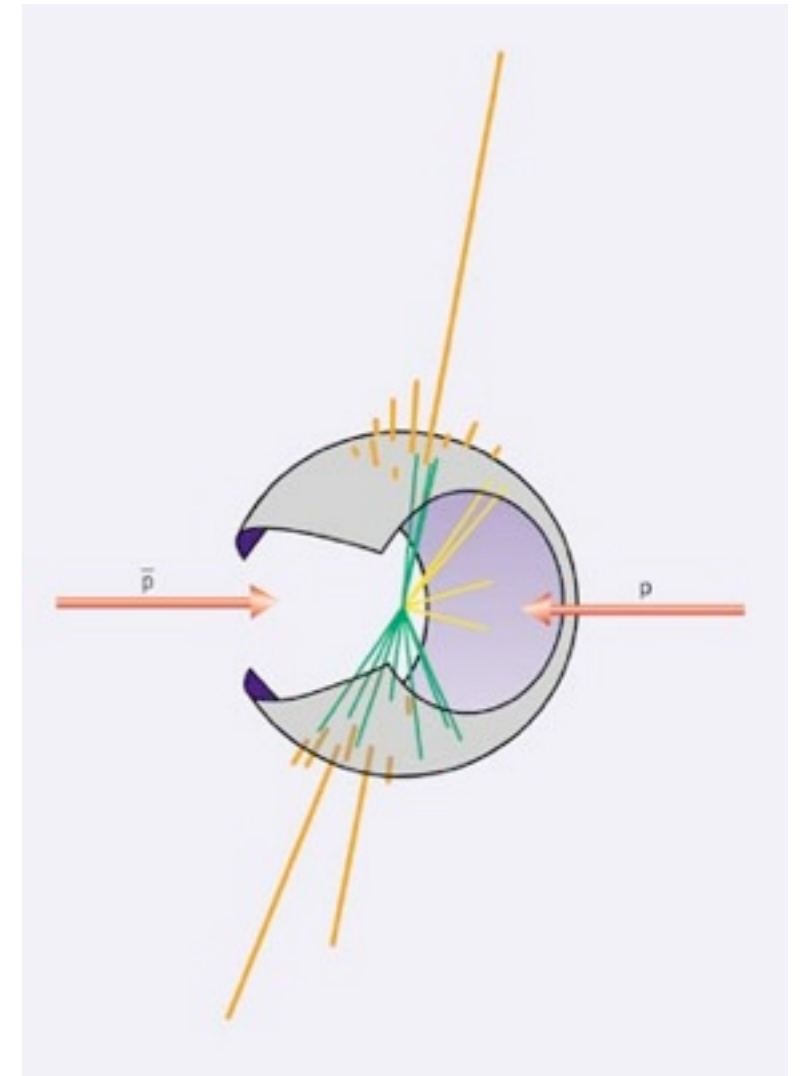
The real belief that a 'dirty' hadron collider can actually do great discovery physics came from UA1 and UA2 with their W and Z boson discoveries at CERN

A very early $Z \rightarrow ee$ online display from one of the detectors (UA2)



