

La scoperta dei bosoni W e Z^0

Premio Nobel nel 1984



The Nobel Prize in Physics 1984

"for their decisive contributions to the large project, which led to the discovery of the field particles W and Z , communicators of weak interaction"



Carlo Rubbia

1/2 of the prize

Italy

CERN
Geneva, Switzerland

b. 1934



Simon van der Meer

1/2 of the prize

the Netherlands

CERN
Geneva, Switzerland

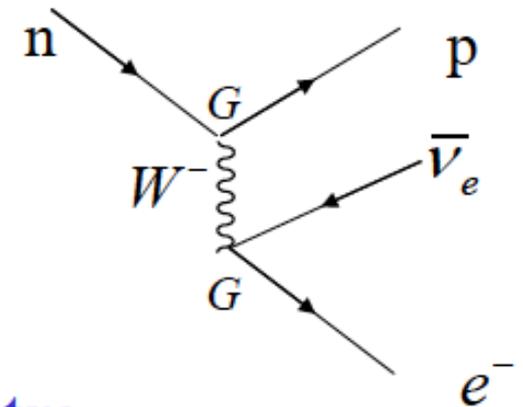
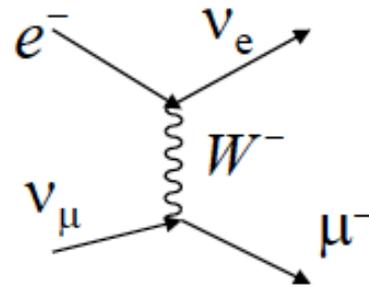
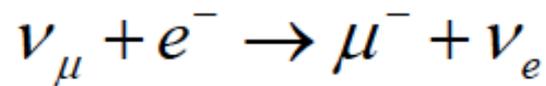
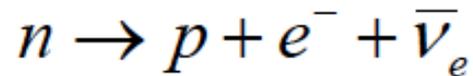
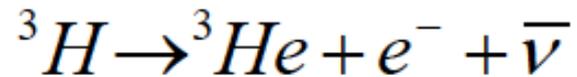
b. 1925



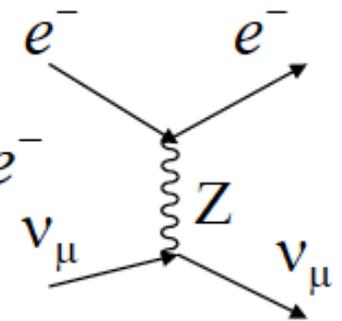
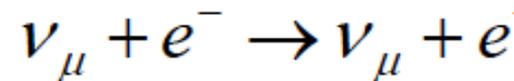
"for their decisive contributions to the large project, which led to the discovery of the field particles W and Z , communicators of the weak interaction"

Il decadimento β e le correnti deboli

Il decadimento beta e le correnti deboli cariche:



**1973 Scoperta delle correnti deboli neutre
e teoria della unificazione elettrodebole:**



La teoria elettrodebole

- 1) Fine anni 60 [Glashow(1961), Salam(1964) e Weinberg(1967)] : **unificazione delle interazioni deboli ed elettromagnetiche.**
 - a) **TUTTE** le Interazioni Fondamentali sono **INVARIANTI** sotto **TRASFORMAZIONI** di **GAUGE LOCALI**;
 - b) La SPERANZA e' rappresentata dalla possibilita' che le TEORIE di GAUGE forniscano una BASE per **una UNIFICAZIONE GLOBALE delle INTERAZIONI FONDAMENTALI.**
- 2) La richiesta BASILARE nella formulazione di una Teoria di Gauge sta nell'ottenere una LAGRANGIANA che descriva le INTERAZIONI sotto le TRASFORMAZIONI di SIMMETRIA RILEVANTI e APPROPRIATE: cioe' quelle che danno luogo alle LEGGI di CONSERVAZIONE.
- 3) Le leggi di conservazione devono riguardare quantita' **CONSERVATE LOCALMENTE** in ciascun punto dello spazio e NON globalmente. La CARICA ELETTRICA e' un ottimo esempio di Conservazione Locale.
- 4) La proprieta' di Conservazione Locale e' il cuore delle Simmetrie di Gauge esibite dalle Interazioni Fondamentali.
- 5) Nel Modello Standard una **SINGOLA teoria di Gauge** con il gruppo di simmetria $SU(2)\otimes U(1)$ include le interazioni elettromagnetiche e deboli (CC + NC) dove le costanti di accoppiamento NON SONO INDIPENDENTI ma sono CORRELATE dalla TEORIA.
- 6) QCD e Electroweak, essendo entrambe Teorie di Gauge, SONO UNIFICATE dal framework teorico MA hanno costanti di accoppiamento INDIPENDENTI.
- 7) Le caratteristiche unificanti appaiono principalmente nei processi di CORRENTE NEUTRA.
- 8) Il Modello Standard ha fornito un fantastico confronto tra predizioni e risultati sperimentali: l'esistenza dei W^+ W^- e Z, e, possedendo tutte la CARICA DEBOLE, delle loro reciproche interazioni deboli. Gli esperimenti di urti ν -nuclei, le misure di precisione a LEP, al Tevatron e a LHC. La scoperta del Bosone di Higgs.

Come detto, la teoria Elettrodebole e' basata sulla Invarianza di Gauge Locale sotto $SU(2)\otimes U(1)$. Una teoria valida DEVE essere **rinormalizzabile**. Deve cioe' esistere una procedura matematicamente corretta che elimina gli infiniti che si presentano nei calcoli degli osservabili fisici come per esempio le sezioni d'urto e le frequenze di decadimento. Per ottenere questo la Lagrangiana elettrodebole e' da prima scritta senza termini di massa, cioe' con i bosoni di Gauge e i fermioni senza massa. La dimostrazione della rinormalizzabilita' fu data da 't Hooft (1971). Le masse sono generate con la teoria, senza distruggere la rinormalizzabilita', con la rottura spontanea della simmetria di Gauge locale attraverso un meccanismo scoperto nel 1964 da Englert & Brout (1964), Higgs (1964) e da Guralnik, Hagen & Kibble (1964). Questo e' chiamato usualmente, come vedremo piu' avanti nel corso: "Higgs mechanism". La predizione principale del meccanismo e' l'esistenza di un bosone scalare che e' diventato famoso come Bosone di Higgs, H. Tutti gli accoppiamenti di H ai bosoni di Gauge e ai fermioni sono predetti dalla teoria in funzione del valore della sua massa che la teoria lascia come parametro libero.

Discutiamo ora le proprieta' dei bosoni di gauge W^\pm, Z^0 e del fotone. La Rappresentazione Fondamentale di $SU(2)\otimes U(1)$ e' costituita rispettivamente da TRE e UNO campi di Gauge.

$$L = \underbrace{\frac{g}{\sqrt{2}} \left(J_\mu^- W_+^\mu + J_\mu^+ W_-^\mu \right)}_{\text{ID CC}} + \underbrace{\frac{g}{\cos \theta_W} \left(J_\mu^3 - \sin^2 \theta_W J_\mu^{EM} \right)}_{\text{ID CN}} Z^\mu + \underbrace{g \sin \theta_W J_\mu^{EM} A^\mu}_{\text{EM}}$$

3 Bosoni: W^+, W^-, Z^0 ed angolo di Weinberg θ_W

Due sole costanti, da misurare, la carica elementare α e l'angolo di Weinberg

$$\frac{G_F}{\sqrt{2}} = \frac{g^2}{8M_W^2}$$

Unificazione delle cariche elettrica e debole + valore della costante di Fermi $\Rightarrow M_W = \left(\frac{g^2 \sqrt{2}}{8G_F} \right)^{1/2} = \sqrt{\frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}G_F}} \frac{1}{\sin\theta_W} = \frac{37.3}{\sin\theta_W} \text{ GeV}$

Teoria elettro-debole $\Rightarrow M_Z = \frac{M_W}{\cos\theta_W}$

Esperimenti con neutrini ed altri $\Rightarrow \sin^2\theta_W \approx 0.232$

$$M_W \approx 80 \text{ GeV} \quad M_Z \approx 90 \text{ GeV}$$

a meno di piccole "correzioni radiative"

Processi descritti dalla teoria

Processi di corrente carica; a basse energie la teoria coincide con quella di Fermi

verificato sperimentalmente

Processi di corrente neutra; nei quali l'unificazione EW appare direttamente

verificato sperimentalmente

Interazione a tre bosoni (γ , W , Z , H)

verificato sperimentalmente

Generazione delle masse dei bosoni da parte dell'higgs

verificato sperimentalmente

Generazione delle masse dei fermioni da parte dell'higgs

verificato sperimentalmente

Se la teoria è corretta, tutte le costanti d'interazione sono espresse in funzione di un solo parametro libero, $\sin^2\theta_W$. Per verificare la teoria bisogna misurare quantità fisiche (sezioni d'urto, velocità di decadimento, ecc.) e confrontare il valore misurato con quello calcolato nella teoria. Il calcolo si basa su uno "sviluppo perturbativo" nel quale ci si ferma ad un certo ordine. L'ordine più basso = livello albero, ordini successivi = correzioni radiative".

Correnti deboli neutre ed angolo di Weinberg

L'unificazione delle interazioni elettromagnetica e debole appare soprattutto nei processi di corrente debole neutra, NC. In questi processi possiamo misurare le "cariche deboli" che nella teoria unificata sono espresse in termini di un solo parametro, $\sin^2\theta_W$.

Il suo valore deve risultare il medesimo in tutti i casi a livello albero. Per confrontare misure di precisione bisogna tener conto anche dei grafici di ordine superiore, cioè delle "correzioni radiative"; queste sono piccole e calcolate

Questo è stato verificato in un vastissimo intervallo di energie e per diversi tipi di accoppiamento

- Non conservazione della parità negli atomi (scala = eV)
- Diffusione di elettroni polarizzati su deuterio (GeV)
- Asimmetrie $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ (da 10 GeV a 200 GeV)
- Diffusione profondamente anelastica di ν_μ su nuclei (scala = parecchi GeV)
- Diffusione ν_μ su elettrone (scala = MeV)
 - Discuteremo solo questo caso

Definizione $\sin^2 \vartheta_w$

- Interazione elettromagnetica $\rightarrow \gamma$
- Interazione debole CC $\rightarrow W^\pm$
- Interazione debole NC $\rightarrow Z^0$

La corrente neutra debole J_μ^{NC} è combinazione di J_μ^3 e J_μ^{em} :

$$J_\mu^{NC} = J_\mu^3 - \sin^2 \vartheta_w J_\mu^{em}$$

- $\sin^2 \vartheta_w$ è uno dei tre parametri fondamentali della teoria elettrodebole: connette le masse dei bosoni W , Z^0 e inoltre mette in relazione m_W con α e G_F :

$$m_W = m_{Z^0} \cos \vartheta_w \quad m_W^2 = \frac{\pi \alpha}{\sqrt{2} G_F \sin^2 \vartheta_w}$$

\rightarrow E' interessante misurare $\sin^2 \vartheta_w$ in diversi processi

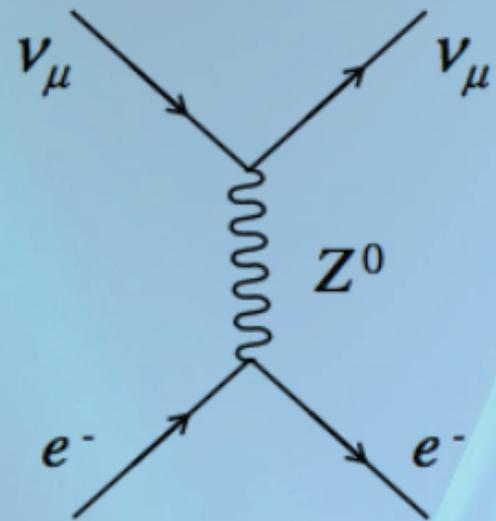
Scattering $\nu_\mu e^-$

- Interazione leptonica puramente debole di tipo NC
- Particelle puntiformi libere \rightarrow è possibile calcolare le sezioni d'urto $\sigma(\nu_\mu e)$ e $\sigma(\bar{\nu}_\mu e)$:

$$\sigma(\bar{\nu}_\mu e) = G_F s f(\sin^2 \vartheta_w)$$

- **Il rapporto delle sezioni d'urto**, a meno di correzioni radiative (m_t, m_H), è funzione di $\sin^2 \vartheta_w$:

$$R = \frac{\sigma(\nu_\mu e)}{\sigma(\bar{\nu}_\mu e)} = \frac{3 - 12 \sin^2 \vartheta_w + 16 \sin^4 \vartheta_w}{1 - 4 \sin^2 \vartheta_w + 16 \sin^4 \vartheta_w}$$



NC/CC ...

Dalla tabella delle NC si ricava, integrando su y da 0 a 1 e quindi su $t(=E_{in}-E_{out})$ da 0 a $E_{v/anti-v}=E_{in}$ (termine che è uguale per NC e CC e che quindi nel rapporto si cancella):

$$R^v = \frac{\sigma(\text{NC})}{\sigma(\text{CC})} \Big|_v = \frac{\int_0^{E_{in}} t_{\text{CC}} dt_{\text{CC}}}{\int_0^{E_{in}} t_{\text{NC}} dt_{\text{NC}}} \int_0^1 dy ((u_L^2 + d_L^2 + (1-y)^2 (u_D^2 + d_D^2))) = \frac{1}{2} - \text{sen}^2(\theta_w) + \frac{20}{27} \text{sen}^4(\theta_w)$$
$$R^{\bar{v}} = \frac{\sigma(\text{NC})}{\sigma(\text{CC})} \Big|_{\bar{v}} = \frac{\int_0^{E_{in}} t_{\text{CC}} dt_{\text{CC}}}{\int_0^{E_{in}} t_{\text{NC}} dt_{\text{NC}}} \int_0^1 dy ((u_D^2 + d_D^2 + (1-y)^2 (u_L^2 + d_L^2))) = \frac{1}{2} - \text{sen}^2(\theta_w) + \frac{20}{9} \text{sen}^4(\theta_w)$$

... risultato di CHARM

Il parametro libero $\text{sen}^2(\theta_w)$ si può determinare dalla relazione ricavata per R^v .

Il valore ottenuto per $\text{sen}^2(\theta_w)$ è dunque il seguente:

$$\text{sen}^2(\theta_w) = 0.2356,$$

$$\text{err}(\text{sen}^2(\theta_w)) = 0.0050.$$

... risultato di CERN-DHS

Il parametro libero $\sin^2(\theta_w)$ si può determinare dalla relazione ricavata per R^ν .

Il valore ottenuto per $\sin^2(\theta_w)$ è il seguente:

$$\sin^2(\theta_w)=0.225,$$

$$\text{err}(\sin^2(\theta_w))=0.005.$$

Stime masse W e Z

Le masse (approssimativamente)

$$M_W = \left(\frac{g^2 \sqrt{2}}{8G_F} \right)^{1/2} = \sqrt{\frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}G_F}} \frac{1}{\sin\theta_W} = \frac{37.3}{\sin\theta_W} \text{ GeV} \quad \frac{M_W}{M_Z} = \cos\theta_W$$

Da valore misurato di θ_W $M_W \simeq 80 \text{ GeV}$ $M_Z \simeq 91 \text{ GeV}$

W. Larghezze leptoniche (uguali per universalità). Per calcolo serve teoria

$$\Gamma_{e\nu} = \Gamma_{\mu\nu} = \Gamma_{\tau\nu} = \left(\frac{g}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{M_W}{24\pi} = \frac{1}{2} \frac{G_F M_W^3}{3\sqrt{2}\pi} \simeq 225 \text{ MeV}$$

NB. In generale le larghezze dei BI sono proporzionali al cubo della massa

Ricerca sperimentale

Due problemi:

- Avere un acceleratore di energia sufficiente
- Avere un detector in grado di distinguere il segnale rispetto al fondo

1) L'acceleratore

Questo valore della massa era fuori dalla portata degli acceleratori di fine anni 70. Allo SPS l'energia non era sufficiente a produrre W e Z, infatti:

$$\begin{aligned} E_{CM}^2 &= (E_1 + m_T)^2 - P_1^2 = m_T^2 + E_1^2 + 2E_1 m_T - P_1^2 = \\ &= m_T^2 + m_1^2 + 2E_1 m_T \end{aligned}$$

$$\text{SPS: } E_1 = 450 \text{ GeV} \quad \rightarrow \quad \sqrt{s} = \sqrt{2E_1 m_T} \approx 30 \text{ GeV}$$

C. Rubbia e S.VanderMeer convinsero le autorità del CERN a trasformare l'SPS in un collisionatore protoni-antiprotoni : l'Sp-pbarS .

1976: Conferenza del neutrino ad Aachen

PRODUCING MASSIVE NEUTRAL INTERMEDIATE VECTOR BOSONS WITH EXISTING ACCELERATORS*)

C. Rubbia and P. McIntyre

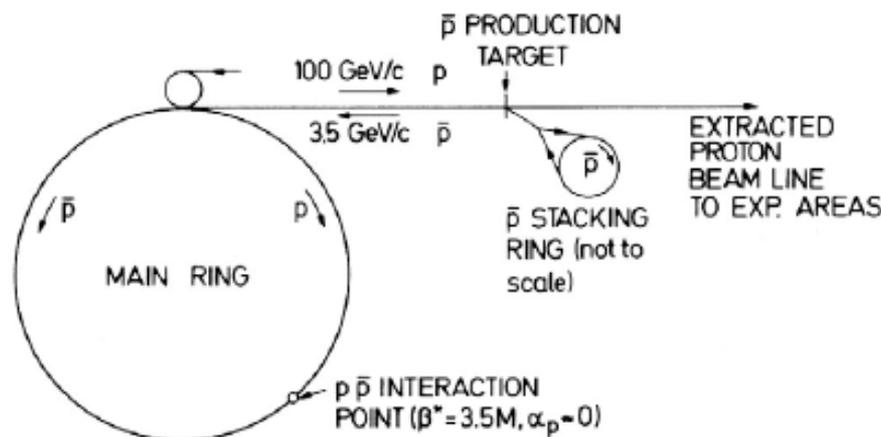
Department of Physics, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138
and

D. Cline

Department of Physics, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53706

Presented by C. Rubbia

Abstract: We outline a scheme of searching for the massive weak boson ($M = 50 - 200 \text{ GeV}/c^2$). An antiproton source is added either to the Fermilab or the CERN SPS machines to transform a conventional 400 GeV accelerator into a $p\bar{p}$ colliding beam facility with 800 GeV in the center of mass ($E_{\text{eq}} = 320,000 \text{ GeV}$). Reliable estimates of production cross sections along with a high luminosity make the scheme feasible.



