

Fisica ai Collisionatori di Particelle

Giorgio Bellettini

Dipartimento di Fisica, Università
di Pisa

INFN, Sezione di Pisa

Lezione al Seminario sul Software della Fisica
Nucleare, Subnucleare ed Applicata
Alghero, 5 giugno 2008

Sommario

1) Collisionatori di protoni

Gli ISR e la crescita di $\sigma_t(p-p)$ con l'energia

Il collisionatore SpS e la scoperta dei bosoni W,Z

Il Tevatron e la scoperta del quark top

Il Large Hadron Collider e la ricerca di nuova fisica

2) Collisionatori di elettroni

SPEAR e la scoperta del quark charm

ADONE

Petra e la scoperta del gluone

Lo International Linear Collider

47 anni di storia dei collisionatori

- 1961 AdA, Frascati, Italia
- 1964 VEPP 2, Novosibirsk, URSS
- 1965 ACO, Orsay, Francia
- 1969 ADONE, Frascati
- 1970 ISR, CERN, Svizzera
- 1971 CEA, Cambridge, USA
- 1972 SPEAR, Stanford, 8 GeV
- 1974 DORIS, Amburgo, Germania,
- 1975 VEPP-2M, Novosibirsk, URSS
- 1978 PETRA, Amburgo 45 GeV
- 1979 CESR, Cornell, USA
- 1980 PEP, Stanford
- 1981 Sp-pbarS, CERN, Svizzera, 630 GeV
- 1982 TEVATRON, Fermilab, USA, 2 TeV
- 1989 SLC, Stanford, 90 GeV
- 1989 BEPC, Pechino, Cina
- 1989 LEP, CERN, 205 GeV
- 1992 HERA, Amburgo
- 1994 VEPP-4M, Novosibirsk, Russia
- 1999 DAΦNE, Frascati
- 1999 KEKB, Tsukuba, Giappone
- 1999 PEP-II, Stanford
- 2003 VEPP-2000, Novosibirsk
- 2008 LHC, CERN, 14 TeV

elettrone-positrone

elettrone-protone

protone-antiprotone

Protone-protone

I COLLISIONATORI ADRONICI

- ISR, p-p a 63 GeV nel s.c.m. (1970-1980)
- SpS, p-antip a 630 GeV (1980-1991)
- Tevatron, p-antip a 1,960 TeV (1978-2010)
- LHC, p-p a 14 TeV (1998→)