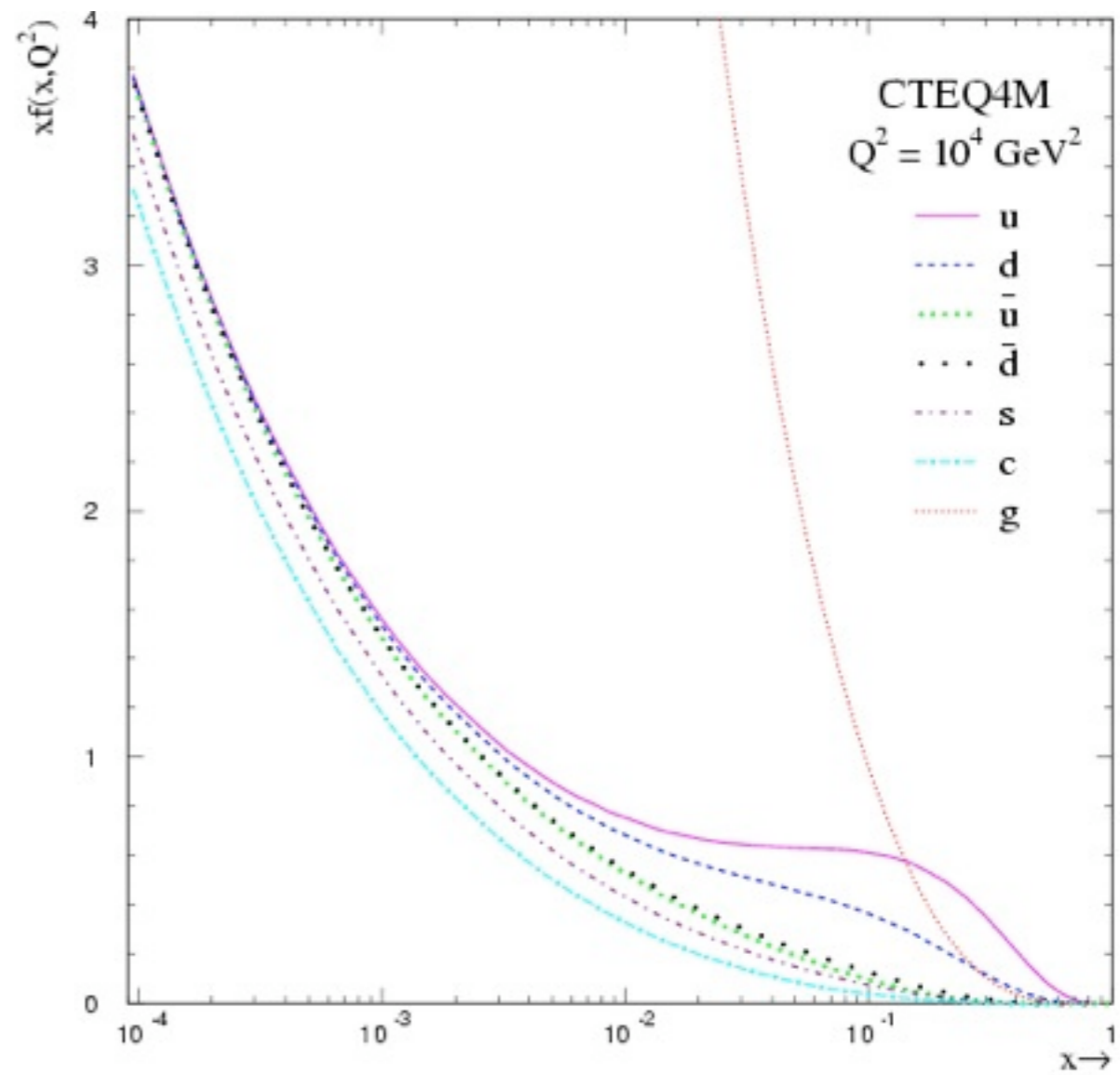