Per una macchina
di collisione:

$$E_{\text{cm}} = 2E_i$$

$$p: [u(2/3), u(2/3), d(-1/3)]$$

$$\bar{p}: [u(-2/3), u(-2/3), d(1/3)]$$

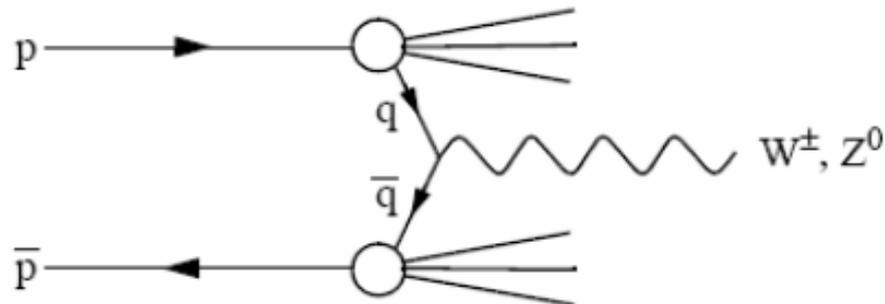
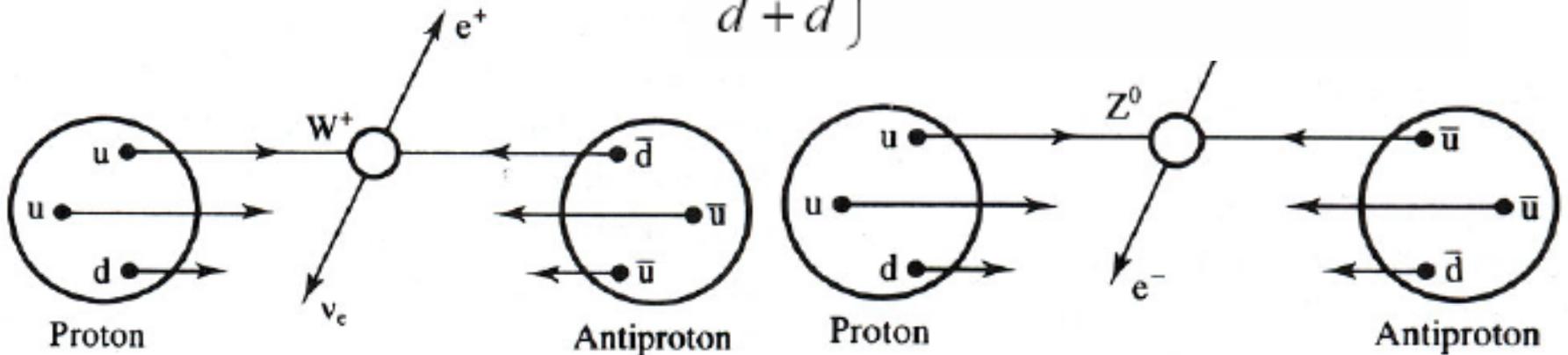
Il collisionatore adronico

Le collisioni
quark-anti quark:

$$u + \bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e, \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\bar{u} + d \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e, \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$\left. \begin{array}{l} u + \bar{u} \\ d + \bar{d} \end{array} \right\} \rightarrow Z^0 \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-$$



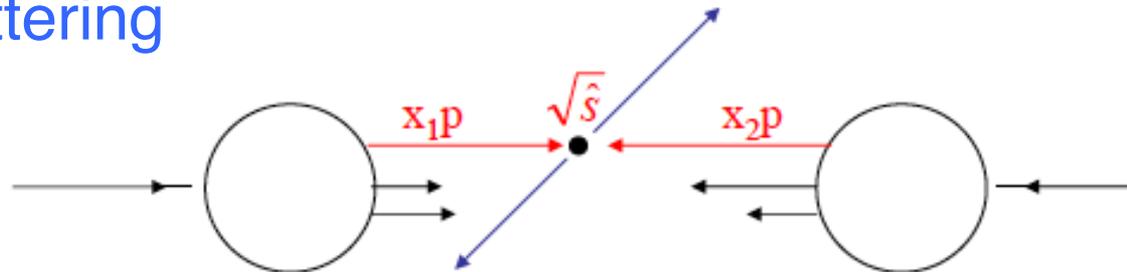
Due tipi di collisioni

1) Urti inelastici – low P_T :



Grande distanza laterale tra i protoni incidenti, basso P_T , alto momento longitudinale \rightarrow Minimum Bias

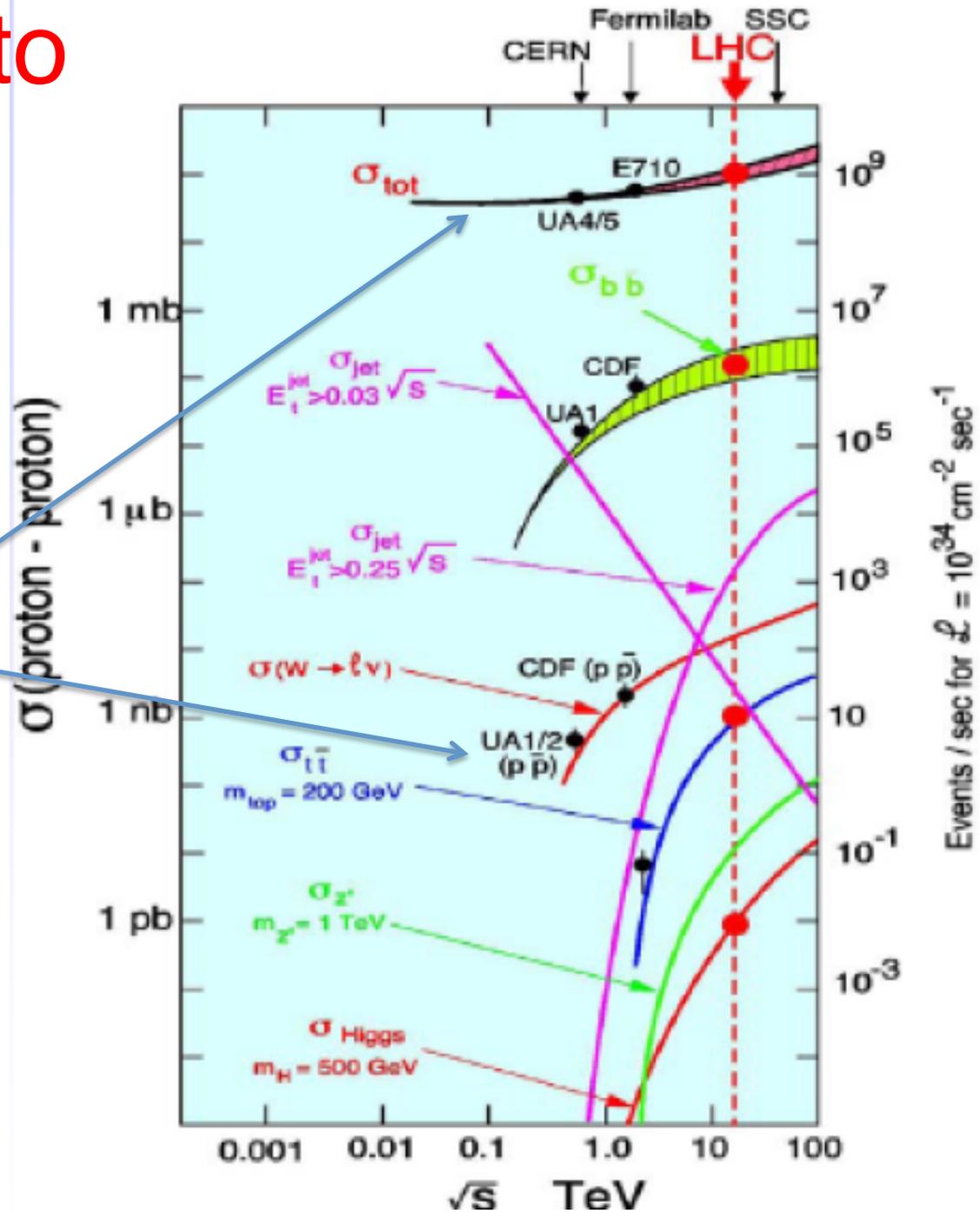
2) Hard scattering



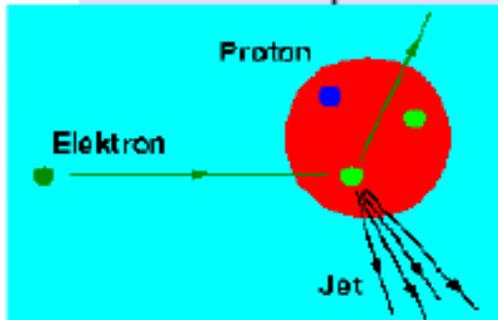
Urti centrali a piccola distanza, alto P_T , produzione di particelle massive a grandi angoli \rightarrow **URTI RARI**

Sezione d'urto W, Z

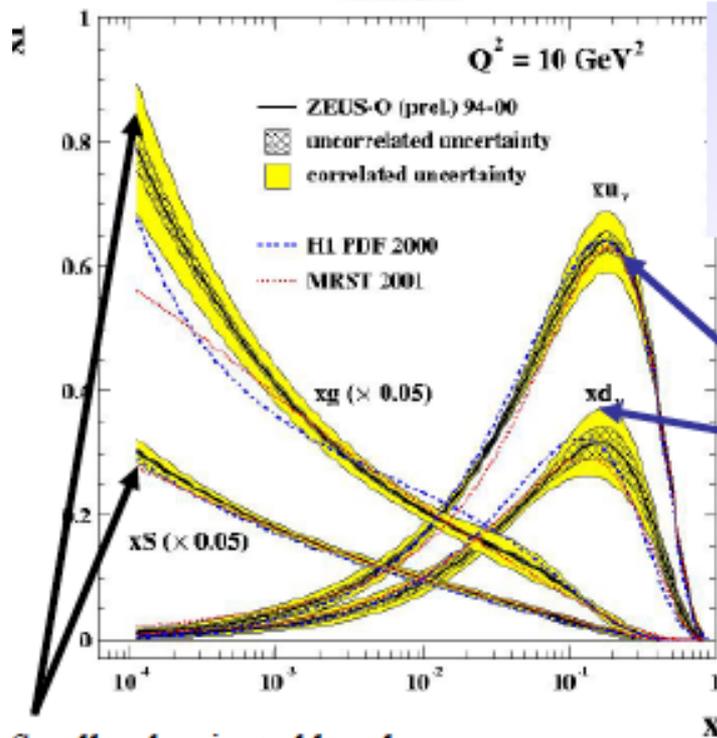
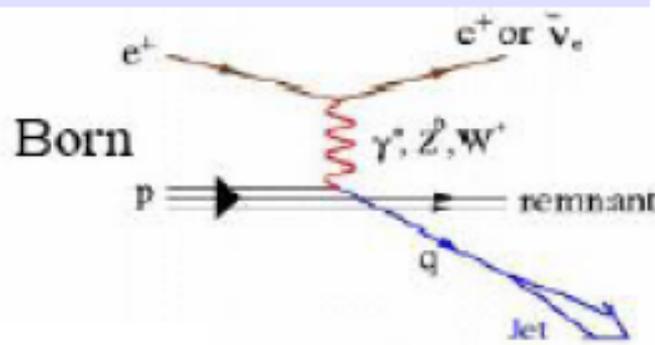
Circa 10^9 volte più piccola della sezione d'urto totale.



Energia negli urti adronici



ZEUS



Parton density functions (pdf):

u- and d-quarks at large x-values

Gluons dominate at small x !!

Uncertainties in the pdfs,
in particular on the gluon distribution
at small x

Large x dominated by valence
quarks

Small x dominated by gluons
and sea quarks

Acceleratori al CERN nel 1976

- 26 GeV proton synchrotron (PS) in operazione dal 1959
- 450 GeV proton synchrotron (SPS) appena partito



Energia e luminosità

- In media solo il 50% dell'energia dei protoni è trasportata dai 3 quark!
- Energia collider $E_{\text{CM}} = 6 \times M_W \approx 500\text{-}600 \text{ GeV}$
- Urti rari, quindi alta luminosità del collider

$$N = L \sigma$$

dimensions: $\text{s}^{-1} = \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$

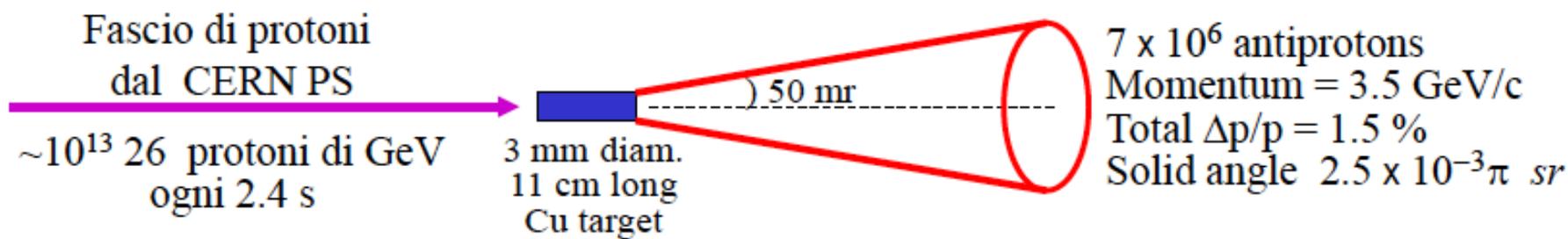
$L = \text{Luminosity}$
 $\sigma = \text{cross section}$

nel nostro caso: $\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z \rightarrow e^+e^-) \approx 50 \text{ pb} \approx 50 \cdot 10^{-36} \text{ cm}^2$

1 ev/giorno → $L > 2.5 \times 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Per ottenere $\geq 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ la sorgente di antiprotoni deve essere capace di fornire ogni giorno 3×10^{10} antiprotoni distribuiti in alcuni (3 – 6) pacchetti ben collimati all'interno dell'accettanza in impulso e angolare del SPS

Produzione di antiprotoni:

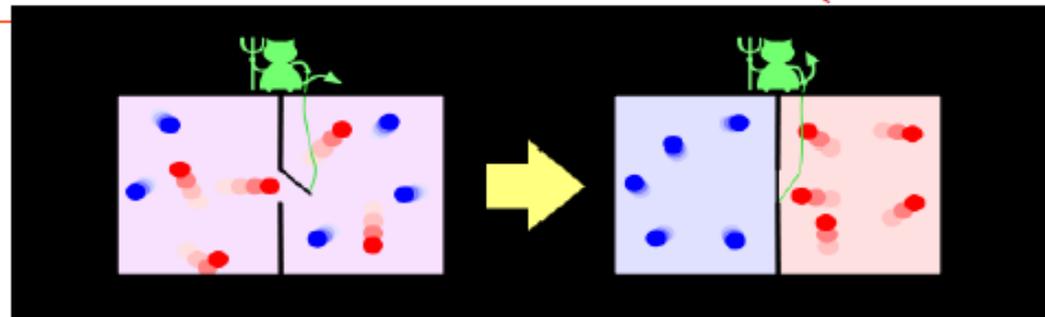


Il numero di protoni per ciclo PS OK

Ma occupano un volume di spazio delle fasi troppo grande di un fattore $\geq 10^8$ per essere accettati dal SPS anche dopo l'accelerazione all'energia di iniezione di 26 GeV

Bisogna concentrare gli antiprotoni di un fattore $\geq 10^8$ nello spazio delle fasi prima dell'iniezione nel SPS ("cooling")

RAFFREDDAMENTO TRASVERSALE (diavoletto di Maxwell)



Un pick-up misura lo spostamento trasversale delle particelle che piu' si discostano dall'orbita ideale. Un segnale di correzione angolare viene applicato in un punto successivo, dove le particelle percorrendo le loro oscillazioni attraversano l'orbita ideale (kicker). Il ritardo del segnale di correzione viene scelto in modo da essere eguale al tempo di transito delle particelle.

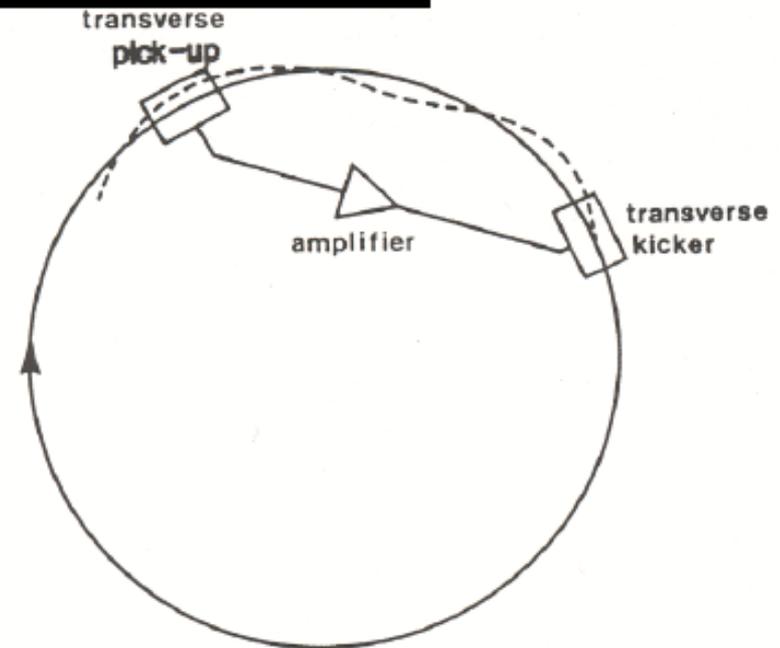


FIG. 2. Cooling of the horizontal betatron oscillation of a single particle.

D. Mohl, Stochastic Cooling for Beginners, CERN 84-15, 1984, p.97
S.van der Meer, Stochastic Cooling and the Accumulation of Antiprotons, Rev. Mod. Physics, Vol 57, No.3, part1, July 1985.