PIANTA SCHEMATICA DEL SPS E DEGLI ISR

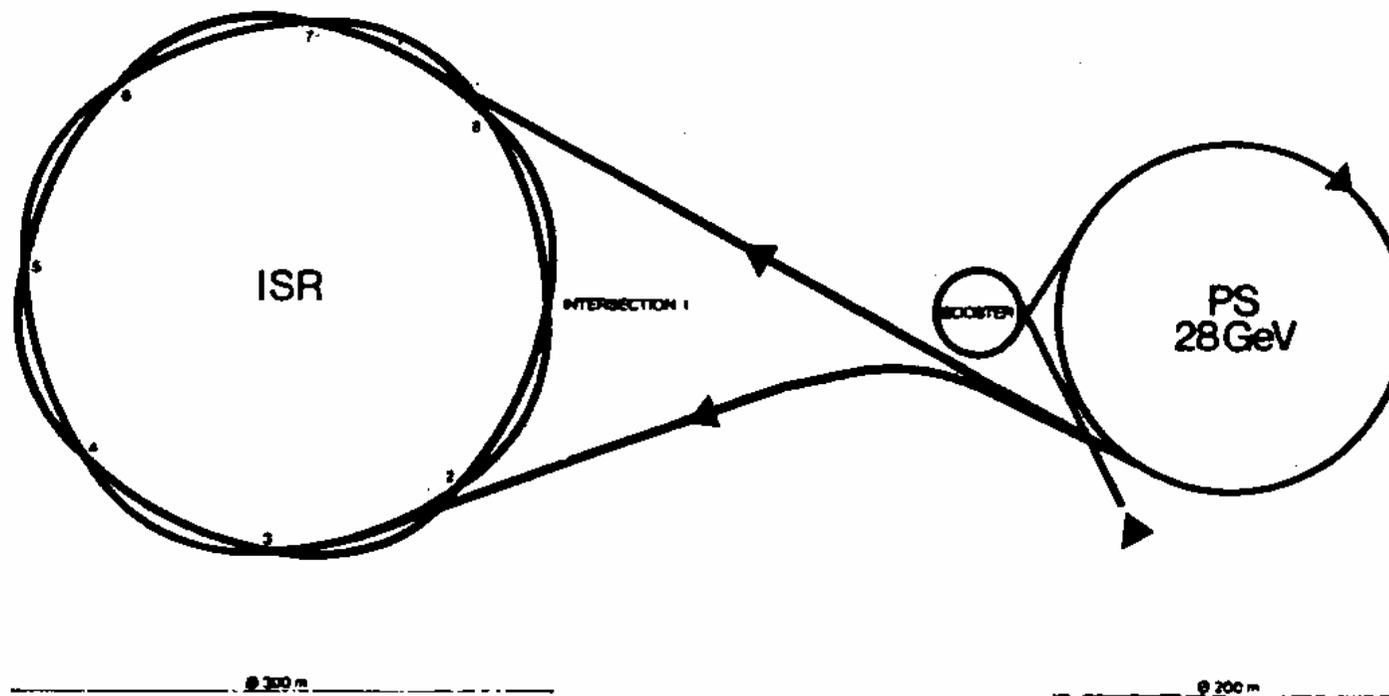
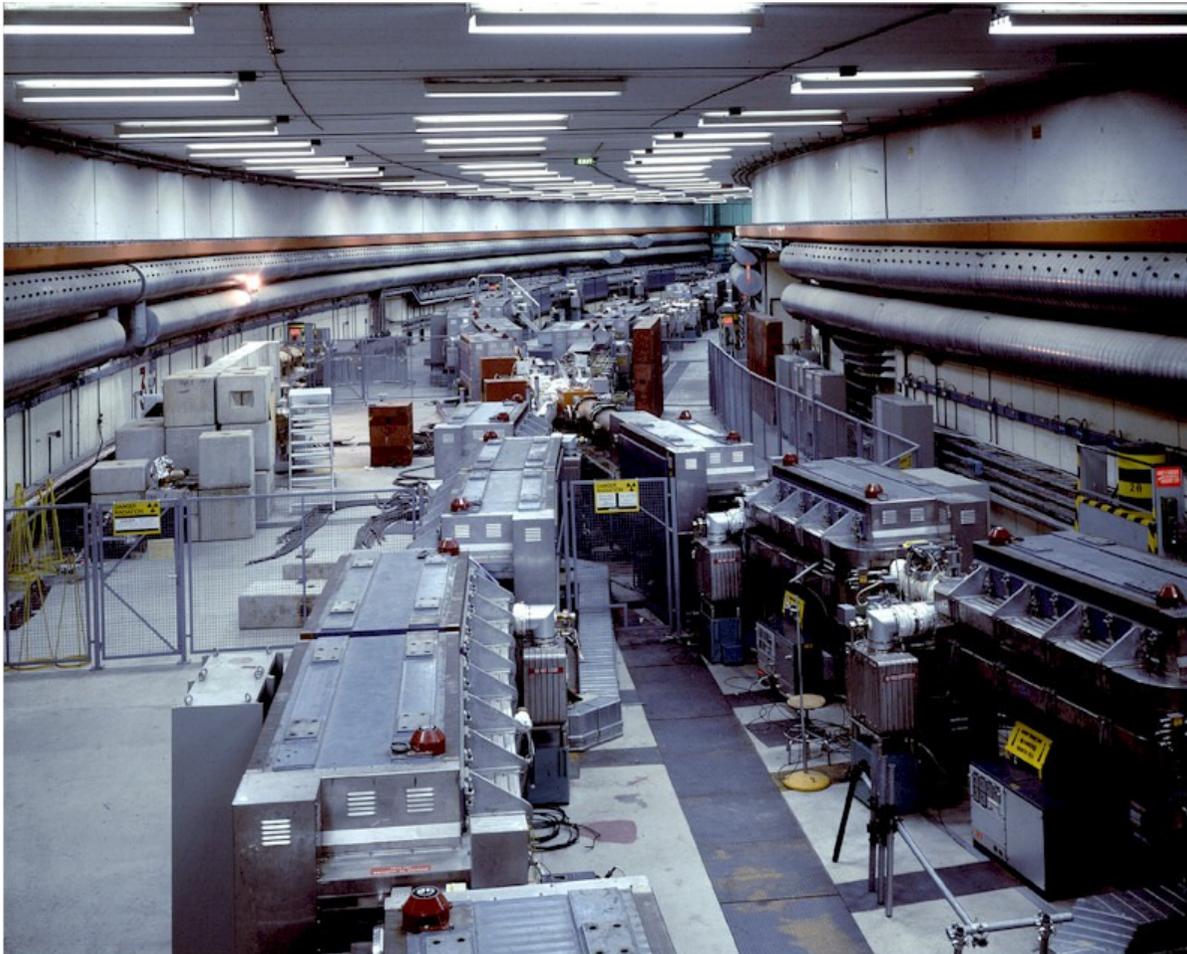


Fig. 2.1. Schematic view of the PS and ISR rings.