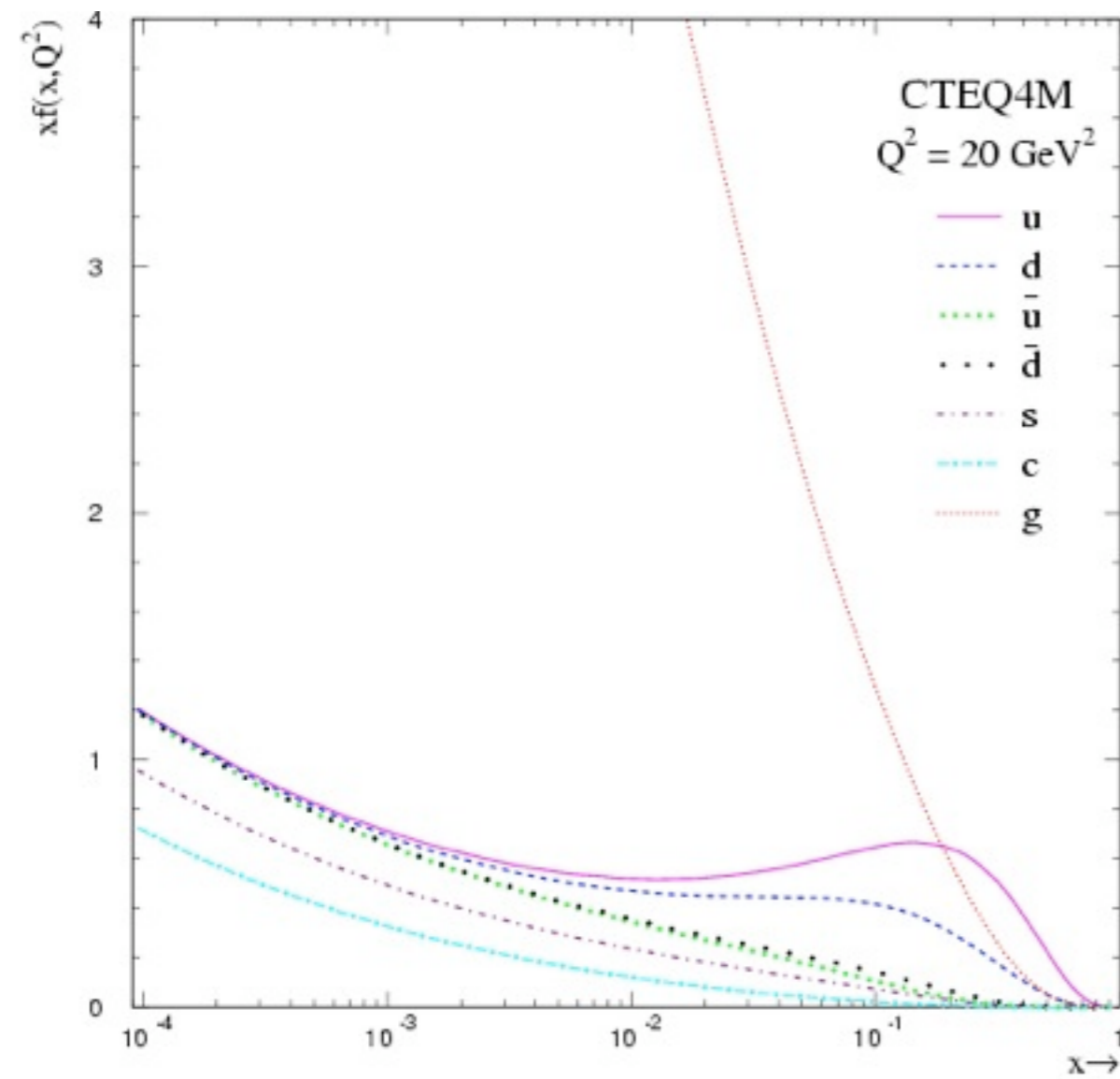
4. La scoperta dei jet di adroni