L'accumulatore di antiprotoni del CERN (AA)

Un anello di grande apertura per accumulare e raffreddare antiprotoni di $3.5\text{GeV}/c$



(durante la costruzione)

Storia del collider protone – antiprotone del CERN, 1981 - 90

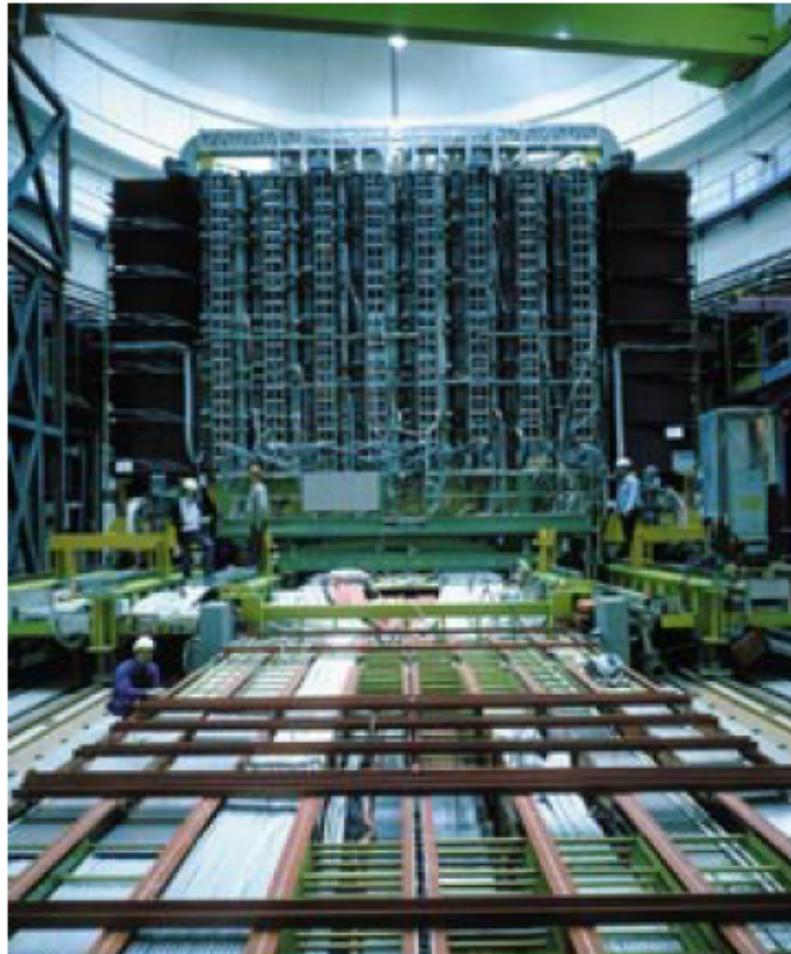
Year	Collision Energy (GeV)	Peak luminosity ($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Integrated luminosity (cm^{-2})
1981	546	$\sim 10^{27}$	2.0×10^{32}
1982	546	5×10^{28}	2.8×10^{34}
1983	546	1.7×10^{29}	1.5×10^{35}
1984-85	630	3.9×10^{29}	1.0×10^{36}
1987-90	630	$\sim 2 \times 10^{30}$	1.6×10^{37}

← Scoperta W
← Scoperta Z

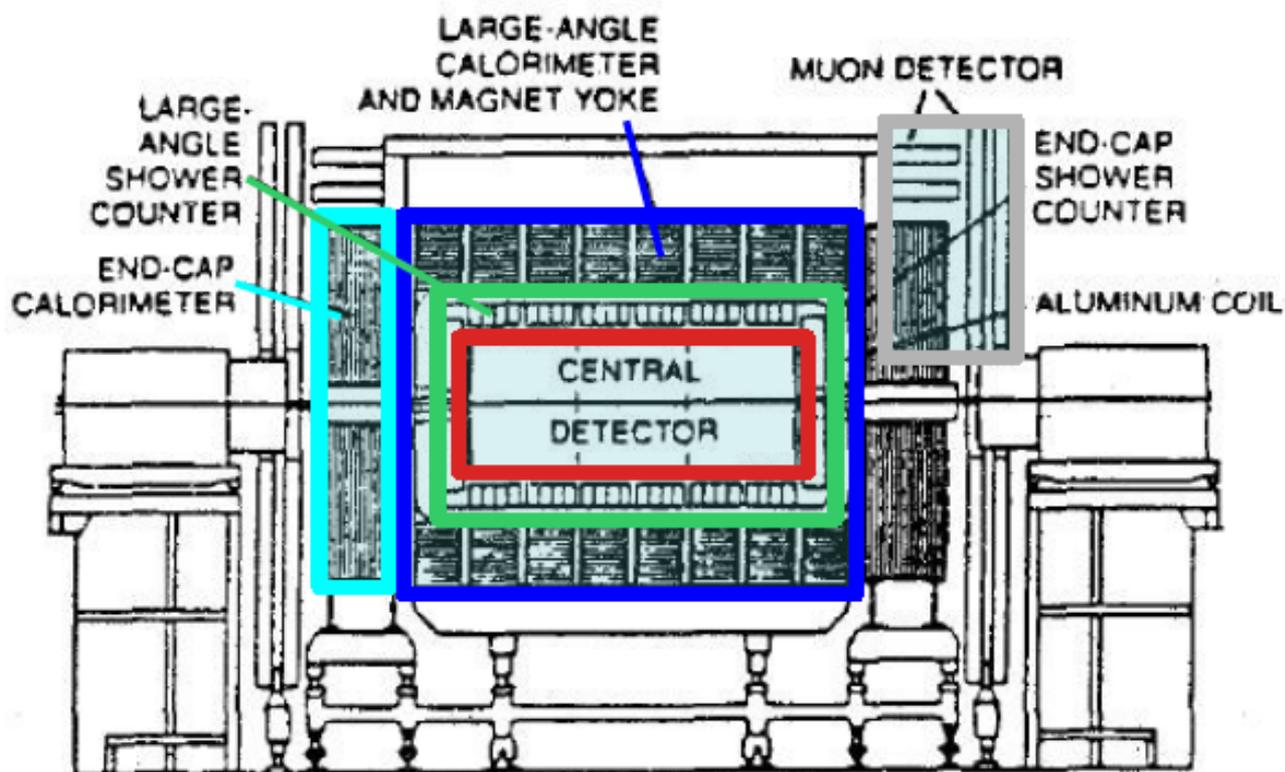
1991: Fine delle operazioni

2) Gli esperimenti

UA1 – Underground Area 1

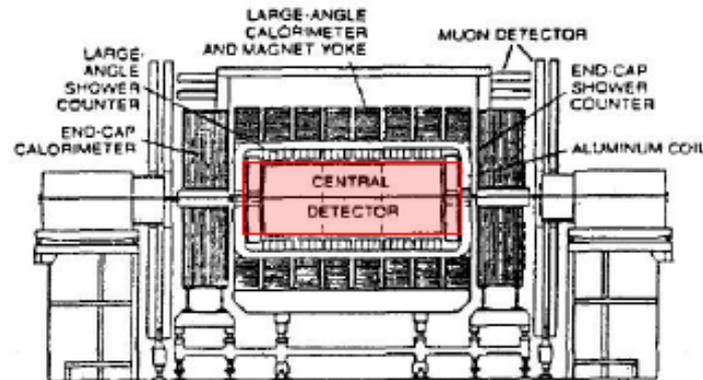


Il detector è essenzialmente un magnete dipolare centrale che produce un campo magnetico $B = 0.7 \text{ T}$ in un volume di $7 \times 3.5 \times 3.5 \text{ m}^3$. Come mostrato in figura, all'interno di tale volume e intorno al magnete stesso sono posizionati diversi strumenti per la misura degli stati finali prodotti dall'interazione protone-antiprotone.



Central detector

Posizionato intorno al punto dell'interazione fra i fasci, è un volume cilindrico di camere a drift lungo 5.8 m e di diametro 2.3 m.



Fornisce un'immagine di ogni interazione

Misura momento delle particelle (curvatura della traccia carica in campo magnetico)

Misura della ionizzazione

Central detector

Precisione

MOMENTO

- Errore di localizzazione intrinseco al sistema ($\leq 100 \mu\text{m}$);
- Errore dovuto alla diffusione degli elettroni nel gas: proporzionale a \sqrt{l} con l lunghezza di drift, è pari a $350 \mu\text{m}$, dopo $l_{\text{max}} = 22 \text{ cm}$.

Traccia lunga 1 m, con $p = 40 \text{ GeV}/c$, nel piano normale a B :
errore relativo pari a $\pm 20\%$
(diminuisce all'aumentare della lunghezza della traccia)

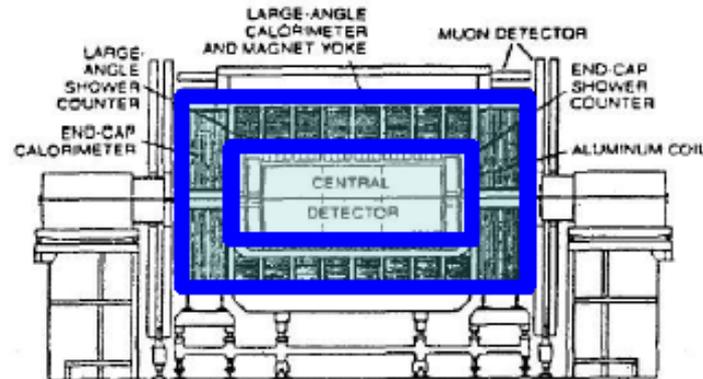
IONIZZAZIONE

Errore relativo al metodo della media troncata al 60% delle letture più basse pari al 10 % per una traccia di 1 m

Permette l'identificazione chiara di fasci di particelle molto stretti (come coppie e^+e^-) che non possono essere risolte dall'immagine delle camere a drift.

Calorimetro

La sezione centrale copre la regione polare fino a 5° dalla beam pipe, ha una parte elettromagnetica e una adronica; nella regione più in avanti (fino a 0.2°) è presente una calorimetria aggiuntiva sia elettromagnetica che adronica.



Fornisce una misura dell'energia delle particelle

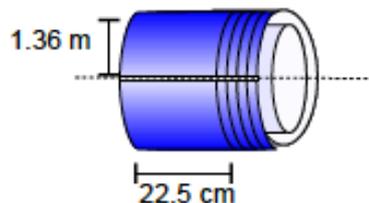
Permette di identificare il tipo di particella rivelata, dallo studio della forma dello sciame da essa prodotto

Permette di localizzare la posizione angolare dell'evento

Calorimetro EM

Dettagli tecnici

Regione centrale (25°-155°)



- 48 gondole (moduli semicilindrici di strati alternati scintillatore/piombo), organizzate in 2 mezzi gusci cilindrici ($RL=26.4/\sin\theta$), uno per lato della beam pipe. Ciascuna gondola copre circa 180° in Φ ed è lunga 22.5 cm;
- 4 segmentazioni in profondità;
- Ciascuna segmentazione è dotata di due shifter di lunghezza d'onda (uno per lato del contatore), collegati ciascuno a 4 PMs (2 sopra, 2 sotto)

Endcap (5°-25° / 155°-175°)

- 64 bouchons (petali di contatore di sciame), segmentati 4 volte in profondità e posti da entrambe le parti del detector centrale a 3 m di distanza dal punto di interazione;
- Detector di posizione posto a 11 RL (dopo 2 segmenti), costituito da 2 piani ortogonali di tubi proporzionali di sezione $2 \times 2 \text{ m}^2$;
- La lunghezza di attenuazione dello scintillatore è stata scelta tenendo conto della variazione di $\sin\theta$ sul raggio dei calorimetri, in modo da misurare l'energia trasversa E_T .

Calorimetro EM

Precisione

ENERGIA

- Calo EM centrale: per gli elettroni usando tutti i PMs $\Delta E/E = 0.15/[E(\text{GeV})]^{1/2}$;
- Calo EM endcap: $\Delta E_T/E_T = 0.12/[E_T(\text{GeV})]^{1/2}$;

LOCALIZZAZIONE

- Calo EM centrale : angolo azimutale Φ fornito dai PMs in alto e in basso con un errore pari a $\Delta\Phi = 0.3/[E(\text{GeV})]^{1/2}$, la posizione lungo l'asse del fascio è determinata dall'opportuna coppia di PMs con Δx (cm) = $6.3/[E(\text{GeV})]^{1/2}$ (per particelle poco inclinate). La risoluzione peggiora se la traccia è molto inclinata;
- Calo EM endcap: localizza il centro energetico del cluster con un'incertezza di ± 2 mm.

Calorimetro adronico

Dettagli tecnici

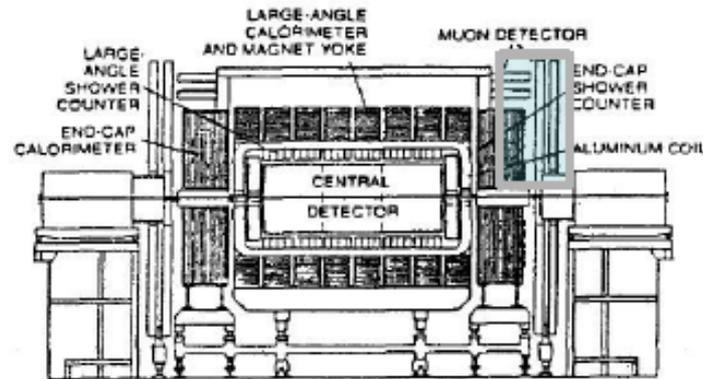
Dietro al calo EM, costituito dal giogo di ferro del magnete dipolare, equipaggiato con opportuni strumenti di rivelazione degli sciami adronici: ogni 50 mm di Ferro ci sono 10 mm di scintillatore, presenta 2 segmentazioni in profondità ($AL=5.0/\sin\theta$).

Precisione

$$\Delta E/E = 0.8/[E(\text{GeV})]^{1/2}$$

Rivelatore di muoni

Circonda tutto il detector ed è costituito da 50 camere a drift che misurano circa 4 m x 6 m e coprono un'area di circa 500 m²



Dettagli tecnici

- Camere a drift costituite da piani sfalsati di tubi a drift di alluminio, per compensare l'inefficienza dovuta agli spazi morti fra i tubi. I piani sono organizzati in due gruppi posti a 60 cm di distanza;
- Tubi con sezione pari a 45 mm x 150 mm, la massima lunghezza di drift è 70 mm

Precisione

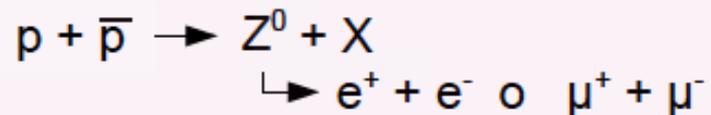
- Nella localizzazione della traccia si raggiunge un'accuratezza lineare dell'ordine di 300 μm su tutto il volume sensibile;
- Risoluzione angolare di qualche mrad (comparabile con l'angolo di scattering multiplo di muoni di alta energia)

Selezione eventi



Selezione eventi

Acquisizione dati



SEGNATURA ELETTRONE

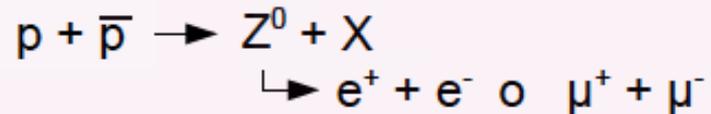
- Curva di transizione tipica: rilascio localizzato di energia (in due celle adiacenti $E_T > 25 \text{ GeV}$) nel calo EM, piccolo rilascio ($E_T \leq 800 \text{ MeV}$) nel calo adronico;
- Isolamento: assenza di tracce cariche che puntano verso il cluster dell'elettrone e aggiungono a p_T un momento $> 3 \text{ GeV}/c$ (per evitare che l'elettrone provenga da un jet)

SEGNATURA MUONE

- Traccia penetrante che attraversa i vari strati del rivelatore, senza particolari deflessioni (a parte lo scattering multiplo);
- Traccia nel rivelatore dedicato;
- Isolamento.

Selezione eventi

Acquisizione dati



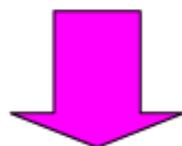
Eventi con due elettroni isolati



- Trigger dimuone;
- Almeno una traccia ricostruita offline nel rivelatore di muoni;
- Una traccia nel detector centrale di lunghezza proiettata ≥ 40 cm e $p_T \geq 7$ GeV/c.

Eventi selezionati

- Tempo di presa dati: **4 settimane** fra Aprile e Maggio 1983;
- Luminosità integrata: **55 nb⁻¹** (dopo aver sottratto tempi morti e inefficienze)

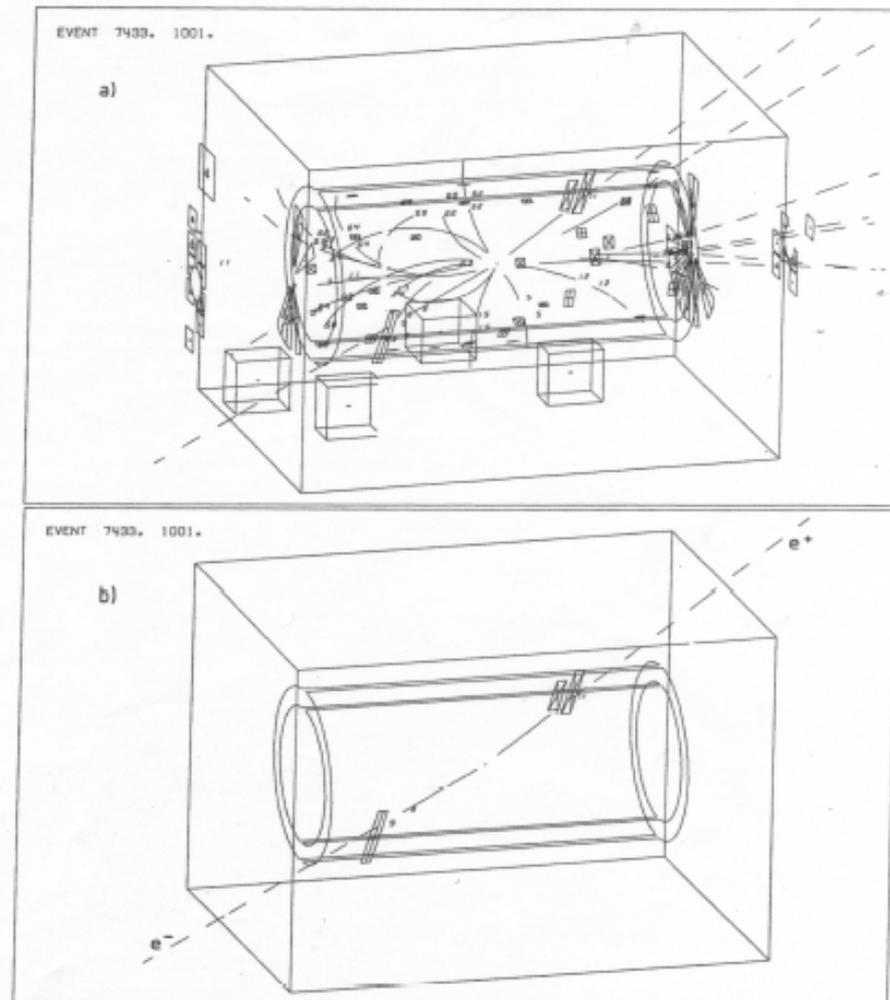


4 eventi di $Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$

1 evento di $Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$

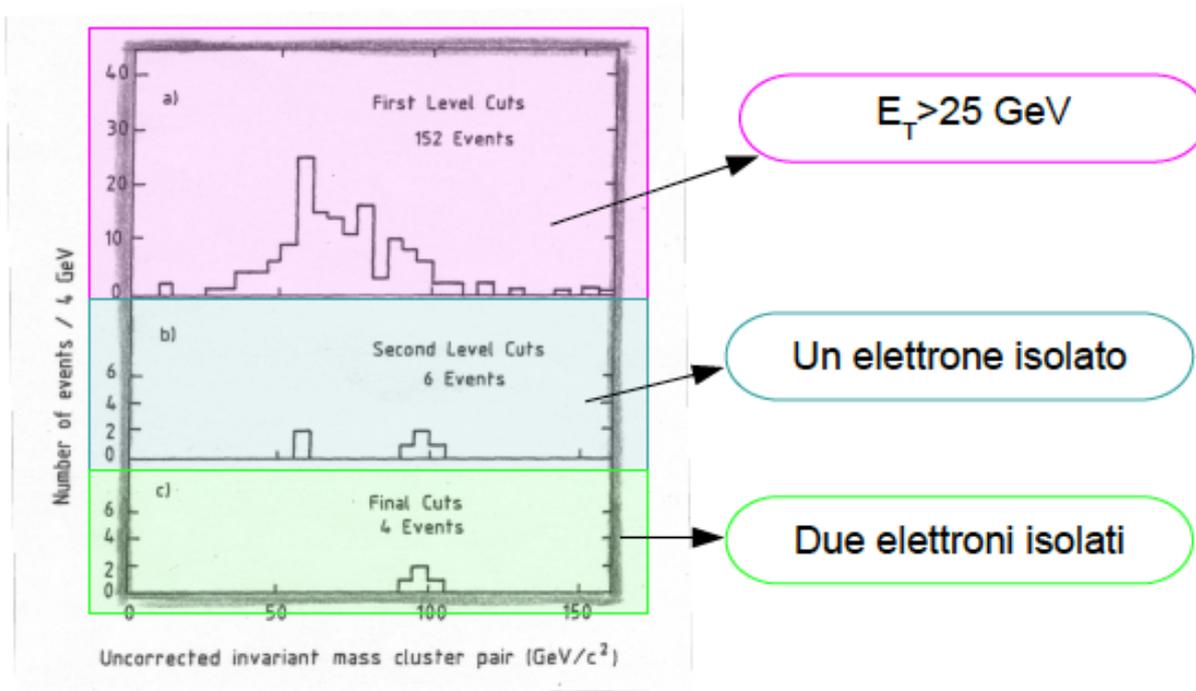
Analisi eventi

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



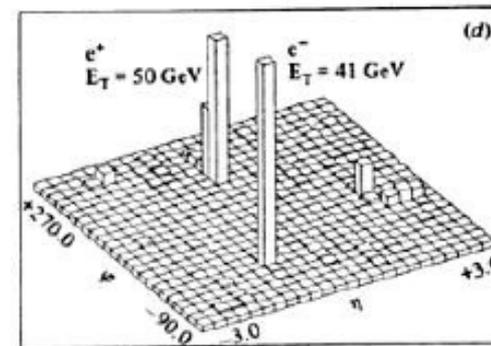
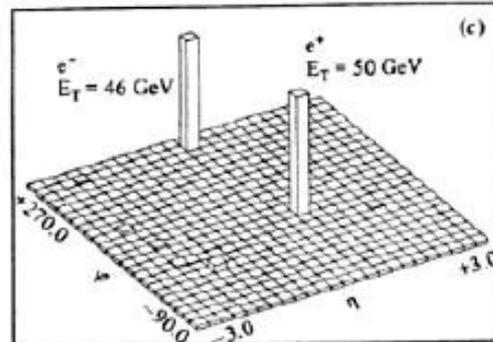
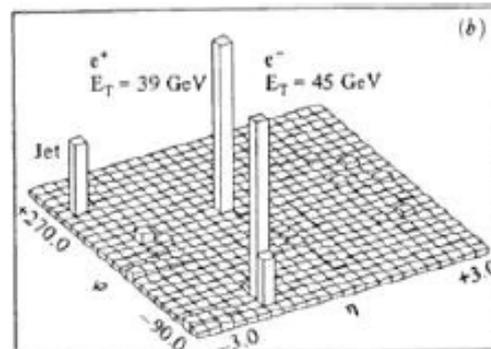
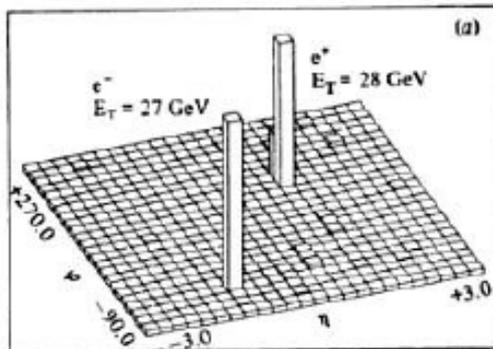
Analisi eventi