FOTO DEGLI ISR



8 punti di incrocio e 8
sale sperimentali

INCROCIO DEI FASCI DEGLI ISR

I fasci erano una corrente continua che raggiunse 50 A
 $w \sim 6 \text{ cm}$, $h \sim 5 \text{ mm}$, $l \sim 36 \text{ cm}$
Luminosità fino a $5 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

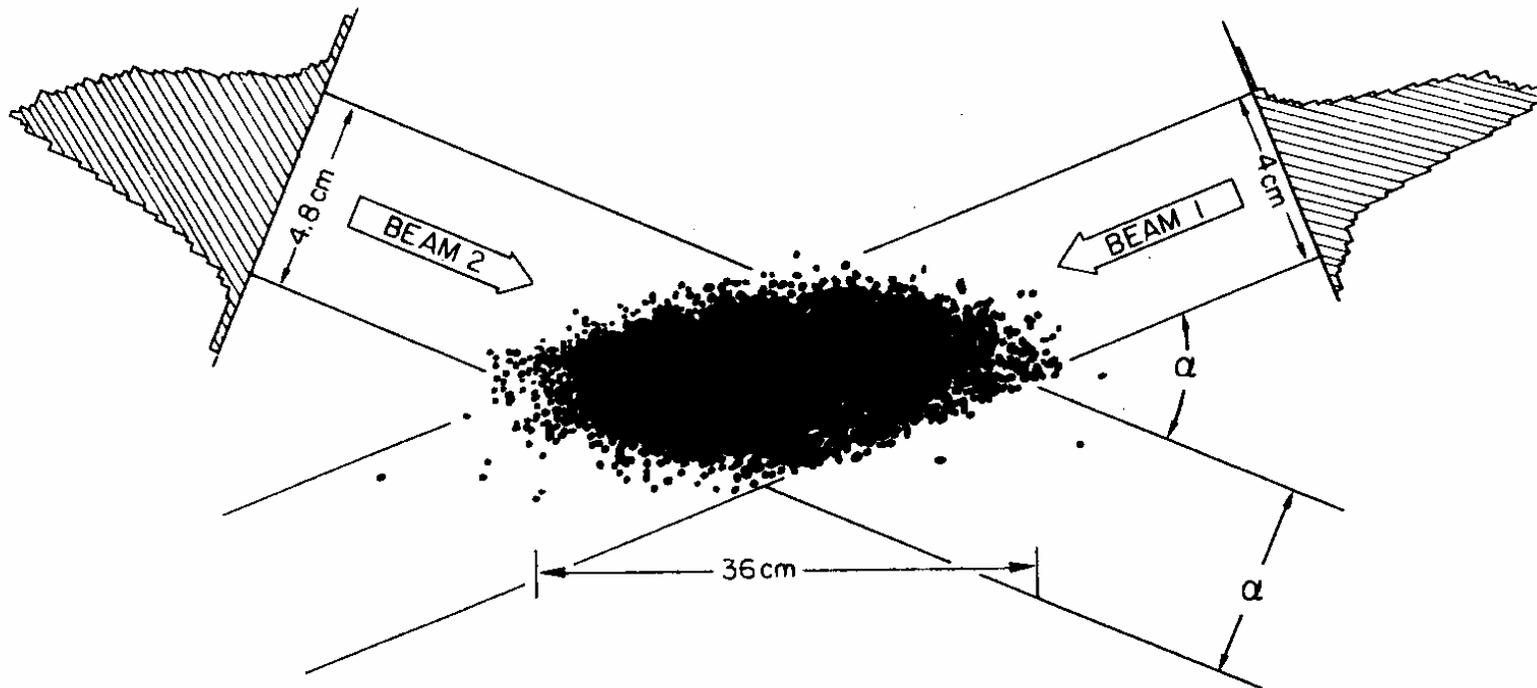
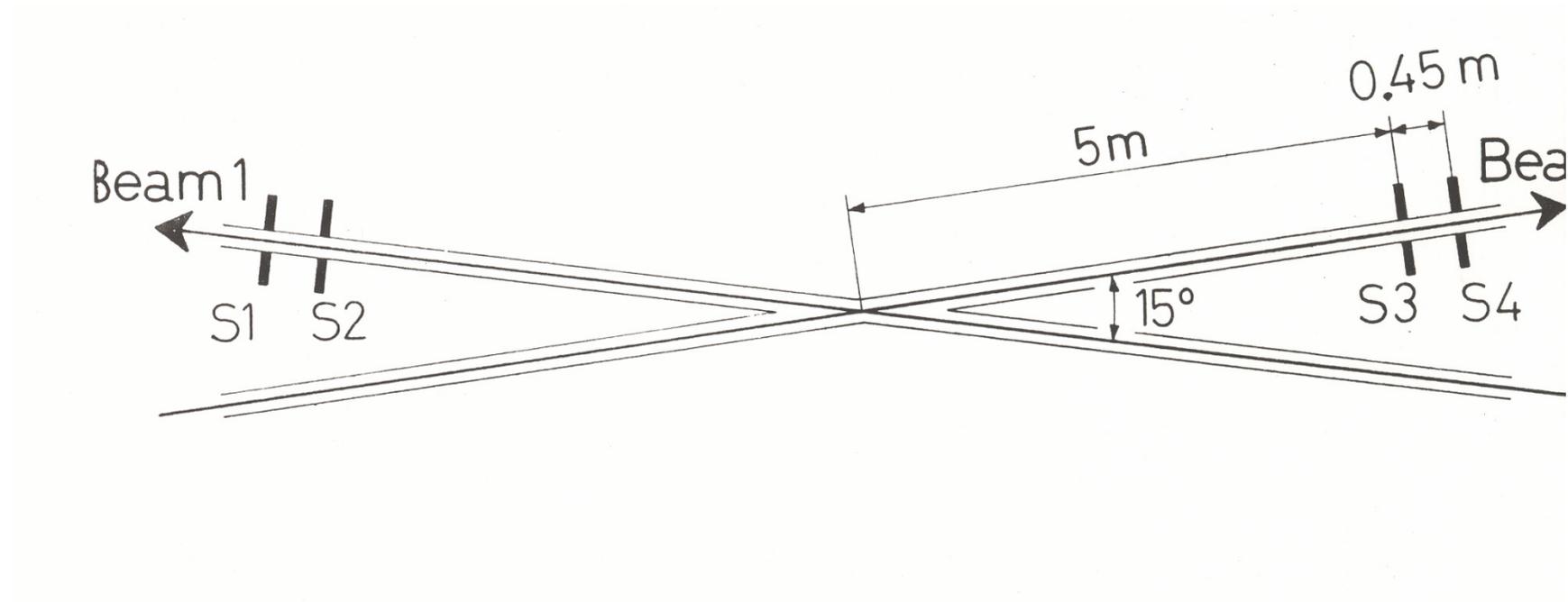