- Uno dei primi risultati di UA1 e UA2 e' stata l'osservazione dei jet adronici: nella maggior parte dei casi, dalla collisione protone-antiprotone originano due "getti" (jets) di particelle adroniche spalla a spalla (back to back), come se la reazione fosse l'urto elastico di due particelle puntiformi
- sono i "partoni" di Feynman, previsti dalla QCD e dalla liberta' asintotica: il protone e l'antiprotone possono essere visti come due nuvole di partoni (quark, antiquark, gluoni) e i jet nascono dalla collisione frontale di due partoni.
- e' un fenomeno mai visto prima con certezza (intravisto a ISR), negli urti ad energie inferiori
- la prova che "ci sono" i quark e i gluoni
- possiamo descrivere anche l'urto p-pbar con leggi semplici, se conosciamo la distribuzione dei partoni all'interno del protone (ad es. dalla diffusione inelastica di fotoni e di neutrini): tutto si tiene!



Physics at High Energy

Parton composition of High Energy protons



una frase che ho capito solo 15 anni dopo....

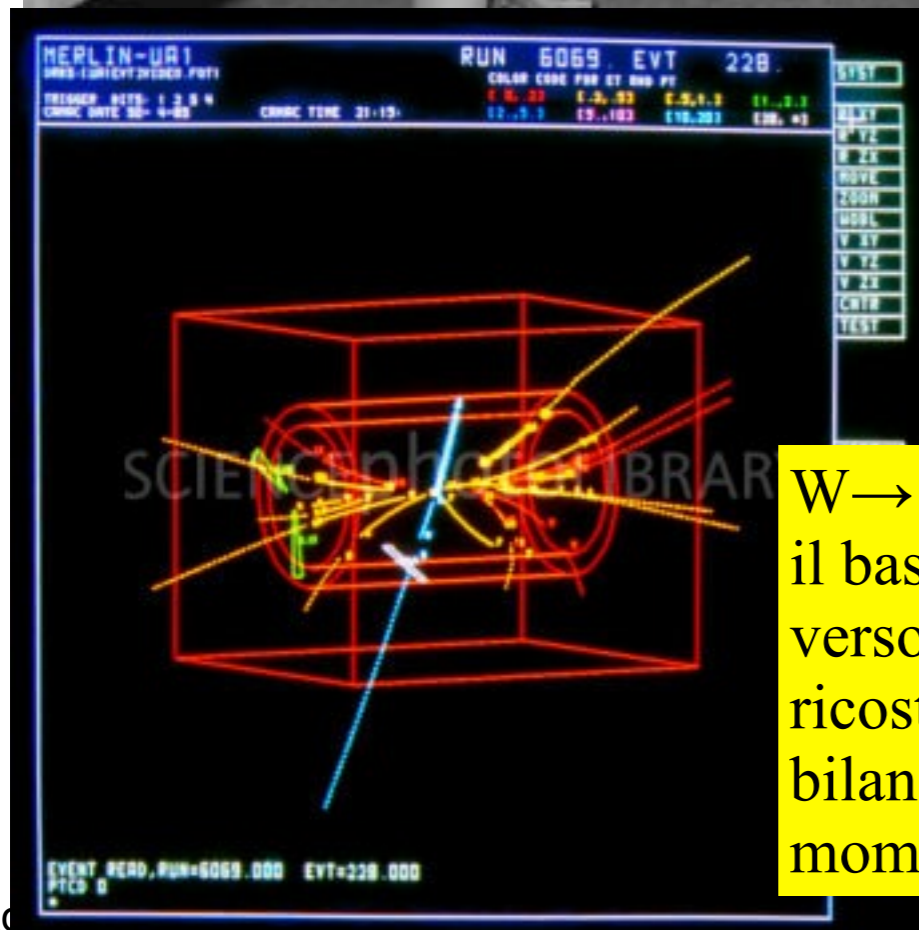
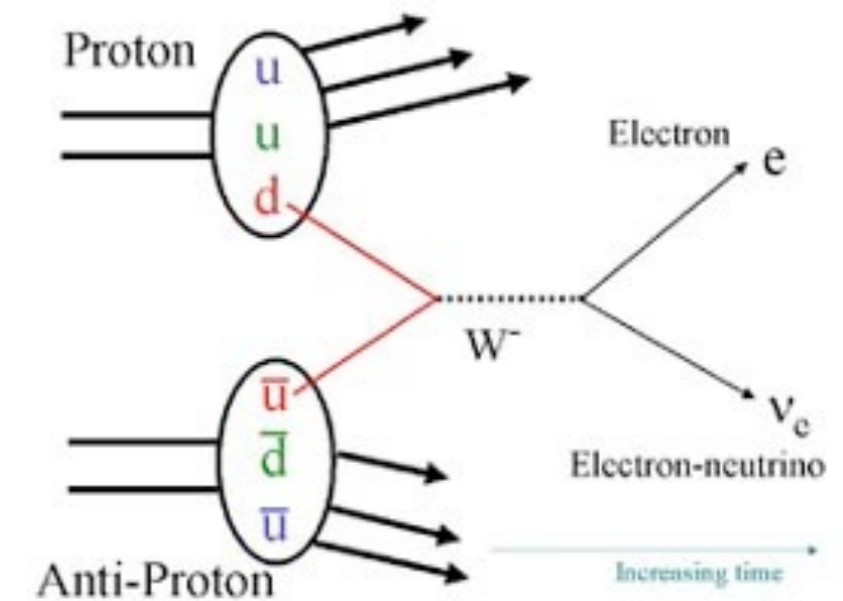
- nel 1966, con Giuliano Preparata, andammo a fare un seminario al Max Planck di Monaco
- nell'uditorio, in prima fila, Werner Heisenberg...
- dopo il seminario, Heisenberg fu tanto gentile da fare due chiacchiere con due giovani sfacciati competentemente sconosciuti
- gli chiesi “ pensa che i quark sono reali?”
- mi disse che era scettico perche' se il protone fosse fatto di quark, nei raggi cosmici “si sarebbero viste diffusioni a grande angolo, che invece non ci sono”...
- non capii, e mi tenni la frase cosi' com'era...
- ho capito solo dopo UA1/UA2: ad energie veramente grandi (fuori dagli effetti di bassa energia) le diffusioni a grande angolo ci sono! e sono proprio la prova dei quark...come pensava Heisenberg...solo che raggi cosmici dell'energia corrispondente al collider sono cosi' rari da non essere significativi
- tutto si tiene!