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



Analisi eventi

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

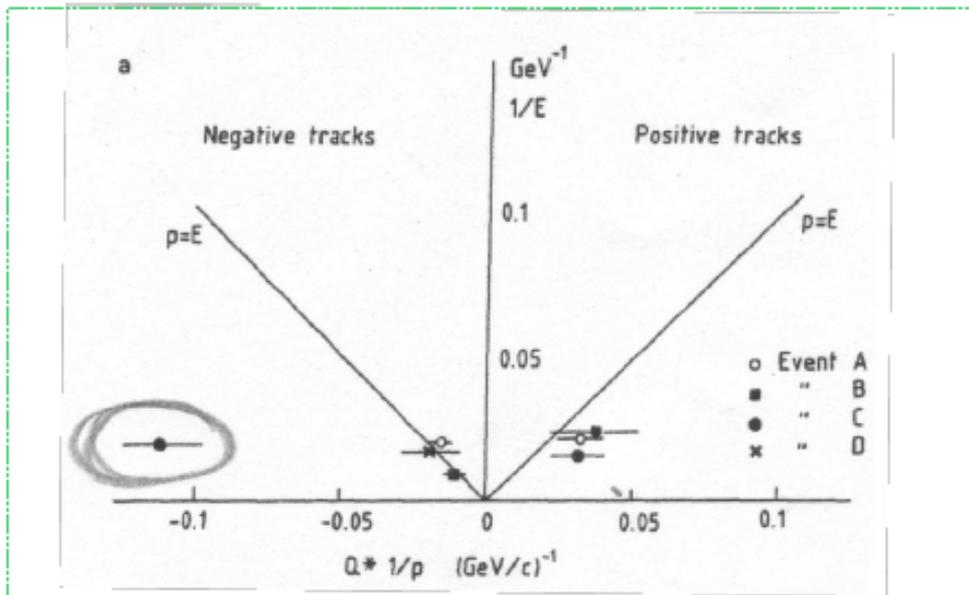


- ➔ Due depositi di energia elettromagnetica molto marcati;
- ➔ Bilancio E_T (no missing energy);
- ➔ Nell'evento b) è avvenuta la produzione associata di un jet

Rilascio di energia EM nel calorimetro centrale

Analisi eventi

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



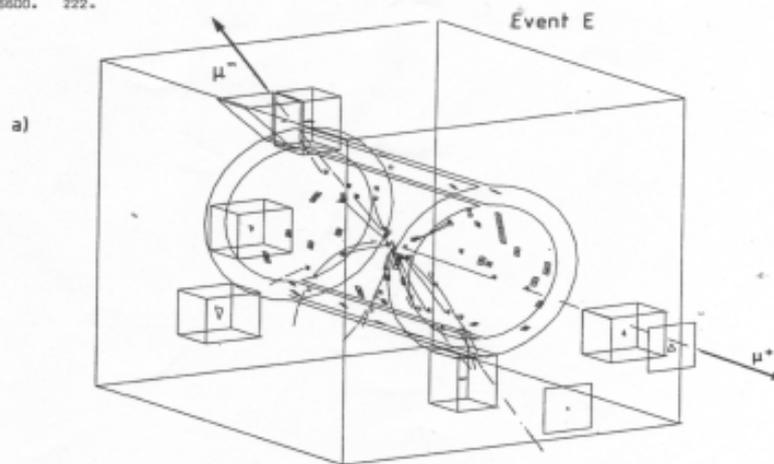
Deviazione magnetica in unità di $1/p$ rispetto all'energia depositata nel calorimetro EM

- ➔ Quasi tutti gli eventi hanno misure di energia e momento compatibili;
- ➔ L'evento C ha un momento molto piccolo, interpretato come dovuto a un processo di hard bremsstrahlung (probabilità che un elettrone irradi, emettendo più del 70% della sua energia è 1/4).

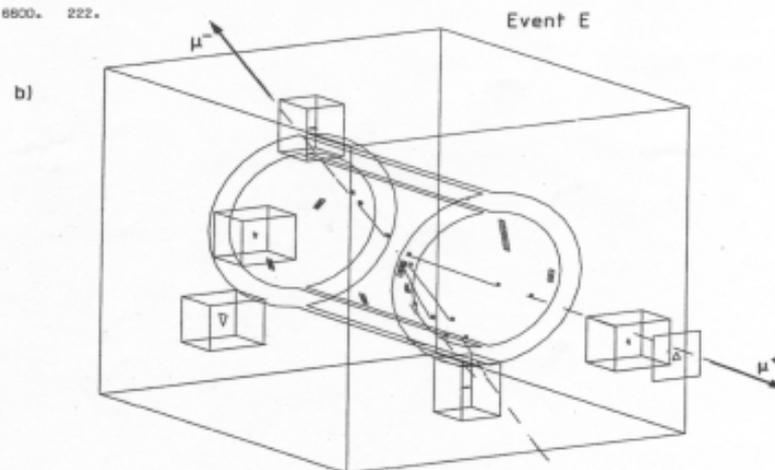
Analisi eventi

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

EVENT 8600. 222.



EVENT 8600. 222.



Analisi eventi

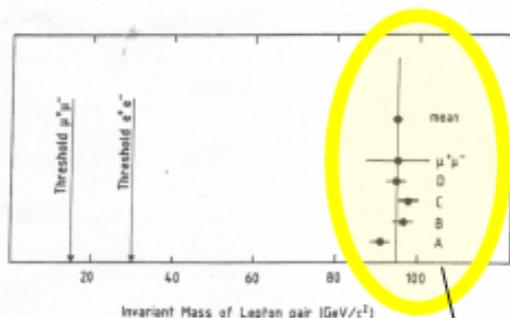


Fig. 8. Invariant masses of lepton pairs.

Run, event	Lepton pair properties			General event properties			
	Mass ^{a)} (GeV/c ²)	P_T (GeV/c)	x_F ^{b)}	E_{tot} (GeV)	$\sum E_T $ (GeV)	Missing E_T (GeV)	Charged tracks
A 7433 1001	91 ± 5	2.9 ± 0.9	0.02 ± 0.01	274	82	2.1 ± 3.6	27
B 7434 746	97 ± 5	7.9 ± 1.2	0.39 ± 0.01	494	149	9.3 ± 5.0	67
C 6059 1010	98 ± 5	8.0 ± 1.5	0.17 ± 0.01	412	143	3.3 ± 4.8	38
D 7339 1279	95 ± 5	8.4 ± 1.4	0.17 ± 0.01	493	157	0.8 ± 5.0	54
E $(\mu\mu)$ 6600 222	95 ± 8	24 ± 5	0.14 ± 0.02	$278^c)$	$128^c)$	$3.4 \pm 5.9^c)$	28

Tutti e 5 gli eventi selezionati sono compatibili con uno stesso valore di massa invariante

Analisi eventi

Fondi

- I fondi più ovvi (Drell-Yan) non presentano un clustering ad alte masse
- Jets di alto momento che frammentano in due tracce di alto p_T , apparentemente isolate che simulano sia elettroni che muoni. Effetto trascurabile.
- Jets di quarks pesanti che decadono elettrodebole producendo muoni o elettroni. Effetto trascurabile.



Tutti gli eventi (5) vengono interpretati come decadimenti della Z^0 .

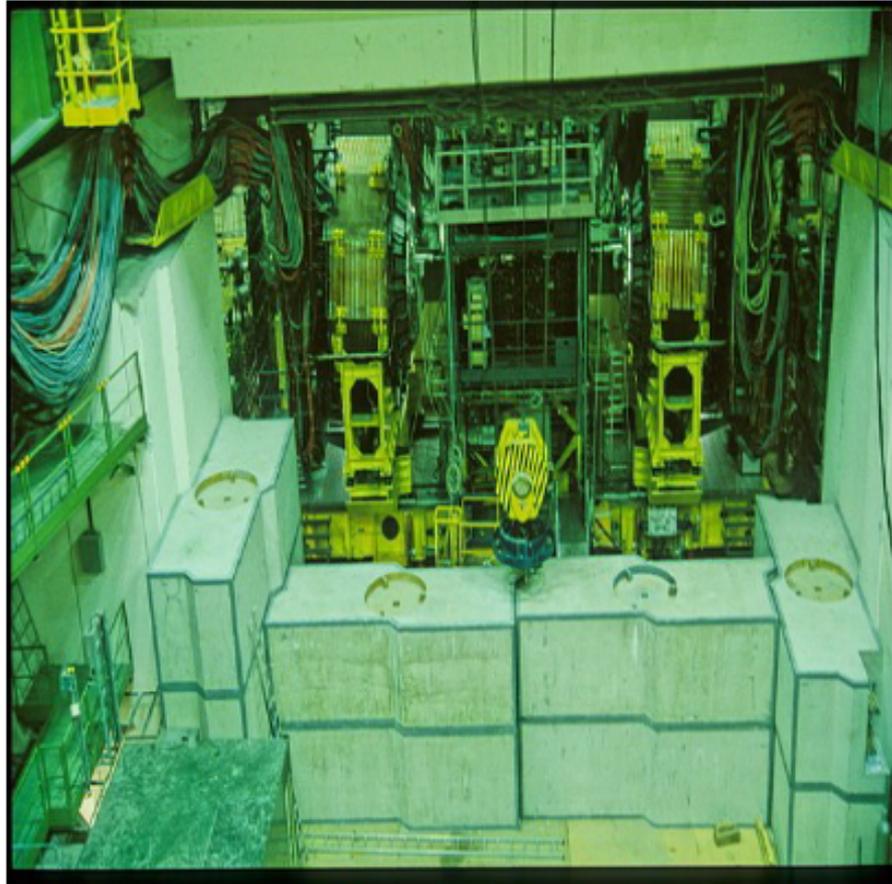
$$M_z = 95.2 \pm 2.5 \text{ GeV}/c^2$$

Incertezza sulla scala di energia (calibrazione calorimetri in progress)

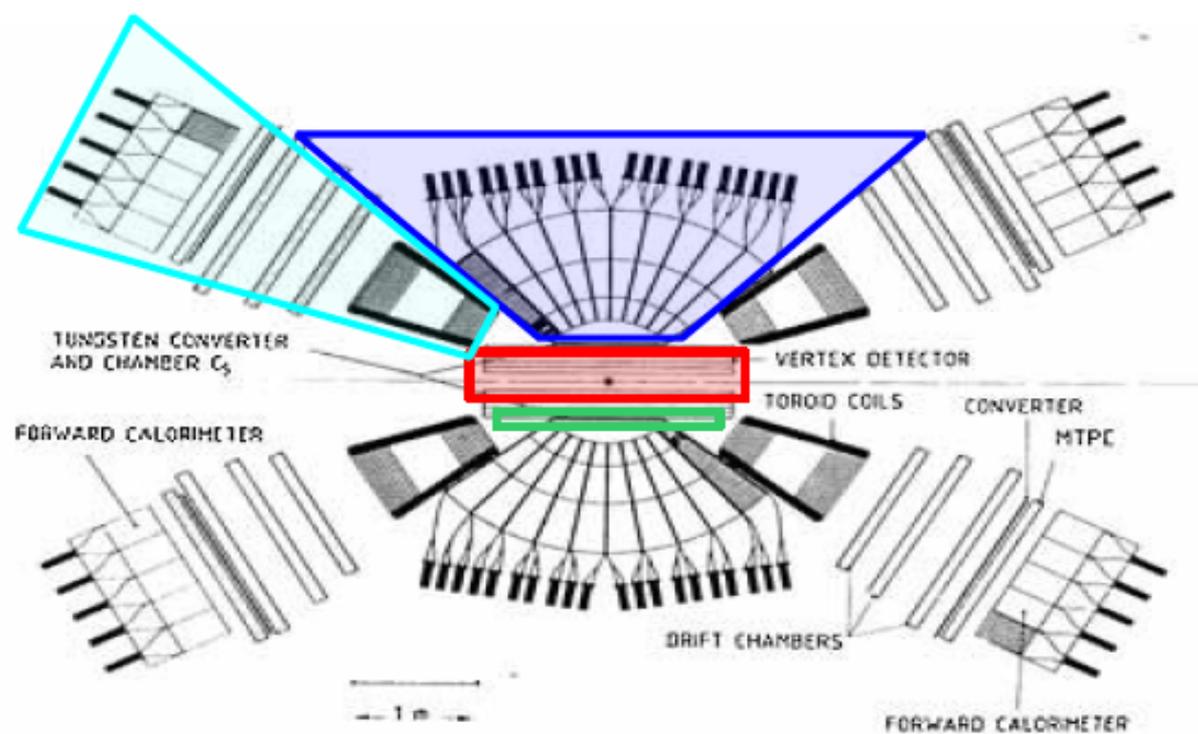
$$\Gamma_z = 3.1 \text{ GeV}/c^2$$

Compatibile con le attese e con la risoluzione sperimentale (3%)

UA2 – Underground Area 2

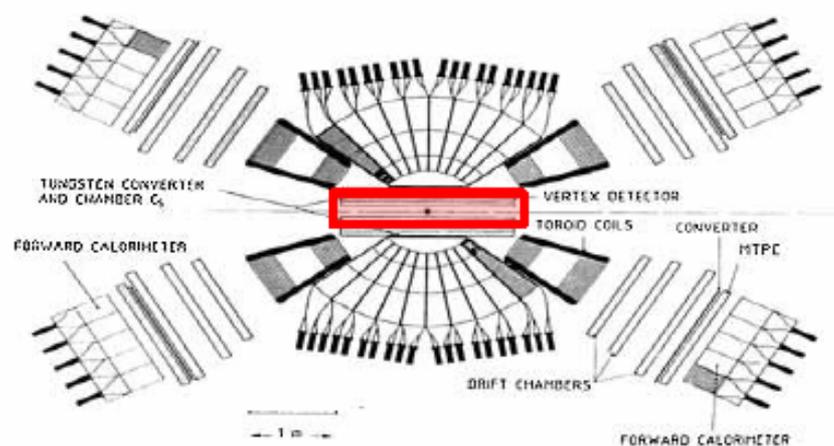


Il detector è non magnetico (non dotato di magneti per la misura dell'impulso delle tracce cariche) ed è stato originariamente pensato per la misura inclusiva degli stati finali. Nella sua prima versione sono presenti molti spettrometri. In un secondo momento è stato ripensato, aumentando l'ermeticità della calorimetria.



Vertex detector

Sistema di camere cilindriche che misura le **traiettorie** e la **ionizzazione** prodotta dalle particelle cariche in una regione senza campo magnetico e permette la ricostruzione del vertice dell'interazione.



Dettagli tecnici

- 2 camere a drift, con misura della distribuzione di carica su un totale di 12 fili;
- 4 camere proporzionali a multifili, con strips del catodo poste a $\pm 45^\circ$ rispetto ai fili.

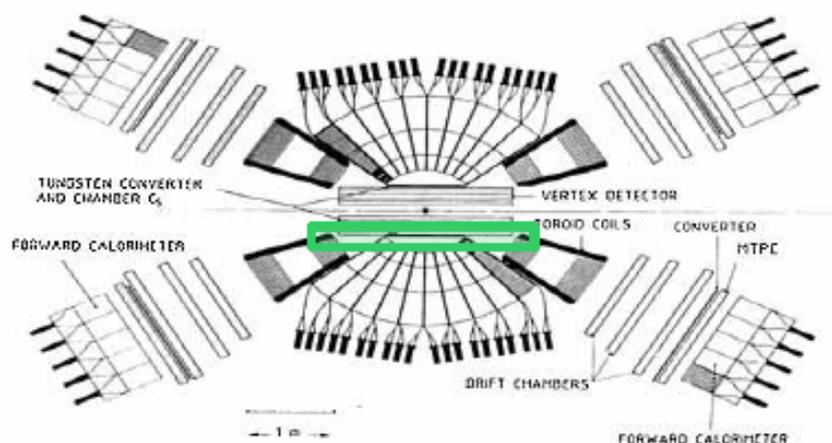
Precisione

Determinazione del vertice nelle direzione del fascio con incertezza di ± 1 mm

Camera C₅

Nella regione angolare centrale, subito dopo il vertex detector, è posto un convertitore cilindrico di Tungsteno, spesso 1.5 RL, seguito da una camera proporzionale cilindrica (C₅).

Tale dispositivo è un pre-shower detector, serve cioè alla misura degli sciame elettromagnetici iniziati prima della regione coperta dalla calorimetria



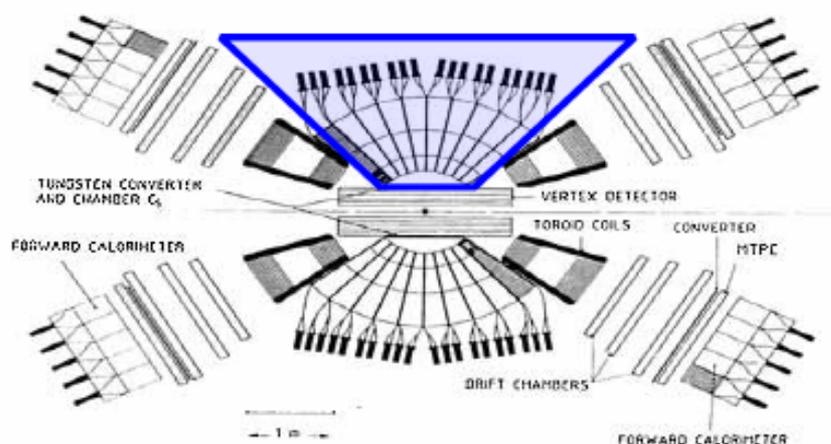
Dettagli tecnici

Le strip del catodo sono poste a $\pm 45^\circ$ rispetto ai fili. Si misura quindi l'altezza dell'impulso su di esse e la divisione di carica sui fili.