Fig. 2.4. Horizontal distribution of 65 000 reconstructed events. Also shown are the single beam profiles (R602).

GEOMETRIA DI UN ESPERIMENTO AGLI ISR



LA PRIMA PUBBLICAZIONE AGLI ISR

Ricevuto il 8 maggio 1971
CERN ISR BT/71 11

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

CERN-ISR-BT/71-11

FIRST OBSERVATION OF COLLIDING BEAM EVENTS
IN THE CERN INTERSECTING STORAGE RINGS (ISR)

by
The ISR Staff, CERN

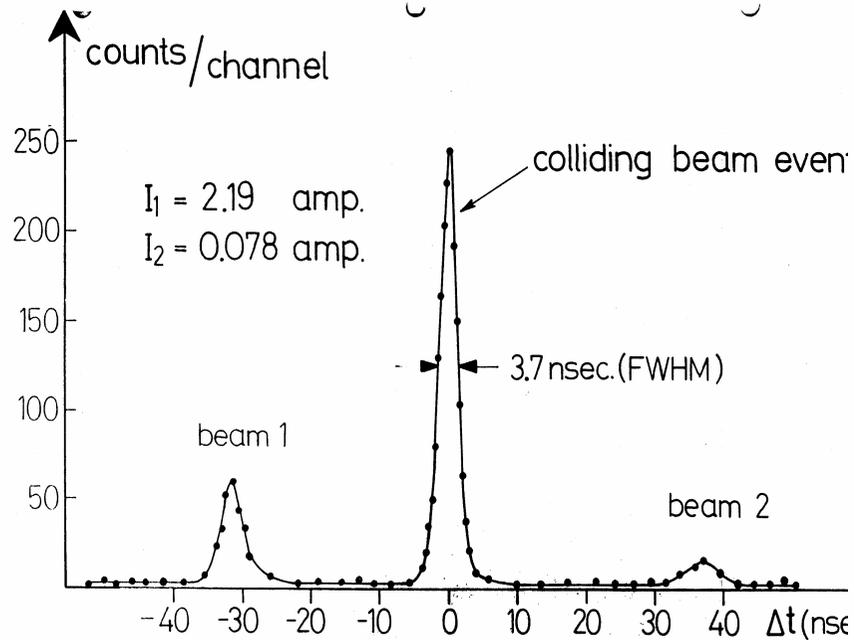


Fig. 3

Geneva - 11th March, 1971

RECEIVED
MAY 8 1971
NAL Directors Office

LA FISICA ADRONICA NEGLI ANNI 70

Non esisteva una teoria fondamentale. La fenomenologia modellava le regolarità osservate nei processi adronici.

Le sezioni d'urto totali di π , k , p su protone sembravano divenire costanti (asintotiche?) al crescere della energia.

La distribuzione dei secondari nelle interazioni inelastiche decresceva esponenzialmente in impulso trasverso fino qualche GeV/c. Questo faceva pensare ad una produzione di tipo termodinamico.