5. 1983: UA1 e UA2 osservano W^\pm e Z^0 al p-pbar collider

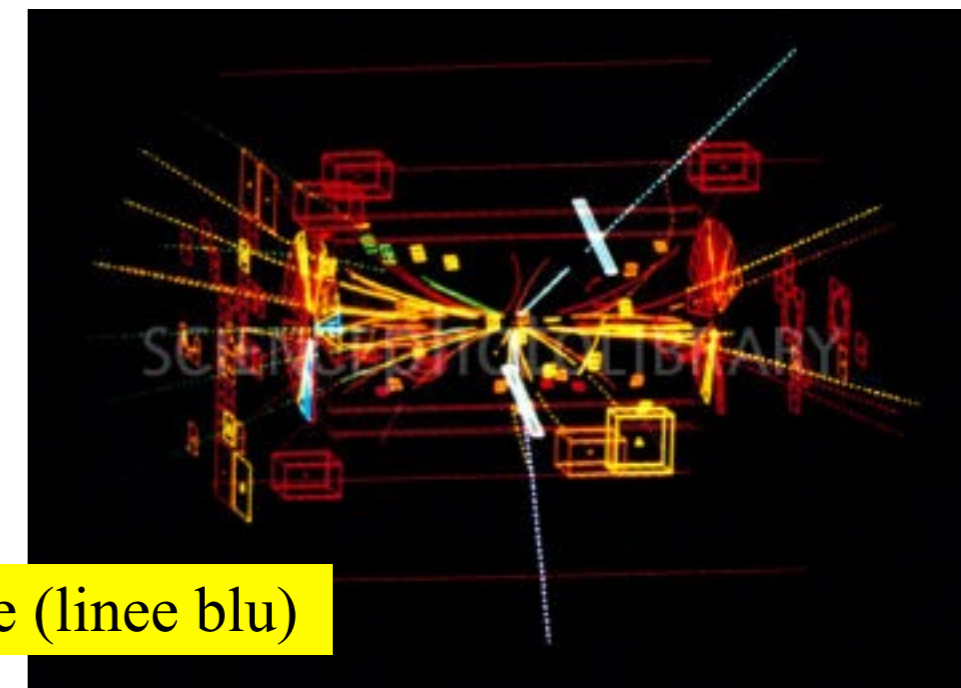
Il New York Times titola: Europe 3, US not even Z^0



Conferenza stampa al CERN per l'annuncio della scoperta. Da sinistra: C. Rubbia, S. Van der Meer, E. Schopper



$W \rightarrow e$ (blu verso il basso) + ν (blu verso l'alto, ricostruito dal bilancio dei momenti)



$Z \rightarrow e e$ (linee blu)