Precisione

Localizzazione degli sciame elettromagnetici con una precisione di 3 mm

Calorimetro centrale



Il calorimetro centrale è molto segmentato. La copertura angolare è la seguente:

- Angolo polare: $40^\circ < \theta < 140^\circ$;
- Angolo azimutale:
 - autunno 1982 (luminosità integrata 15 nb^{-1}): $30^\circ < \Phi < 330^\circ$. La rimanente regione era coperta da spettrometri magnetici con vetro al piombo per rivelare la produzione di particelle cariche e neutre
 - In un secondo momento la copertura azimutale della calorimetria centrale è stata completata.

Calorimetro centrale

Dettagli tecnici

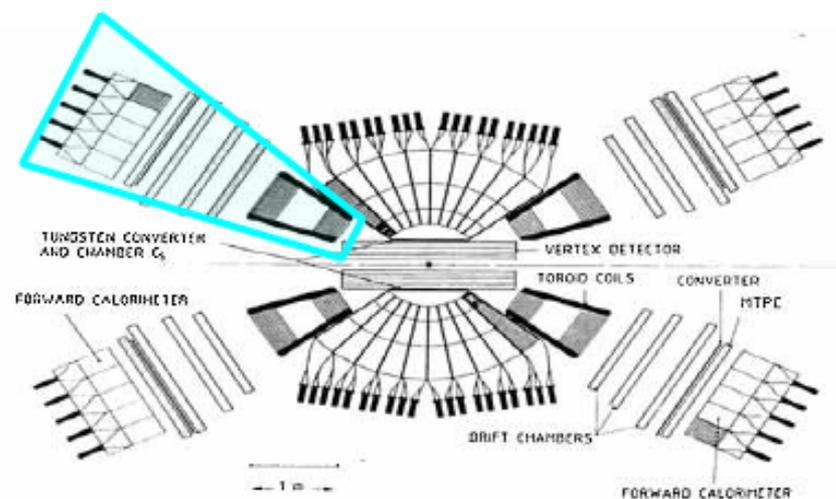
- costituito da 240 cellette (ciascuna copre una regione angolare di 15° in φ e di 10° in θ), organizzate in torri che puntano verso il centro della regione di interazione;
- Ogni torre è suddivisa in una parte EM (Piombo/scintillatore) profonda 17 RL, e in una adronica (Ferro/scintillatore) profonda 4 lunghezze di assorbimento.

Precisione

La risoluzione energetica per gli elettroni è data da $\Delta E/E = 0.14/[E(\text{GeV})]^{1/2}$.

Detector in avanti

E' suddiviso in 12 settori identici, con copertura angolare di 30° in Φ e 17.5° in θ .



Dettagli tecnici

- Magnete toroidale che fornisce un campo medio integrato di 0.38 Tm ;
- 3 camere a drift posizionate dopo la regione magnetica, con fili a -7° , 0° , $+7^\circ$ rispetto a B ;
- Un convertitore di Piombo-Ferro spesso 1.4 RL , seguito da 2 camere a tubi proporzionali, costituite da due strati di tubi ($d=20 \text{ mm}$);
- Calo EM costituito da contatori di Piombo-scintillatore, assemblati in 10 celle indipendenti (15° in Φ , 3.5° in θ). Ogni cella è suddivisa in 2 sezioni profonde 24 e 6 RL rispettivamente.

Precisione

- La localizzazione degli sciami EM è fatta con una precisione $<$ di 10 mm ;
- La risoluzione energetica per elettroni è pari a $\Delta E/E=0.15/[E(\text{GeV})]^{1/2}$

Selezione eventi

Acquisizione dati

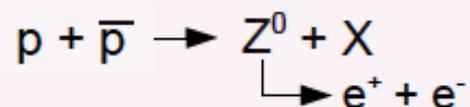
- Guadagno dei fotomoltiplicatori di tutti i calorimetri: proporzionale a E_T ;
- Date le dimensioni delle cellette, uno sciame iniziato da un elettrone può occuparne più di una, quindi vengono sommati linearmente i segnali di ciascuna matrice 2×2 di celle. Nel calo centrale sono considerate tutte le possibili matrici 2×2 , in quello in avanti solo quelle fatte di celle che appartengono allo stesso settore.

SEGNALE DI TRIGGER QUANDO:

Deposito in energia trasversa maggiore di **3.5 GeV**, in almeno due matrici di celle, separate in **azimuth** di almeno **60°**

Selezione eventi

Acquisizione dati

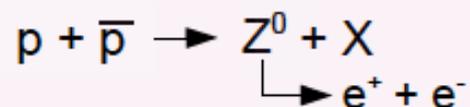


1. Rimozione eventi **non** provenienti dalla collisione

sono circa il 10%, originati da raggi cosmici e beam-gas background

Selezione eventi

Acquisizione dati



1. Rimozione eventi **non** provenienti dalla collisione

2. Identificazione della **presenza** di un **elettrone**

- a) Misura di una **traccia** nelle camere a fili;
- b) Grande segnale nei **pre-shower** detector (C_5 o MTPC);
- c) Rilascio di **energia nei calorimetri**, con piccola estensione laterale e mancanza di penetrazione nella parte adronica;
- d) Qualità del **matching spaziale** dei tre punti precedenti.

Cluster

Calorimetro centrale

Ottenuto unendo tutte le celle elettromagnetiche che hanno un lato in comune e un deposito di energia di almeno 0.5 GeV. Va aggiunto il contributo delle celle che hanno un lato in comune con le celle del cluster.

Calorimetro in avanti

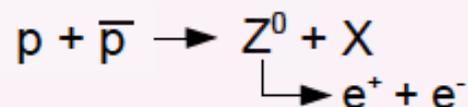
Al massimo due celle adiacenti che hanno lo stesso azimuth (le celle sono più distanti dal punto di interazione e più grandi. Inoltre la regione morta fra due celle con azimuth diverso è troppo grande per poterle connettere)

Caratteristiche del cluster

- *Centroide* del cluster: centro del deposito di energia;
- *Grandezza* del cluster: R_ϕ , R_θ calcolati dal centroide e dai valori degli angoli Φ e θ ai centri della cella pesati con l'energia deposta nella cella;
- *Energia*: $E_{cl} = E_{em} + E_{had}$;
- *Massa invariante*: calcolata assumendo il vertice dell'evento al centro dell'apparato;
- *Componente adronica*: $H = E_{had} / E_{cl}$.

Selezione eventi

Acquisizione dati



1. Rimozione eventi **non** provenienti dalla collisione

2. Identificazione della **presenza** di un **elettone**

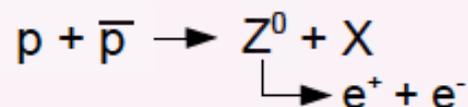
3. **Taglio in energia** in base alle previsioni della massa della Z

4. **Ricostruzione completa** degli eventi sopravvissuti ai tagli 1-2-3

- a) Calcolo della massa invariante dell'evento tenendo conto della posizione esatta del vertice (differenza intorno a 2 GeV);
- b) Il campione di eventi è dominato da eventi a 2 jets.

Selezione eventi

Acquisizione dati



1. Rimozione eventi **non** provenienti dalla collisione

2. Identificazione della **presenza** di un **elettrone**

3. **Taglio in energia** in base alle previsioni della massa della Z

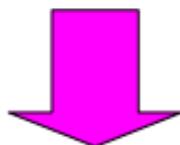
4. **Ricostruzione completa** degli eventi sopravvissuti ai tagli 1-2-3

5. Criterio per **rigettare i jets**

- a) Calo centrale: $R_\phi, R_\theta < 0.5$ (rispetto grandezza della cella); $H < 0.023 \pm 0.034 \times \ln(E_{cl})$;
- b) Calo in avanti: cluster compreso in 2 celle; deposito di energia nelle celle adiacenti < 3 GeV; $H < 0.02$.

Eventi selezionati

- Tempo di presa dati: 1982-1983;
- Luminosità integrata: **131 nb⁻¹**;
- Energia disponibile nel CMS : 550 GeV.



12 eventi con 2 elettroni nella regione centrale

8 eventi con un elettrone nella regione in avanti

4 eventi con 2 elettroni nella regione in avanti

Analisi eventi

I tagli applicati fin qui sono poco restrittivi (dai dati dei test del fascio: soddisfatti dal 95% degli elettroni isolati). Vediamo cosa succede applicando dei tagli più selettivi.

REQUIREMENTS	CENTRAL REGION		FORWARD REGIONS	
	Description	$\eta(\%)$	Description	$\eta(\%)$
1. Presence of a calorimeter cluster (preselection)	Electromagnetic cluster size $R_{\theta, \phi} < 0.5$ Hadronic leakage : $H < .023 + .034 \ln E_{cl}$	98	Cluster size ≤ 2 cells Energy in adjacent cells $E_{adj} < 3 \text{ GeV}$ Hadronic leakage $H < 0.02$	98
2. Presence of a track	Reconstructed in the vertex detector in both transverse and longitudinal projections	85	Reconstructed a) in the vertex detector in transverse projection with $N \geq 1$ signal in the two inner chambers b) in the forward drift chambers. Azimuth difference between a) and b) $\Delta\phi(a,b)$ less than 40 mrad	92
3. Track/cluster match	Track impact to cluster centroid distance $\Delta < 1$ cell size. Compare the energy distribution observed in the 3×3 cells centered on the impact cell to that expected for an electron incident along the track. Light sharing between phototubes of impact cell and hadronic leakage are taken into account. Require that the probability P that the energy distribution for an electron is farther from the mean than that observed is larger than 0.01	95	Shower position calculated from light sharing between impact cell phototubes must be consistent with the track impact point to within $\Delta x \leq 70 \text{ nm}$	98
4. Presence of a preshower counter signal	Measured in C5 as a coincidence in space of charge clusters measured on the anode wires and the inner and outer cathode strips. Its charge q_5 must exceed 4 mip.	>90	Measured in MTPC in both coordinate planes. Its charge $Q(\text{MTPC})$ must exceed 6 mip	95
5. Track/preshower position match	Within $d \leq 7 \text{ mm}$ measured on the C5 surface	94	Within $\Delta x, \Delta y < 50 \text{ mm}$ in each direction	100
6. Momentum measurement			Momentum p measured in spectrometer and energy E measured in calorimeter must satisfy $ p^{-1} - E^{-1} / \sigma(p^{-1} - E^{-1}) < 3$	99

Analisi eventi

Nota sul taglio n.3: matching fra il cluster e la traccia

La quantità Δ è definita come: $\Delta^2 = (\delta\Theta/10^\circ)^2 + (\delta\Phi/15^\circ)^2$

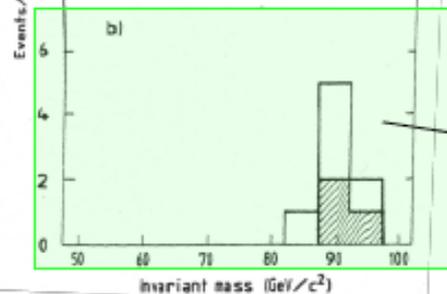
dove $\delta\Theta$ e $\delta\Phi$ sono la separazione angolare fra la traccia e la linea che collega il vertice dell'evento e il centroide del cluster. Per avere un buon matching si richiede che la traccia con Δ minimo abbiamo $\Delta^2 < 1$ e che non ci siano tracce cariche in un cono di apertura 10° attorno ad essa.

Analisi eventi

1. Richiesta che almeno uno dei due cluster superi **tutti i tagli** in tabella



24 eventi (taglio 1)



8 eventi (almeno un cluster: tutti i tagli)

Per i cluster che superano il taglio 3 (matching): l'energia è stata corretta per tenere conto della risoluzione del calorimetro in funzione dell'angolo di incidenza e del punto di impatto nella traccia. La **massa invariante** è stata calcolata tenendo conto della direzione della traccia

Event	A	B	C	D	E	F	G	H
Pair Configuration C = central F = forward	CF	CC	CF	CF	CF	CC	CC	CC
Pair Mass (GeV/c^2)	90.7 ± 2.1	95.2 ± 3.4	89.7 ± 2.8	89.1 ± 3.2	94.0 ± 2.9	89.3 ± 4.9	83.2 a) ± 2.6	88.3 a) ± 2.6
Pair Transverse Momentum (GeV/c)	5.0	11.9	1.4	2.4	4.6	5.0	7.9	6.2

Analisi eventi

1. Richiesta che almeno uno dei due cluster superi **tutti i tagli** in tabella: 8 eventi.

2. Stima del fondo



Consideriamo un campione di eventi più ricco:

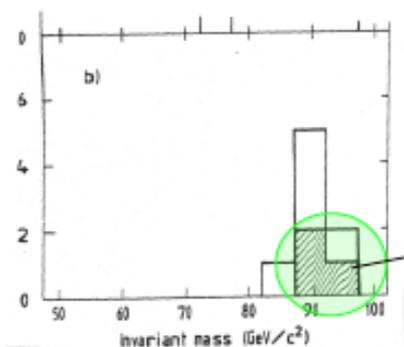
1. Applichiamo il taglio 1 solo ad uno dei due cluster
2. Valutiamo il potere di reiezione degli altri tagli sull'altro cluster (posso trattare i due cluster separatamente perchè ho precedentemente verificato che non sono correlati);
3. Otteniamo una stima del fondo, nell'ipotesi che la sua distribuzione in massa sia la stessa prima e dopo i tagli, pari a **0.03 eventi**

Analisi eventi

1. Richiesta che almeno uno dei due cluster superi **tutti i tagli** in tabella: 8 eventi.

2. Stima del **fondo**: 0.03 eventi.

3. Richiesta che **entrambi** i cluster soddisfino **tutti i tagli** in tabella



3 eventi (tutti i tagli)
fondo: 2×10^{-4} eventi, per $M > 80$ GeV

Analisi eventi

I 5 eventi, per cui uno solo dei due cluster soddisfa tutti i tagli in tabella, sono stati analizzati accuratamente e si è visto che:

- 2 di questi eventi sono consistenti con l'ipotesi di una coppia di elettroni (uno dei quali non presenta una misura accurata dell'energia, perchè cade nel magnet coil);
- 3 di questi hanno un cluster che non soddisfa il terzo taglio (matching cluster-traccia) e sono inconsistenti con l'ipotesi di una coppia di elettroni; potrebbero essere eventi provenienti da altri decadimenti della Z ($Z \rightarrow jj$)

La misura della massa della Z è quindi fatta tenendo conto di 4 eventi.

$$M_Z = 91.9 \pm 1.3 \pm 1.4 \text{ GeV}/c^2$$

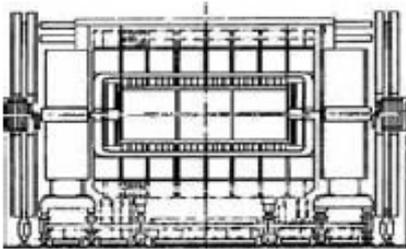
Errore di misura

Incertezza sulla scala energetica complessiva

$$\Gamma_Z = 2.6 \text{ GeV}/c^2$$

Compatibile con le attese e con la risoluzione sperimentale (3%)

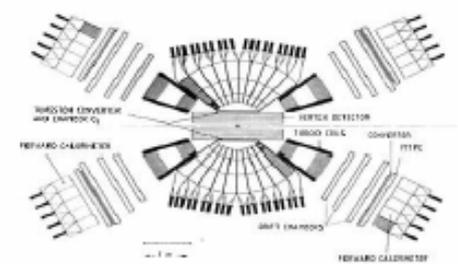
Riassumendo...



UA1

- **Magnete** : possibilità di distinguere carica positiva/negativa e cross check fra momento misurato nel tracking ed energia misurata nei calorimetri;
- **Calorimetria ermetica** (fino a 0.2° dalla beam pipe), ma poca granularità (ognuno dei 48 moduli copre circa 180° in Φ ed è lungo 22.5 cm nella direzione del fascio);
- **Camere per i muoni**: possibilità di identificare anche Z^0 in $\mu^+\mu^-$;
- **Identificazione degli elettroni** basata sia sulle informazioni calorimetriche sia sulla deviazione della traccia in campo magnetico

UA2

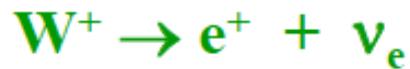


- **No magnete** : impossibilità di distinguere carica positiva/negativa
- **Calorimetria**: in origine poco ermetica (θ : $20^\circ \div 160^\circ$), ma con maggiore granularità ($\Delta\Phi \times \Delta\theta = 15^\circ \times 10^\circ$);
- **Presenza di spettrometri** per la misura inclusiva degli stati finali;
- **No camere per muoni**: no ricerca decadimento Z^0 in $\mu^+\mu^-$;
- **Identificazione degli elettroni** basata sulle caratteristiche dello sciame elettromagnetico nel calorimetro e sulle informazioni dei pre-shower detector

LA SCOPERTA DEL W

Si misurano gli stati finali del decadimento di W in elettrone neutrino o muone neutrino

⇒ **decadimenti leptonici:**



(UA1, UA2)



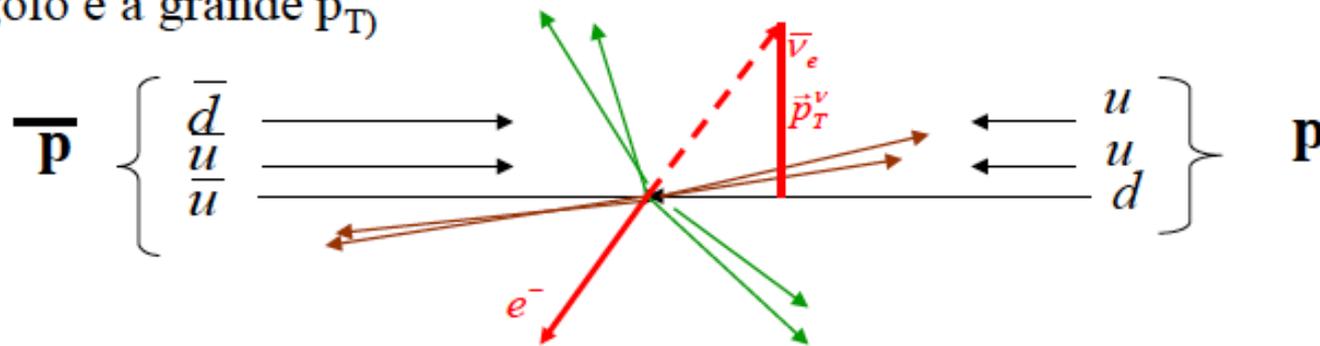
(solo UA1)

(analogamente per i W^-)

Segnale da $W \rightarrow e \nu$:

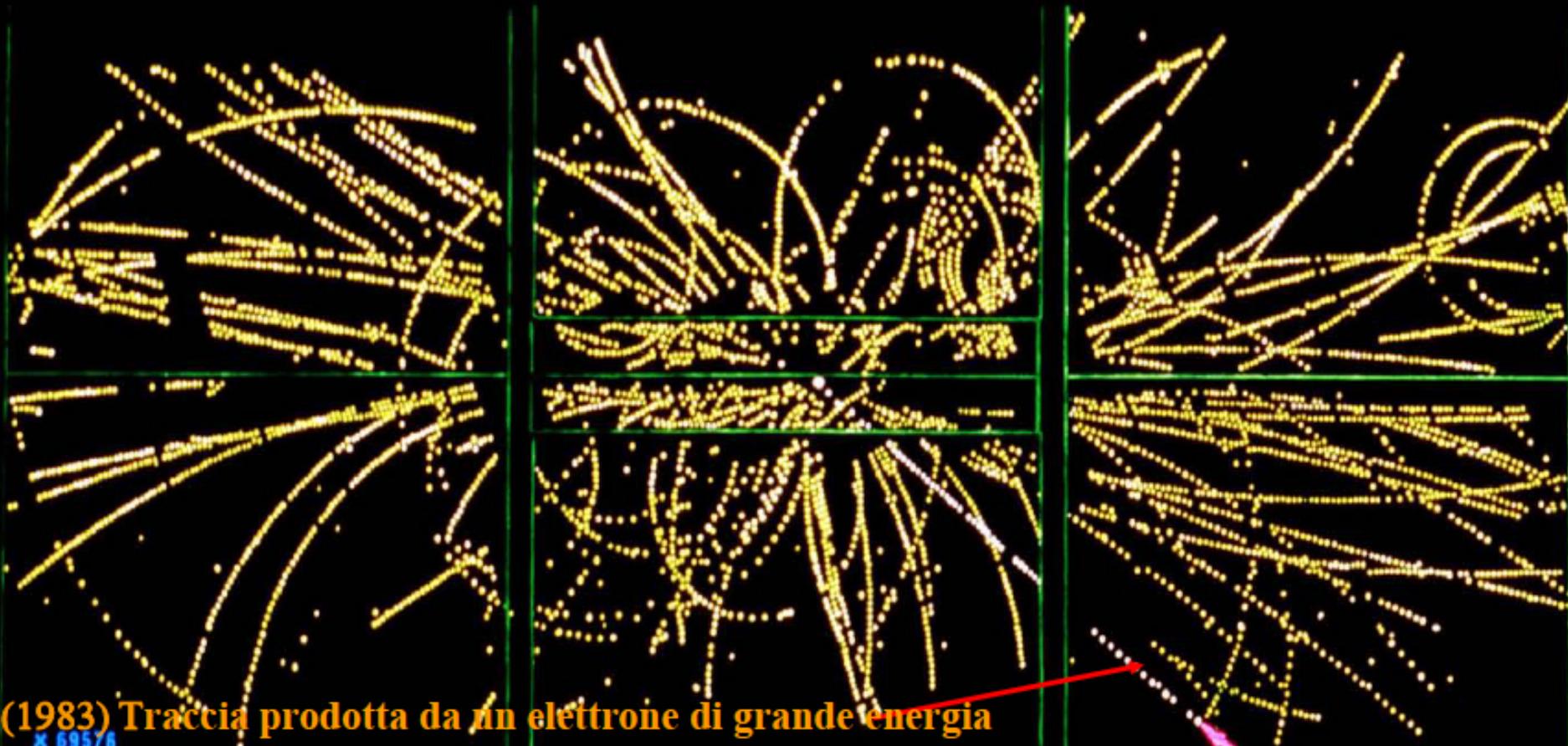
1. **un elettrone isolato con grande impulso trasverso: $p_{Te} \sim m_W/2$**
 - **la distribuzione in p_T ha un max a $m_W/2$ (“picco Iacobiano”)**
 - **grande impulso trasverso “mancante” dal neutrino non misurato: $p_{T\nu} \sim m_W/2$**

(W e' prodotto dall'annichilazione di quark-antiquark collineari, e.g. $\bar{u} + d \rightarrow W^-$, con l'asse dei fasci quindi l'elettrone e il neutrino del decadimento emessi a grande angolo e a grande p_T)



NOTA

L'impulso longitudinale mancante non puo' essere misurato a causa delle molte particelle di grande energia prodotte nell'interazione che sono emesse nel tubo a vuoto dell'acceleratore e quindi non misurabili

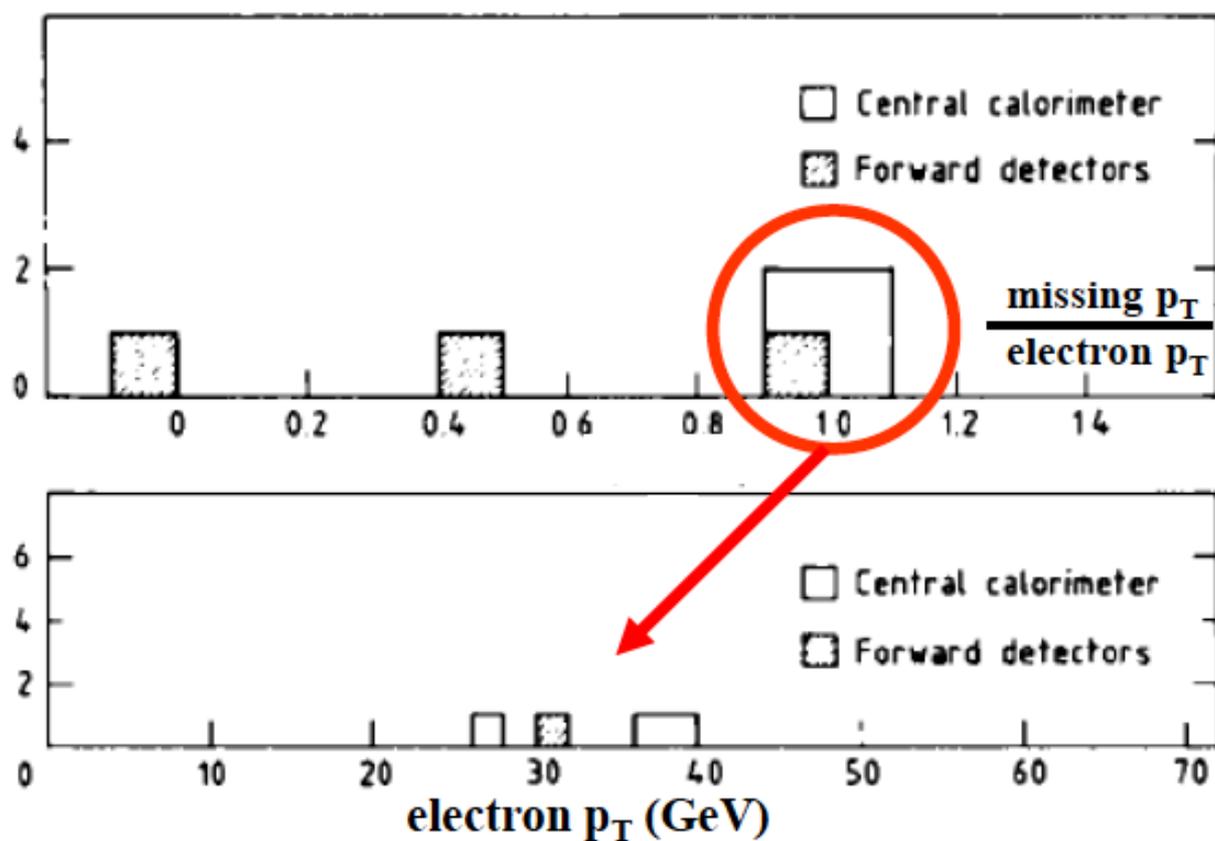


(1983) Traccia prodotta da un elettrone di grande energia
dal decadimento di una particella chiamata W
necessaria per il completamento della teoria di Fermi
delle interazioni deboli

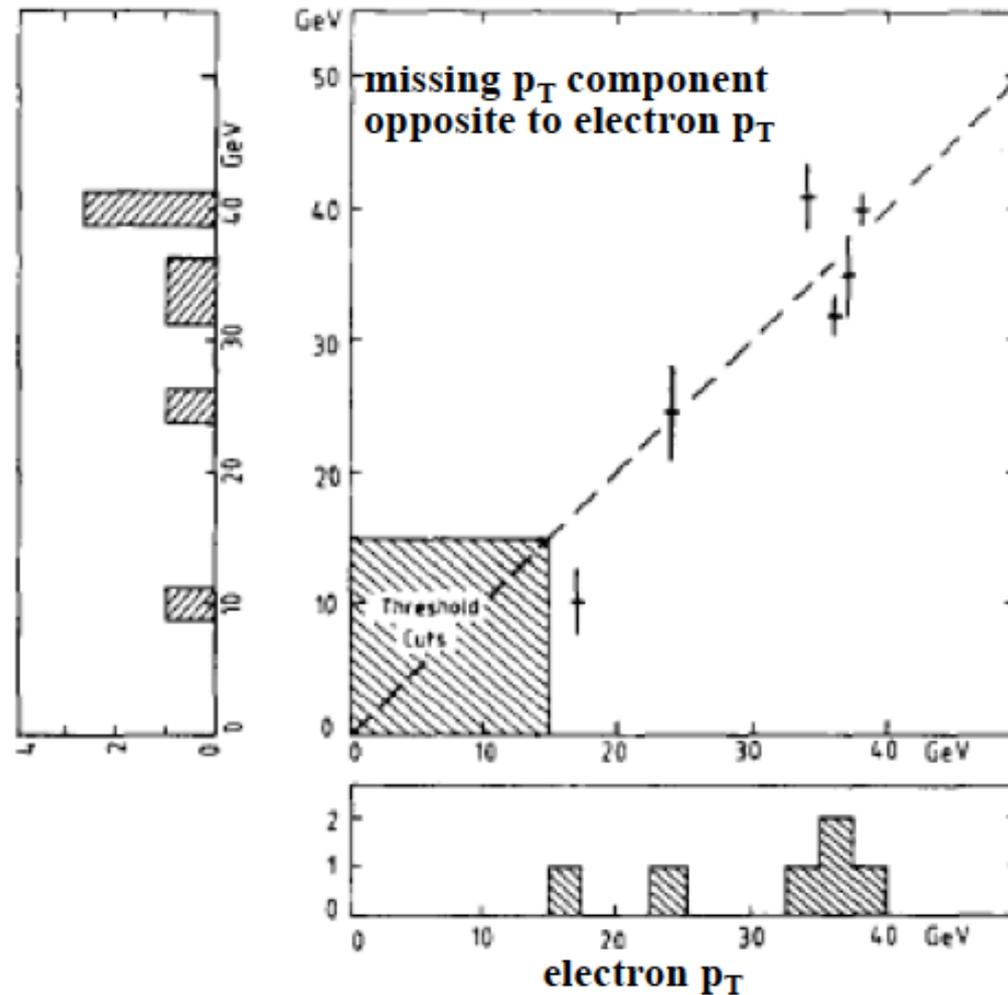
X 69576

UA2: risultato presentato al CERN 21 gennaio, 1983

Sei eventi con un elettrone con $p_T > 15$ GeV



UA1: correlazione tra p_T dell'elettrone e p_T mancante



Sei eventi con p_T elettrone grande bilanciato con grande p_T mancante consistente con il decadimento $W \rightarrow e \nu$
(Seminario al CERN del 20 gennaio, 1983)

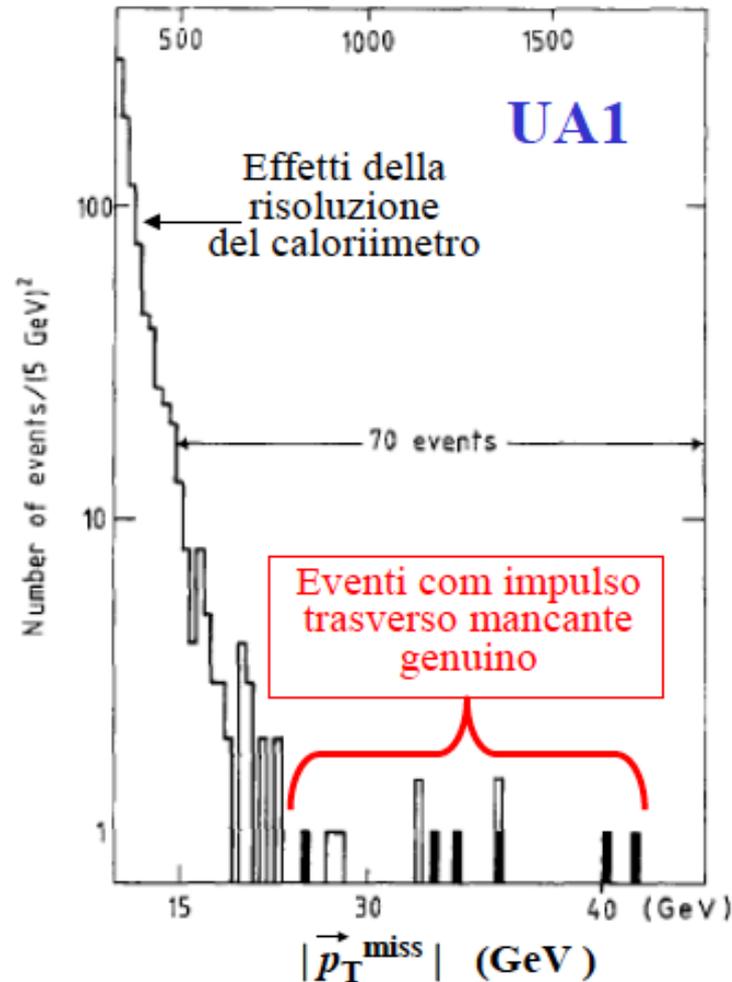
Impulso trasverso mancante (\vec{p}_T^{miss})

- L'impulso totale \vec{p} dell'evento (contributi neutri e carichi) si costruisce con il contributo delle varie celle del calorimetro con deposito > 0

- **Definizione:**

$$\vec{p}_T^{\text{miss}} + \sum_{\text{cells}} \vec{p}_T = 0$$

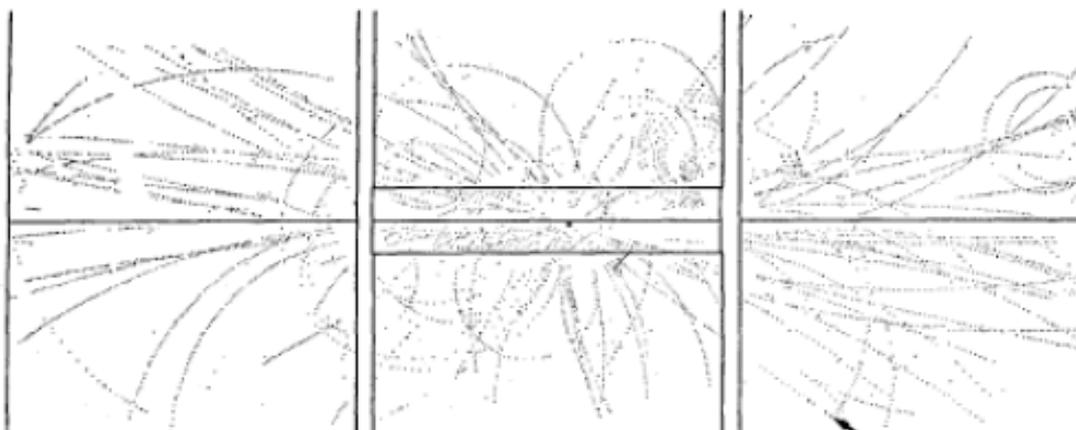
(conservazione dell'impulso nel piano perpendicolare all'asse del fascio)



Sei eventi contengono un elettrone di grande impulso trasverso.

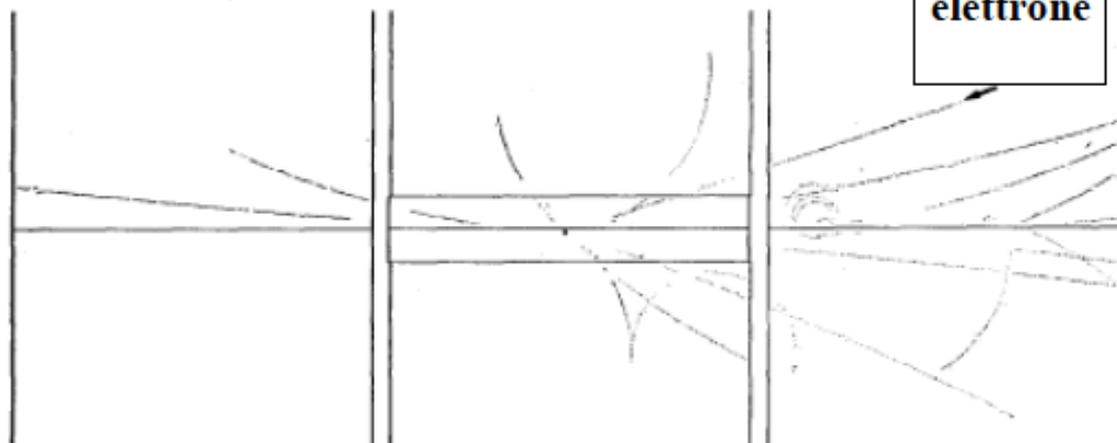
Due eventi $W \rightarrow e \nu$ di UA1

EVENT 2058. 1279.



elettrone

EVENT 4017. 838.



elettrone

$$W^- \rightarrow e \bar{\nu}$$

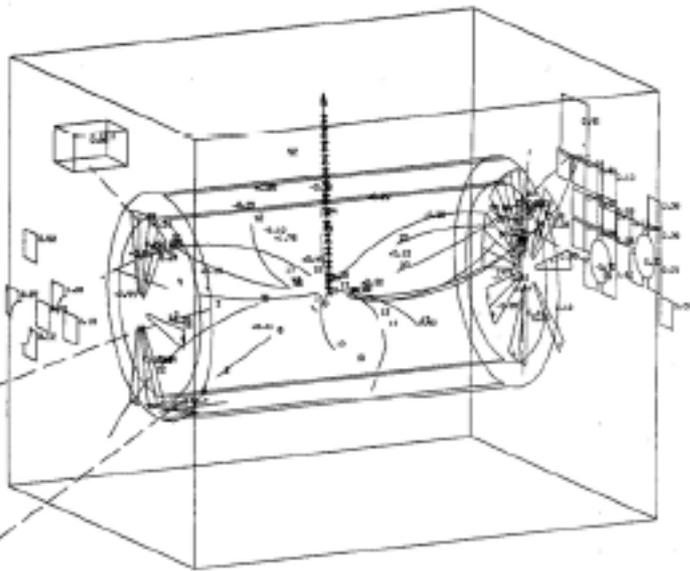


Fig. 16a. Event of the type $W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$. All tracks and calorimeter cells are displayed.