I RISULTATI PIU' IMPORTANTI AGLI ISR

- 1) $\sigma_t(pp)$ crescente con l'energia (Pisa-Stony Brook e CERN-Roma)
- 2) $d\sigma/dt$ di tipo ottico-diffrattivo come se l'assorbimento dell'onde incidente fosse dominante. Tuttavia I valori dei parametri lontani da un comportamento asintotico
- 3) eccesso di secondari a grande impulso trasverso, premonitori dei getti adronici

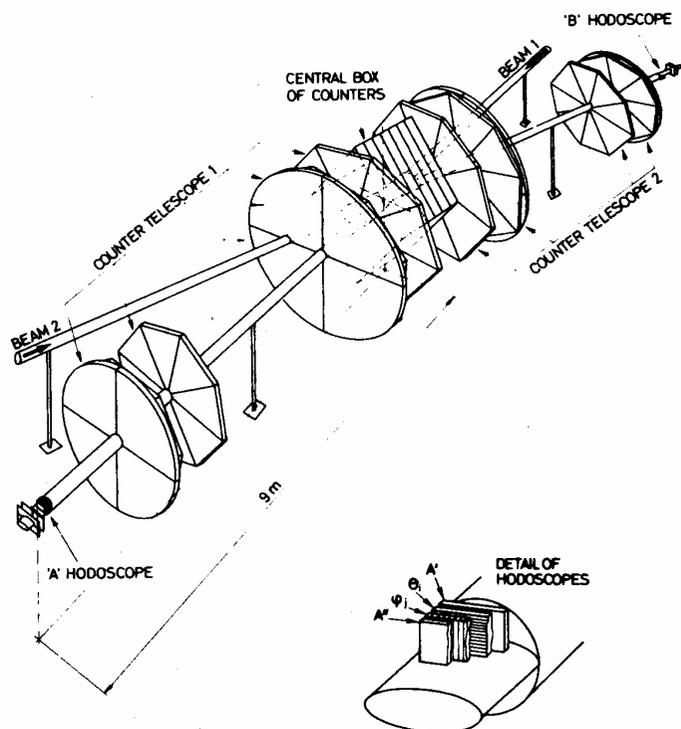
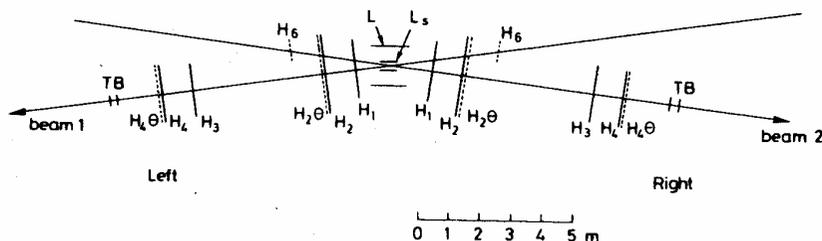


Fig. 4.1. Layout of the proton-proton cross section measurement performed at the ISR. A system of counter hodoscopes (H, L) surrounding the intersection region, counts almost all the interactions and allows an extrapolation to 4π coverage. The H_i hodoscopes are binned in the φ direction; the $H_i\theta$ hodoscopes are split into θ -bins; the L-hodoscopes are four planes of x- and y-counters interspersed with lead plates; TB are triggering counters (R801).