1983. UA1 e UA2 osservano W^\pm e Z^0 al p-pbar collider del CERN

Il New York Times titola: Europe 3, US not even Z^0

C. Rubbia

281

C. Rubbia

283

Carlo Rubbia. Nobel Lecture, 1984

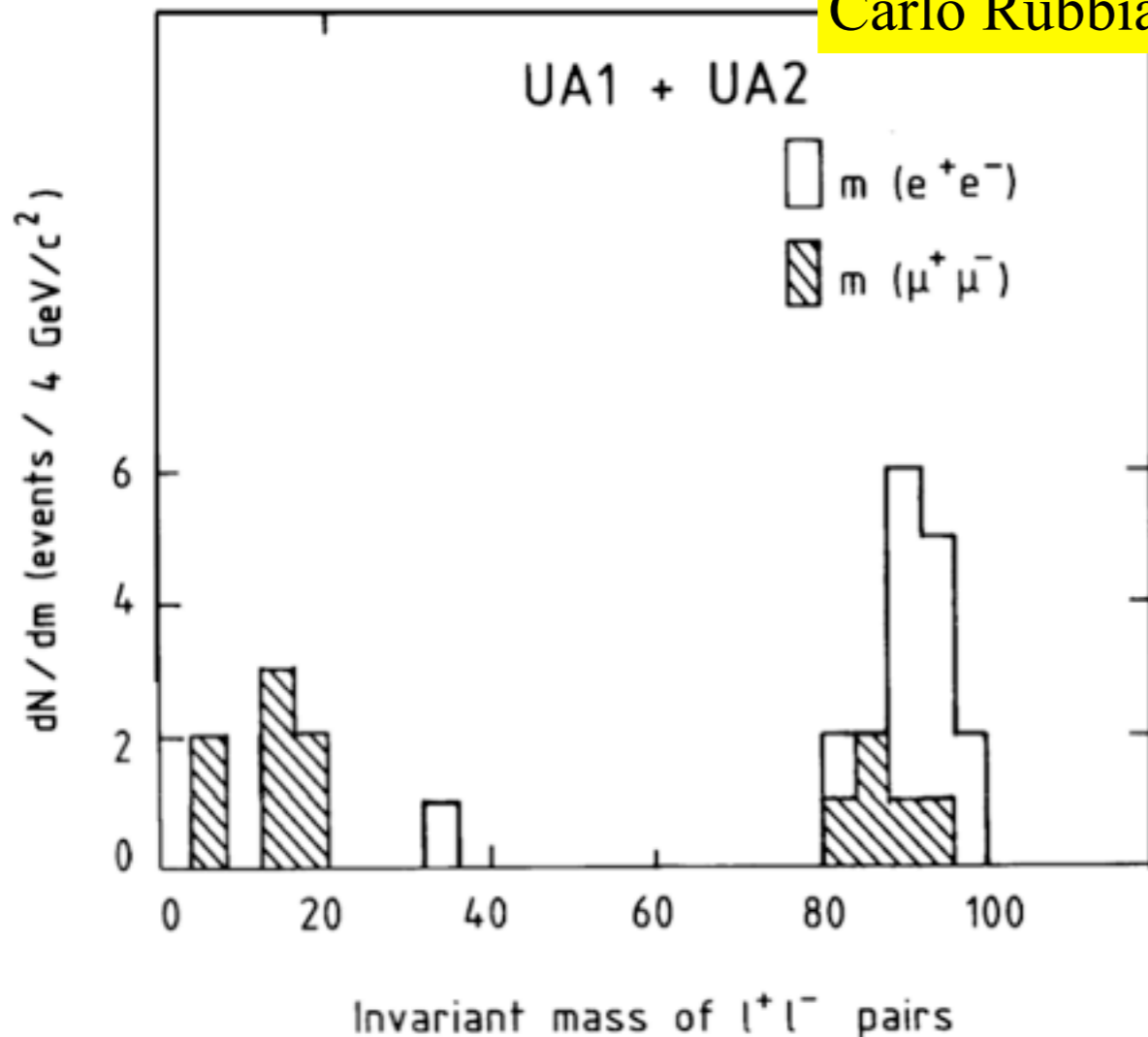


Fig. 29. Invariant mass distribution of dilepton events from UA1 and UA2 experiments. A clear peak is visible at a mass of about 95 GeV/c².