$$p_T > 1 \text{ GeV}/c$$

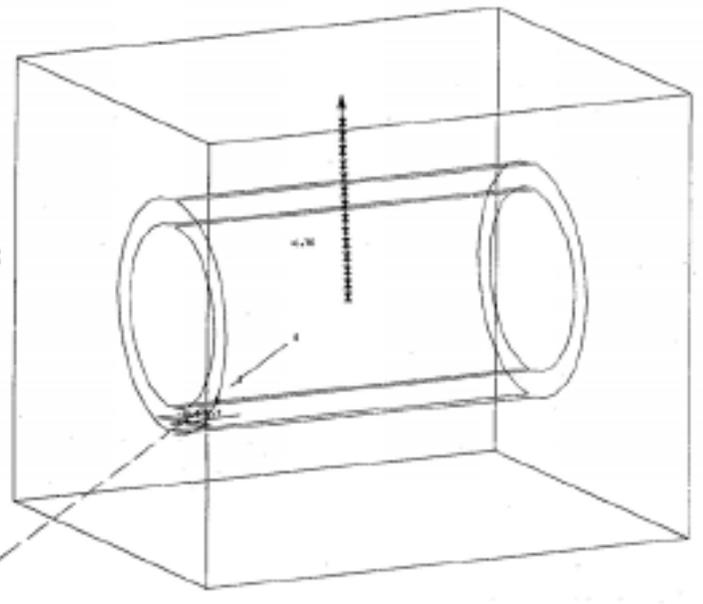
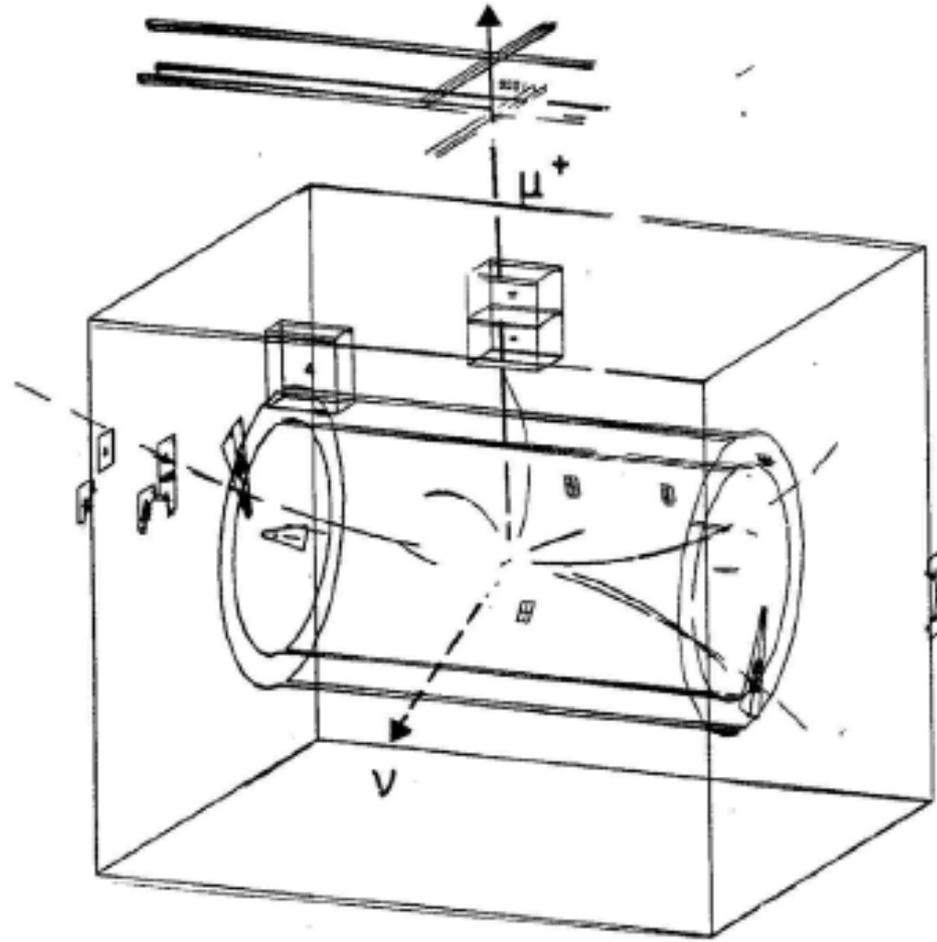
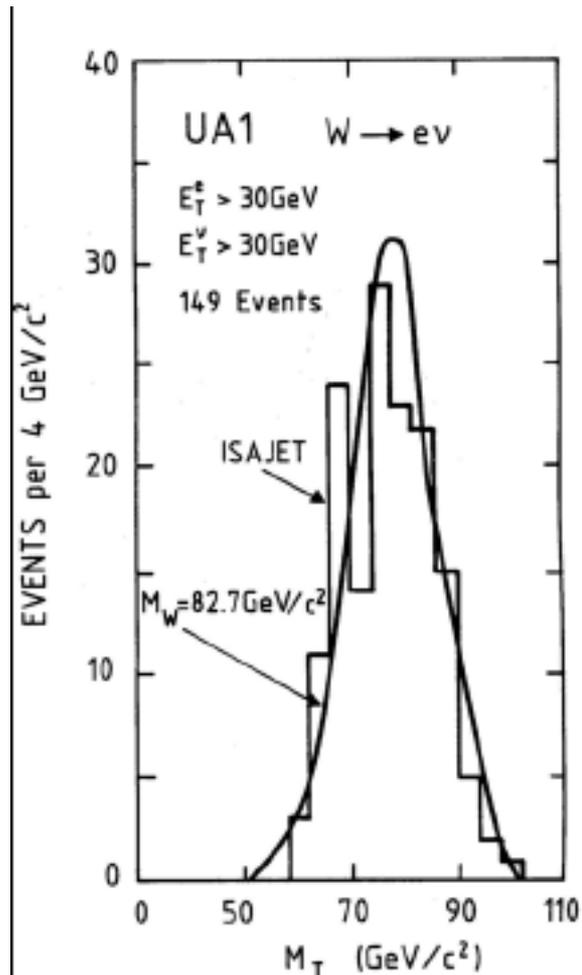


Fig. 16b. The same as picture (a), except that now only particles with $p_T > 1 \text{ GeV}/c$ and calorimeters with $E_T > 1 \text{ GeV}$ are shown.

UA1 evento $W \rightarrow \mu\nu$

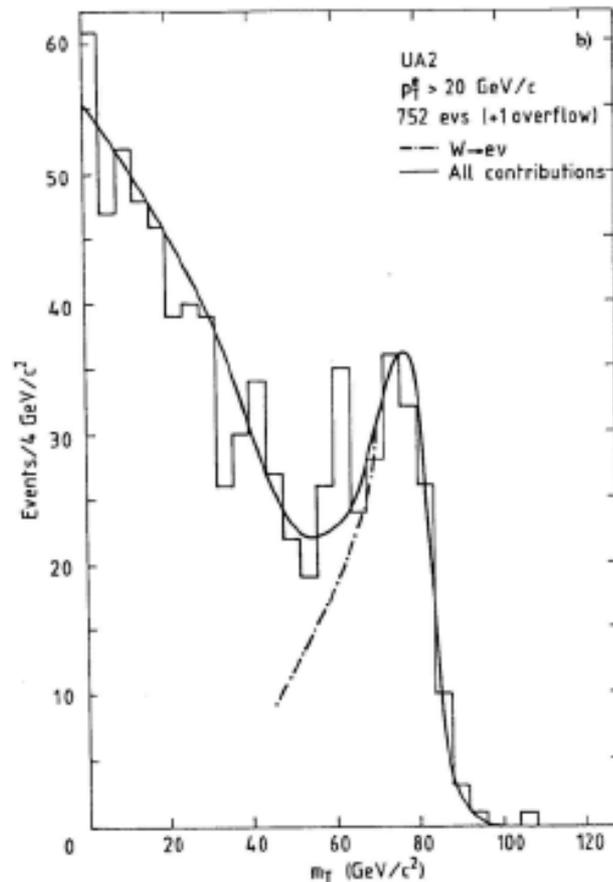


Massa W



$$M_W = 83,5 \pm 2,8 \text{ GeV}$$

$$\Gamma_W \leq 6,5 \text{ GeV}$$



$$M_W = 80,43 \pm 0,05 \text{ GeV}$$

$$\Gamma_W = 2,1 \pm 0,1 \text{ GeV}$$

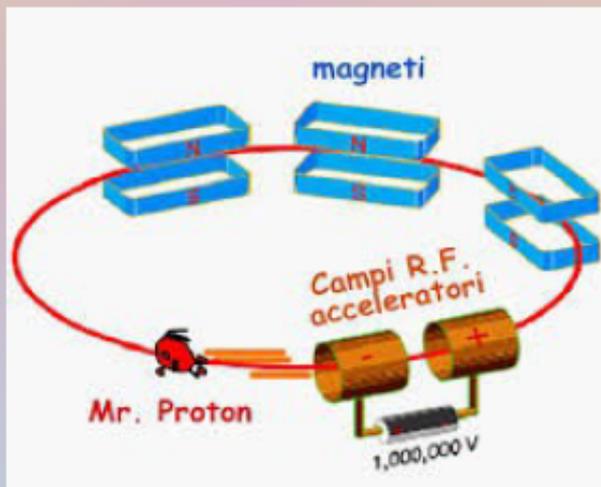
Un po' di storia

1971

1984

timeline.web.cern.ch

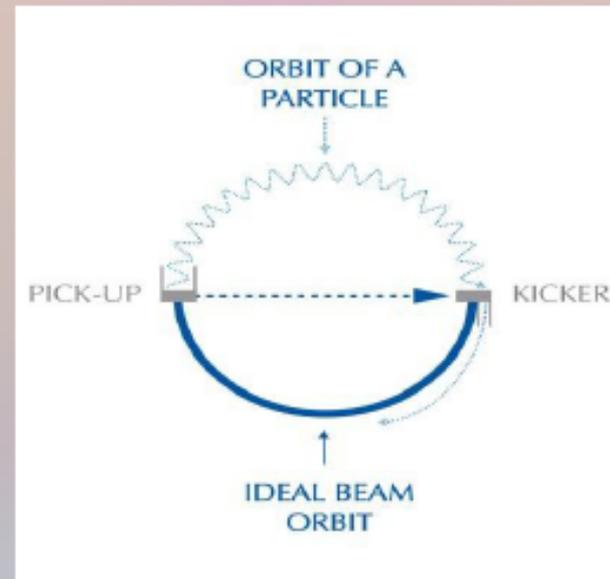
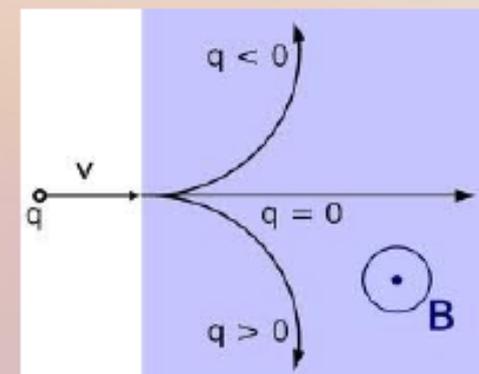
- IL CERN costruisce l'SPS (Super Proto Sincrotrone)
- Questo è progettato per fornire protoni da 400 GeV per applicazioni a bersaglio fisso
- La costruzione ha inizio il 19 Febbraio 1971



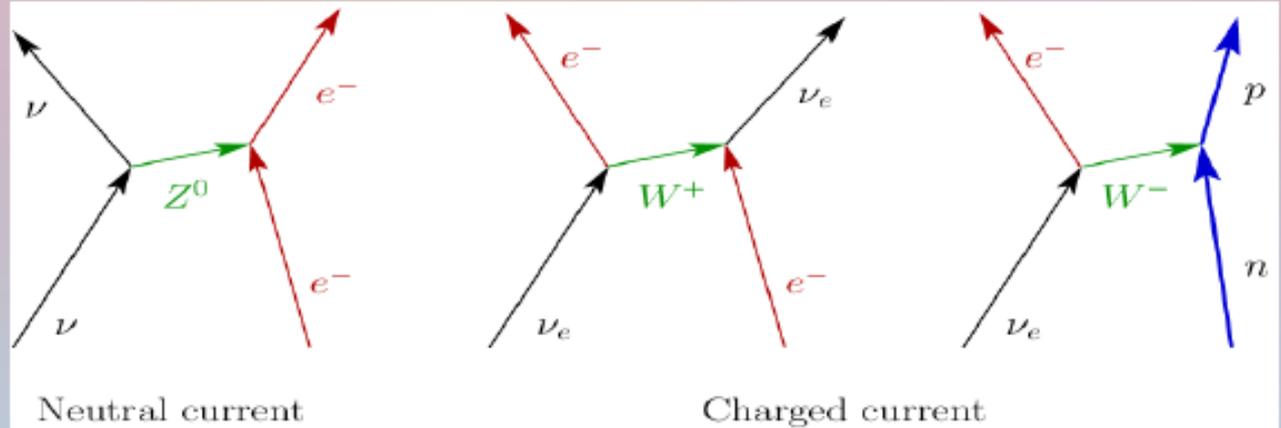
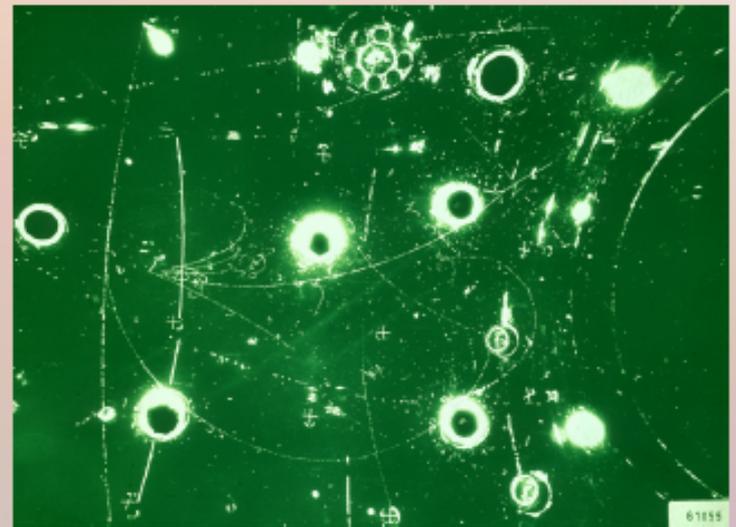
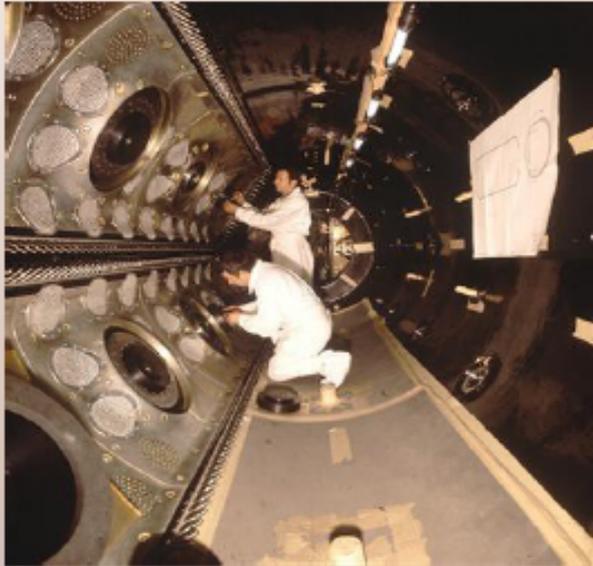


timeline.web.cern.ch

- Lo stesso anello a vuoto che ospita i protoni nell'SPS puo' ospitare contemporaneamente un fascio di anti-protoni che viaggia nella direzione opposta (legge di Lorentz!)
- SPS puo' quindi diventare un collisionatore p-anti-p
- Ma affinche' le collisioni possano avvenire con un'intensita' utile e' necessario che il fascio di anti-protoni sia "raffreddato"
- Nel 1972 Simon van der Meer scrive il lavoro sul raffreddamento stocastico

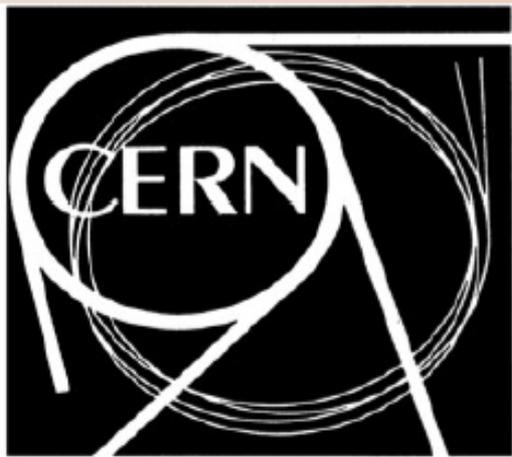


1973: scoperta correnti deboli neutre





timeline.web.cern.ch



**communiqué
de
presse

press
release**

SERVICE DE L'INFORMATION
DU PUBLIC
CERN 1211 GENÈVE 23 SUISSE

TEL. (022) 41 98 11
INT. 27 89 - 41 01
TELEX 2 36 98

PUBLIC INFORMATION OFFICE
CERN 1211 GENEVA 23 SWITZERLAND

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00054495

CERN 25 March 1976
PR...76/ 16

please turn over for complete
text of Press Release on :

CERN BEGINS COMMISSIONING ITS NEW 400 GeV ACCELERATOR
=====



- Il 17 giugno l'SPS raggiunge l'energia di progetto
- 10 gg prima alla conferenza internazionale sui neutrini di Aachen, Carlo Rubbia, Peter McIntyre e David Cline suggeriscono di trasformare l'SPS in un collisore

APPENDIX A

Producing Massive Neutral Intermediate Vector
Bosons with Existing Accelerators^(*)

C. Rubbia and P. McIntyre
Department of Physics
Harvard University
Cambridge, Massachusetts 02138

and

D. Cline
Department of Physics
University of Wisconsin
Madison, Wisconsin 53706

Cosa cambia? Il centro di massa e' fermo nel laboratorio. L'energia e' tutta* disponibile per creare nuove particelle, l'energia nel sistema del centro di massa da $\sqrt{2EM}$ diventa $2E$

* conta quella effettiva dei quark e non quella dei protoni/anti-protoni



timeline.web.cern.ch

- Nel periodo 1976-1978 il raffreddamento stocastico viene testato con un esperimento dedicato (Initial Cooling Experiment)
- Nel giugno 1978 il CERN Research Board approva la proposta di Rubbia e Collaboratori (Aachen, Annecy LAPP, Birmingham, CERN, Helsinki, Queen Mary College London, Collège de France Paris, Riverside, Rome, Rutherford, Saclay, Vienna e Wisconsin) per la realizzazione dell'esperimento UA1



Nel frattempo...



timeline.web.cern.ch



The Nobel Prize in Physics 1979

Sheldon Glashow, Abdus Salam, Steven Weinberg

The Nobel Prize in Physics 1979



Sheldon Lee Glashow



Abdus Salam



Steven Weinberg

The Nobel Prize in Physics 1979 was awarded jointly to Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam and Steven Weinberg *"for their contributions to the theory of the unified weak and electromagnetic interaction between elementary particles, including, inter alia, the prediction of the weak neutral current"*.



timeline.web.cern.ch

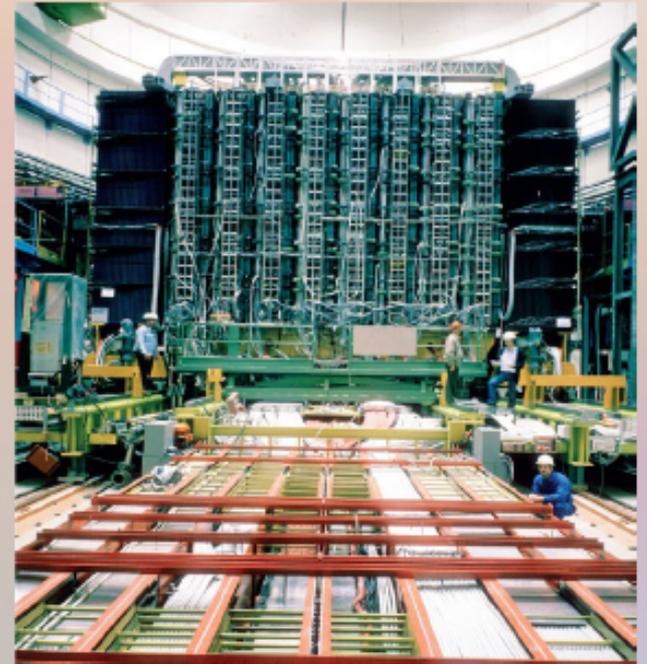
- 3 luglio: Vengono iniettati i primi protoni nell'accumulatore di anti-protoni AA. Successivamente sono state invertite le polarità dei magneti e sono stati accumulati e raffreddati i primi fasci di anti-protoni





timeline.web.cern.ch

- 7 luglio: Vengono accelerati i primi anti-protoni nell'SPS, fino a 270 GeV
- 10 luglio: il rivelatore UA1 osserva le prime collisioni tra protoni e anti-protoni