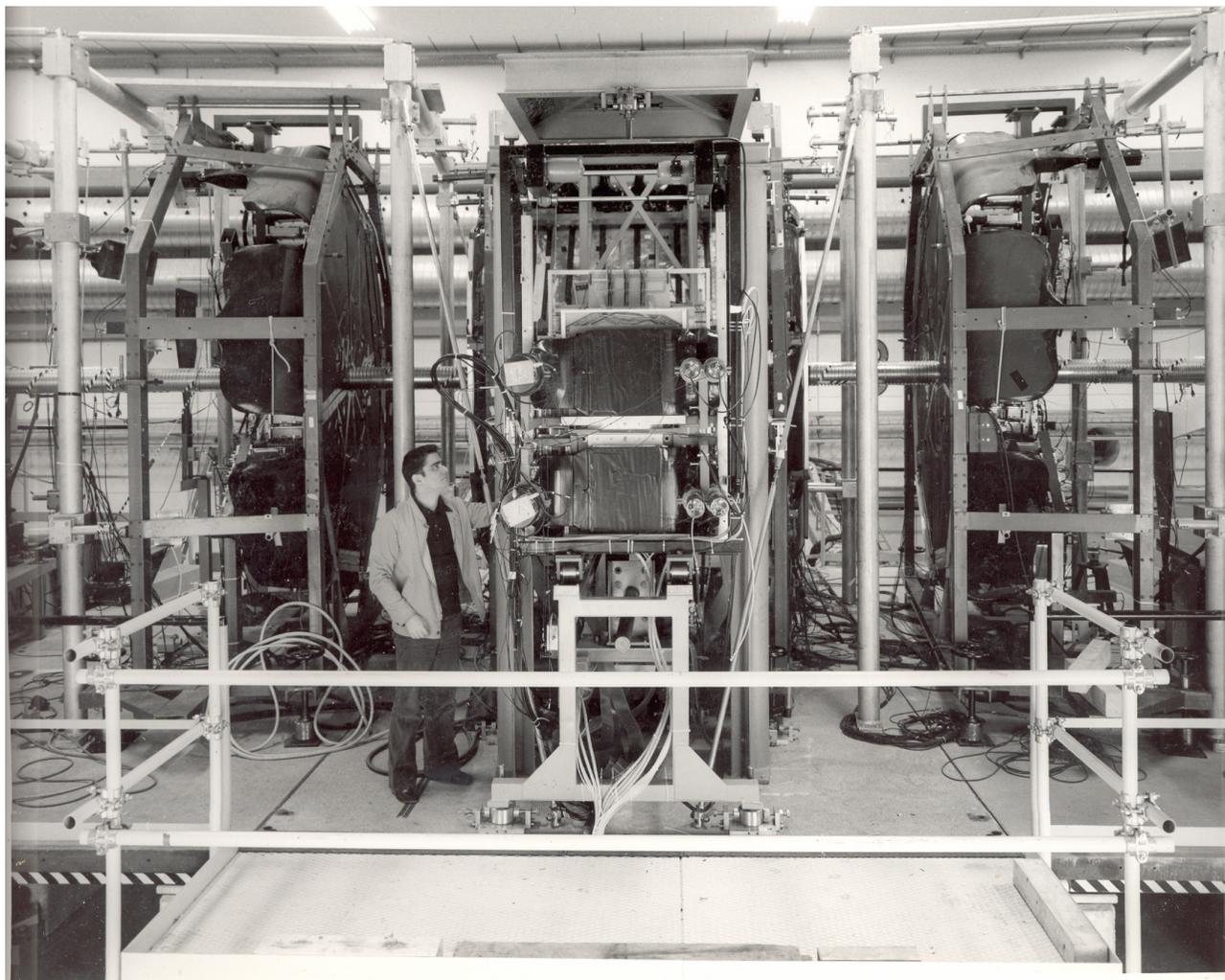
PISA-STONY BROOK

$$\sigma_t (cm^2) = \frac{R(s^{-1})}{L(cm^{-2}s^{-1})}$$

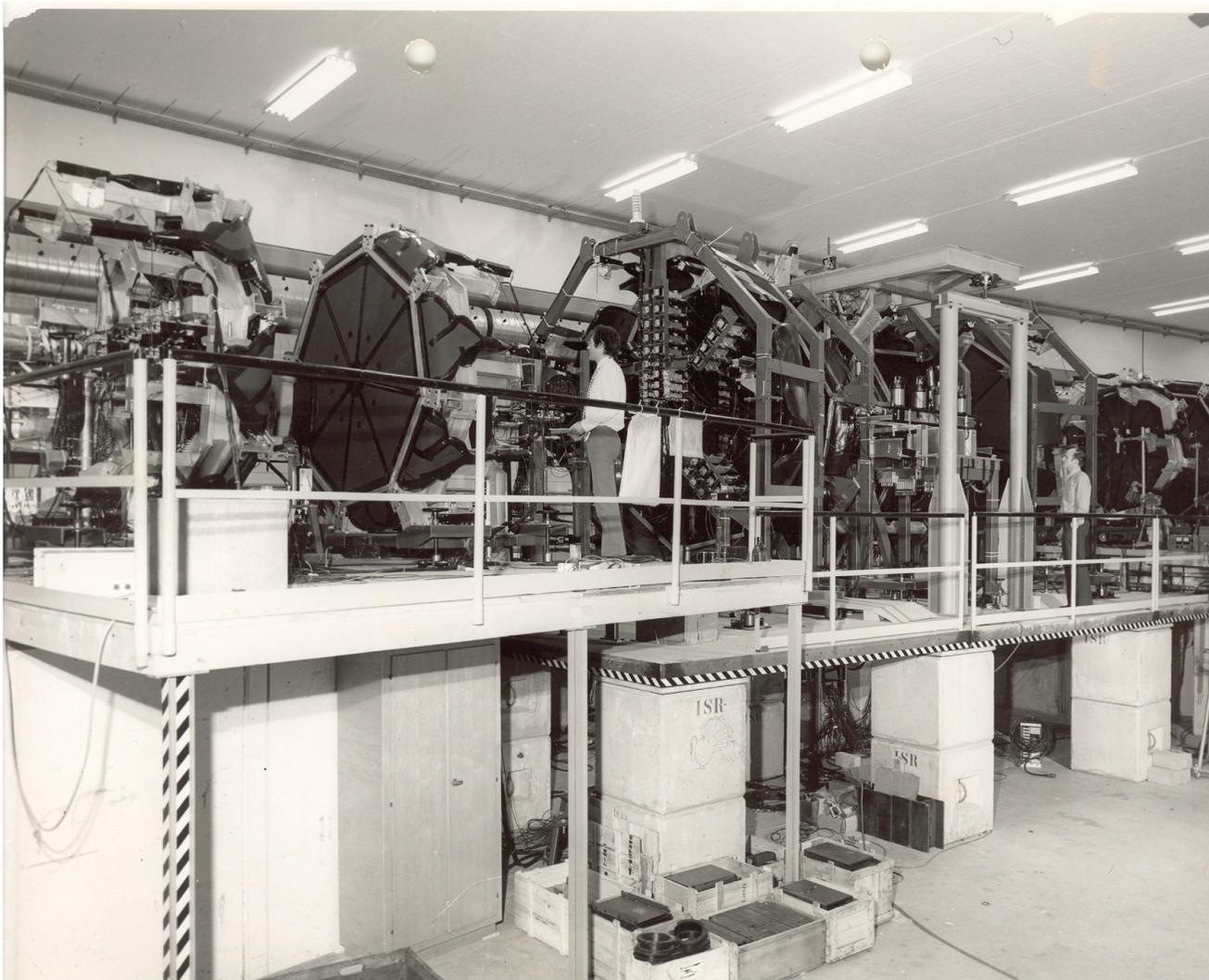
Fu il primo rivelatore a copertura totale.