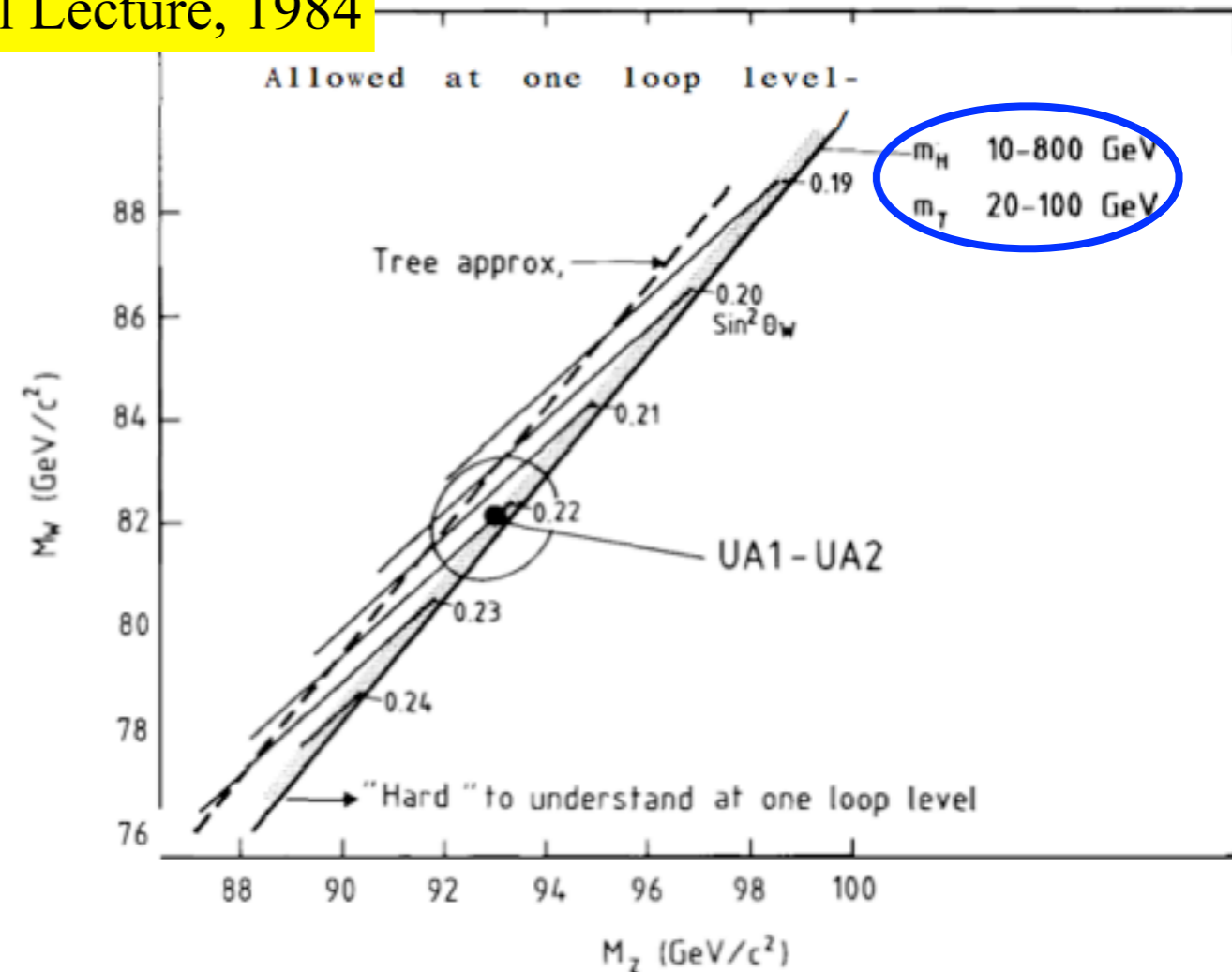


Fig. 30. Comparison between the Standard Model and the experimental results (UA1 and UA2 combined). Theory is from Ref. [29].