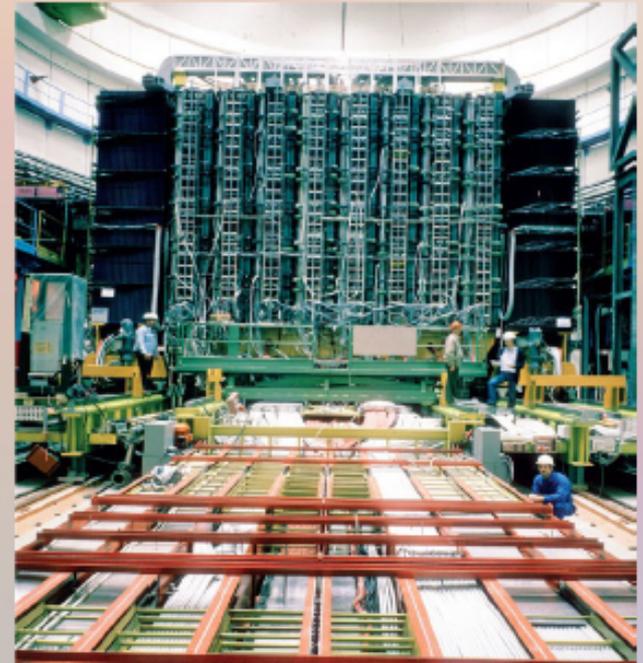
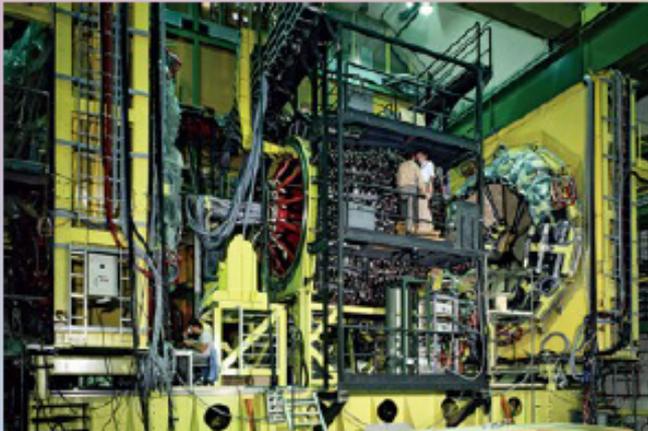


- Qualche collisione e' vista anche dall'esperimento UAS poi sostituito da UA2

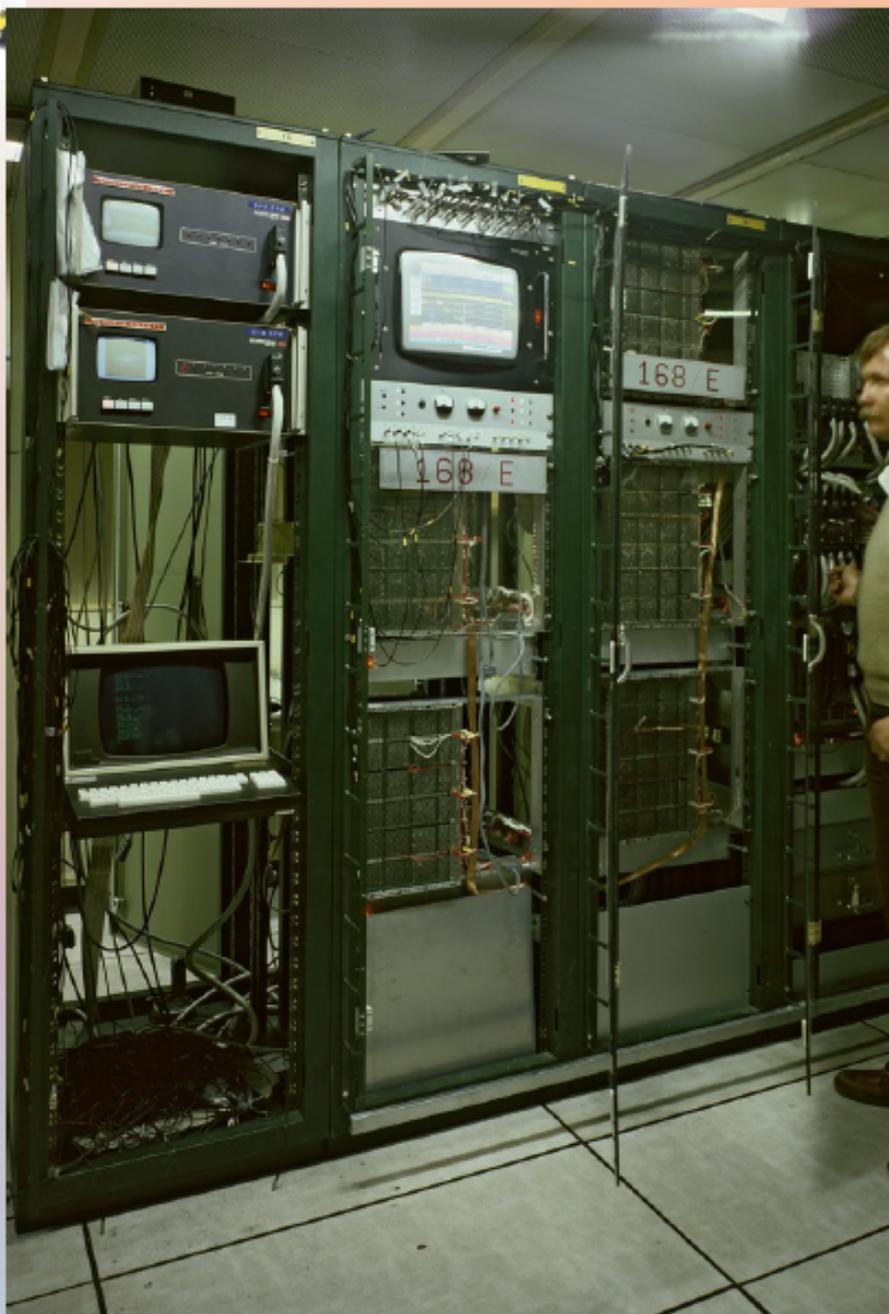


timeline.web.cern.ch

- 7 luglio: Vengono accelerati i primi anti-protoni nell'SPS, fino a 270 GeV
- 10 luglio: il rivelatore UA1 osserva le prime collisioni tra protoni e anti-protoni

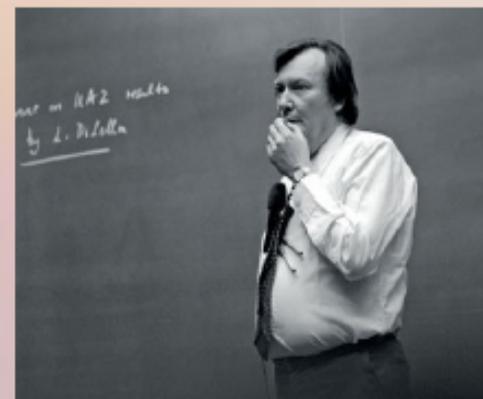


- L'esperimento UA2 entra in funzione a dicembre dello stesso anno





- Gennaio 1983: vengono presentate da UA1 e UA2 le prime indicazioni della possibile osservazione di eventi W
 - UA1 ha 6 eventi candidati
 - UA2 ne ha 4
- La scoperta del bosone W viene annunciata dal CERN il 25 gennaio



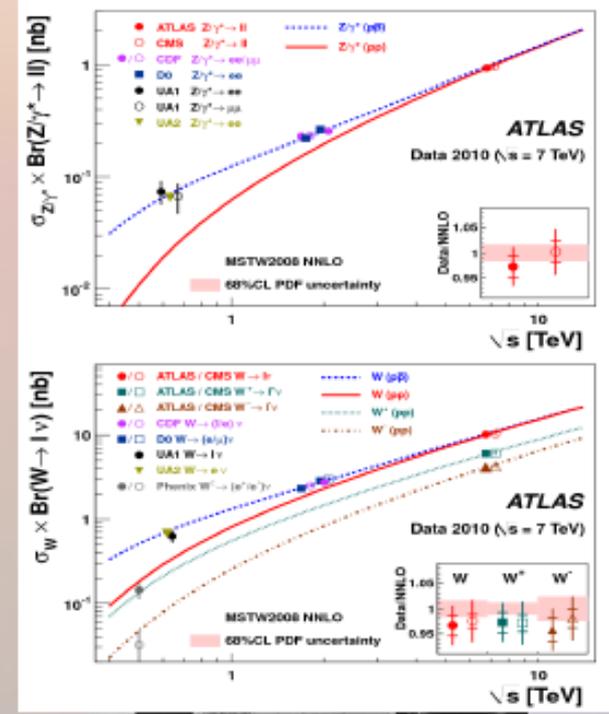
*"They look like W s,
they feel like W s,
they smell like W s,
they must be W s"*

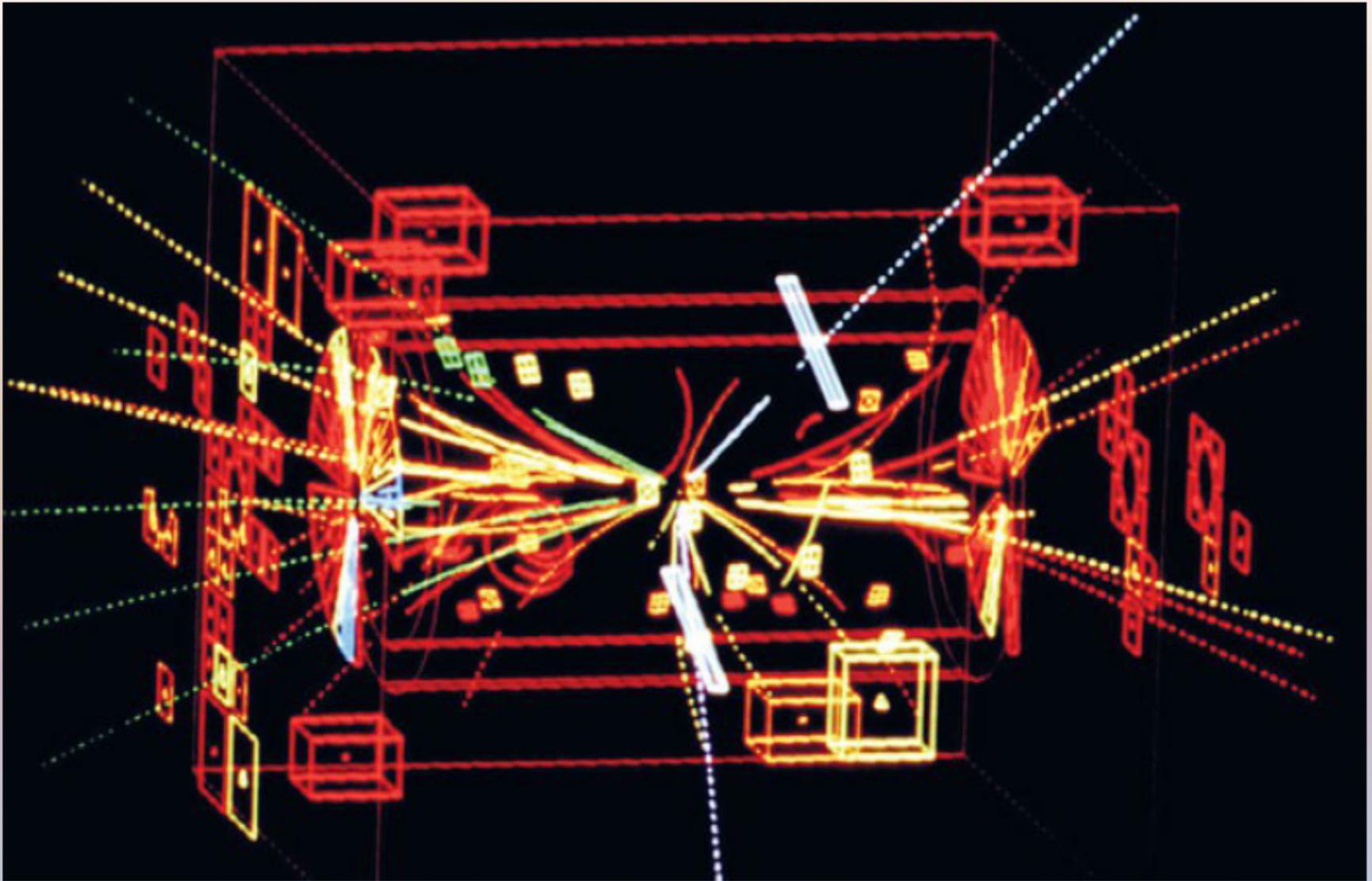


- La massa della nuova particella è stimata essere ~ 80 GeV in accordo con le previsioni della teoria elettrodebole



- Era stato da sempre chiaro che ci sarebbe voluto piu' tempo per osservare anche del bosone Z
- La teoria prevede una produzione 10 volte meno intensa rispetto ai bosoni W
- Bisognava spingere piu' su l'intensita' della macchina, come avvenne nel periodo aprile-luglio 1983
- L'annuncio dell'osservazione da parte di UA1 avvenne a fronte di 4 eventi candidati in maggio, UA2 ne annuncio' altrettanti in luglio







The Nobel Prize in Physics 1984



timeline.web.cern.ch



Carlo Rubbia

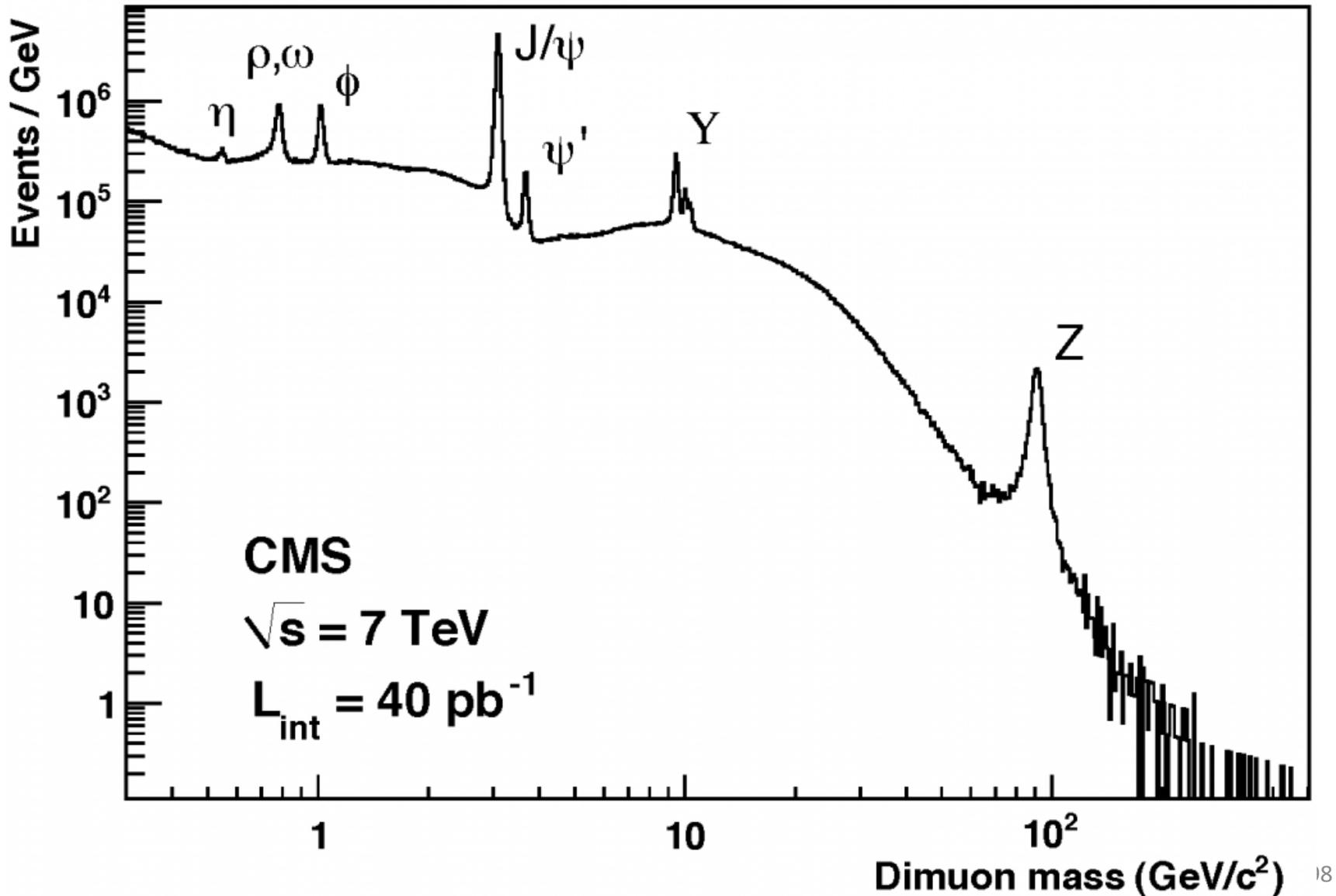


Simon van der Meer

“for their decisive contributions to the large project, which led to the discovery of the field particles W and Z, communicators of weak interaction”

LHC

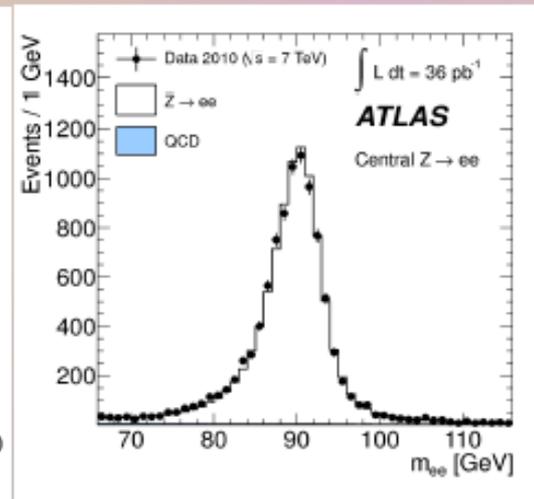
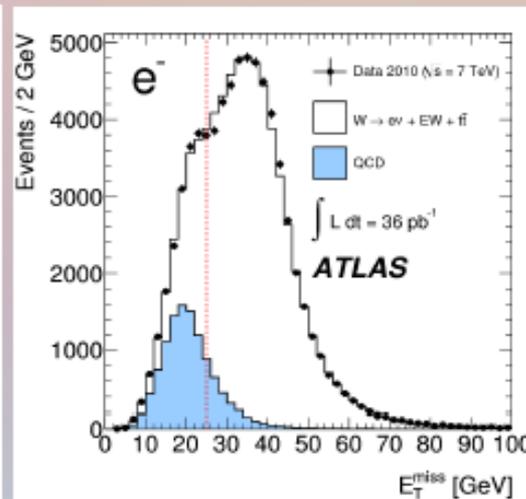
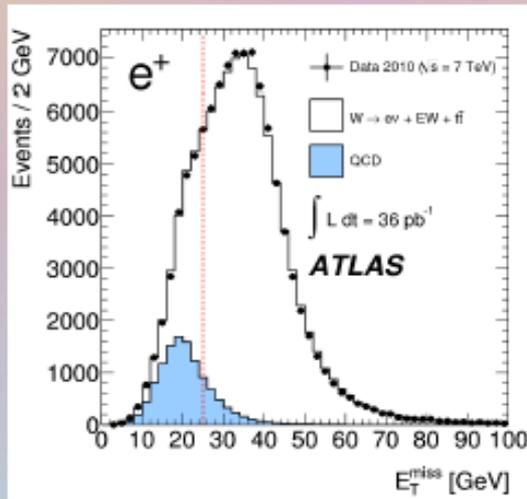
Distribuzione di-muoni a LHC





W e Z a LHC

- LHC: Large Hadron Collider, interazioni protone-protone a 7 o 8 TeV nel centro di massa e ad alta intensita'
- W e Z si producono in abbondanza, sia soli che "accompagnati" (WW, ZZ, Zgamma, WZ...)





H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 leptoni

- E' il canale piu' "pulito" per la ricerca del bosone di Higgs a LHC
- Il segnale e' chiaramente visibile e ben separabile dal fondo, completamente ricostruito
- Gli eventi cosi' ben identificati possono quindi essere usati per misure delle proprieta' della particella H (massa, spin...)