Per misurare $\sigma_t(p-p)$ si misurò la frequenza delle interazioni **R** e la luminosità della macchina **L**

GLI ODOSCOPI CENTRALI DI R801



II RIVELATORE DI R801



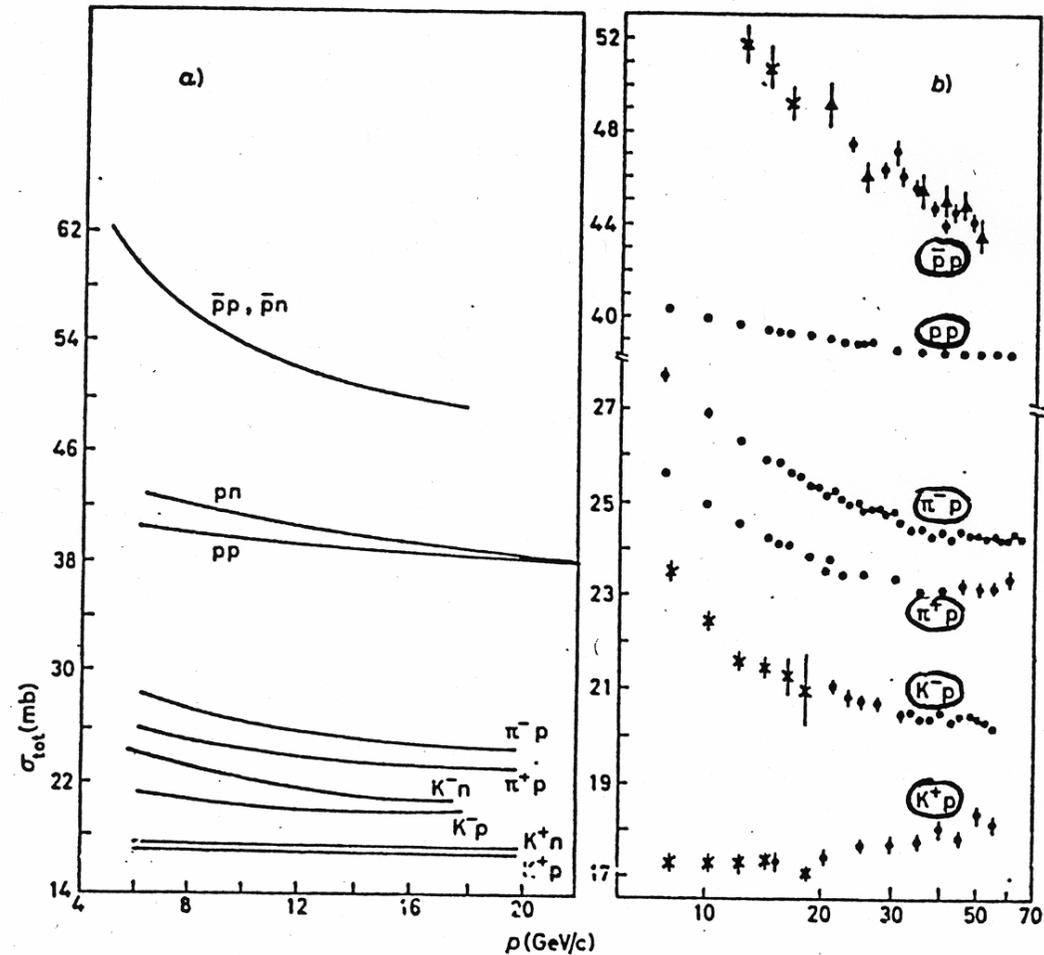
Il primo rivelatore con copertura 4π ad un collisionatore adronico.