$$M_W = \left(\frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}G} \right) \frac{K}{\sin \theta_W}, \quad M_Z = \left(\frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}G} \right) \frac{K}{\sin \theta_W \cos \theta_W}$$

$$\sin^2 \theta_W = 1 - \frac{M_W^2}{M_Z^2},$$

$$K \approx 1.036$$

Figura teorica da: M. Consoli, S. Lo Presti, L. Maiani *Nucl.Phys.* B223 (1983) 474
 i dati suggeriscono una deviazioni misurabile dalle predizioni della Teoria Standard al tree level
 B. Beg & A.Sirlin; Z. Hioki considerazioni simili.

LEP - LHC e la fisica elettrodebole di precisione

- con l'osservazione di W e Z e, successivamente, gli esperimenti di LEP (>1989), si apre la stagione della fisica elettrodebole di precisione
- la determinazione di $\sin^2\theta_W$ a partire dalla massa del W (più tardi dello Z) permette una precisione non raggiungibile con le sezioni d'urto dei processi di corrente neutra (usate negli anni '70)
- Veltman: le correzioni virtuali dovute al top crescono con M_t^2
- diversi gruppi inseguono la determinazione di M_t a partire dai parametri elettrodeboli, tra questi :

CERN-TH. 4675/87
MAD/TH/87-07
LBL-23271

In the minimal Standard Model with $\rho = 1$ and equal Higgs and Z masses we find that $m_t < 168$ GeV at the 90% confidence level.

NEUTRAL CURRENTS WITHIN AND BEYOND THE STANDARD MODEL

G. Costa¹, J. Ellis², G.L. Fogli³, D.V. Nanopoulos⁴ and F. Zwirner⁵
CERN-Geneva

- con LEP inizia la caccia al bosone di Higgs
- 1994. Approvata la costruzione di LHC in due stadi
- 1997. Inizia la costruzione di LHC (uno stadio)
- Dic. 2000. Chiusura di LEP2: le Roy est mort, vive le Roy!

6. Lessons from SppbarS (besides W and Z discovery)

- 1982 SppbarS in operation: jets
 - 1983 Discovery of W&Z
- The discovery of jets (i.e. interactions of the constituents) in p-pbar has played a crucial role because it showed the possibility to study basic interactions even with hadron beams. No problem to get to high energy, compared to e⁺e⁻
- QCD evolution shows that there is no much gain in p-pbar vs. p-p collisions (gluons and sea constituents dominate). No problems with luminosity such as with pbar.
 - By 1984-1985 the idea of a high energy proton collider in the LEP tunnel had gained momentum
 - July 1989 first Z⁰ at LEP.

Lessons from SppbarS (cont'd)

Supersymmetric Decay Modes of the W and Single Electron Production in $p\bar{p}$ Collisions

Riccardo Barbieri (Pisa U. & INFN, Pisa), N. Cabibbo, L. Maiani, S. Petrarca (Rome U. & INFN, Rome). May 1983. 18 pp.

Published in Phys.Lett. B127 (1983) 458

ROME-348-1983

DOI: [10.1016/0370-2693\(83\)90293-9](https://doi.org/10.1016/0370-2693(83)90293-9)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [HarvMac](#) | [EndNote](#)

[ADS Abstract Service](#); [Science Direct](#)

[Detailed record](#) - [Cited by 58 records](#) 50+

- W e Z sono state le prime particelle di massa realmente alta, potenzialmente nei loro decadimenti si sarebbero potute osservare particelle mai viste prima
- alcuni eventi osservati da UA1 ci fecero pensare ad un decadimento nei partner supersimmetrici dell'elettrone e del neutrino...
- ma si rivelarono solo una fluttuazione del fondo.

**W e Z : la porta ad un nuovo dominio di energia
La caccia alla Supersimmetria era cominciata
... e continua tutt'ora**