Una impresa ciclopica per Pisa a quei tempi.

SEZIONI D'URTO ADRONICHE PRIMA DEGLI ISR

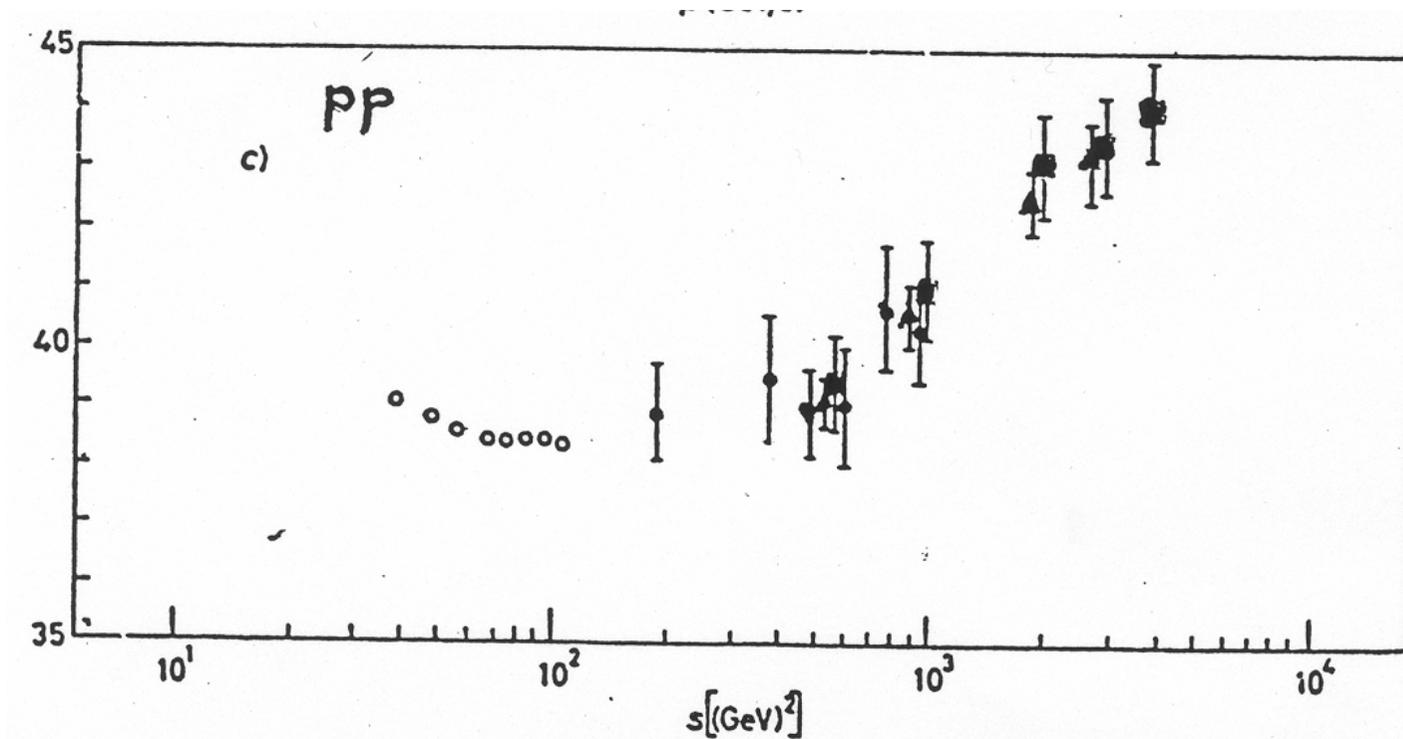
All'inizio degli anni 70 si pensava che le sezioni d'urto adroniche si stessero avvicinando ad una energia "asintotica".

La sezione d'urto K^+p faceva eccezione.



LA SEZIONE D'URTO DI PISA-STONY BROOK

I dati di R801 indicarono una sezione d'urto che cresceva con la energia. Il risultato destò molta sorpresa.



SEZIONI D'URTO ADRONICHE AD ALTA ENERGIA

Con fasci esterni si trovò in seguito che tutte le sezioni d'urto adroniche iniziavano a crescere proprio alle energie degli ISR.

A tutt'oggi (anno 2007) non esiste ancora una teoria fondamentale che spieghi questo fenomeno.

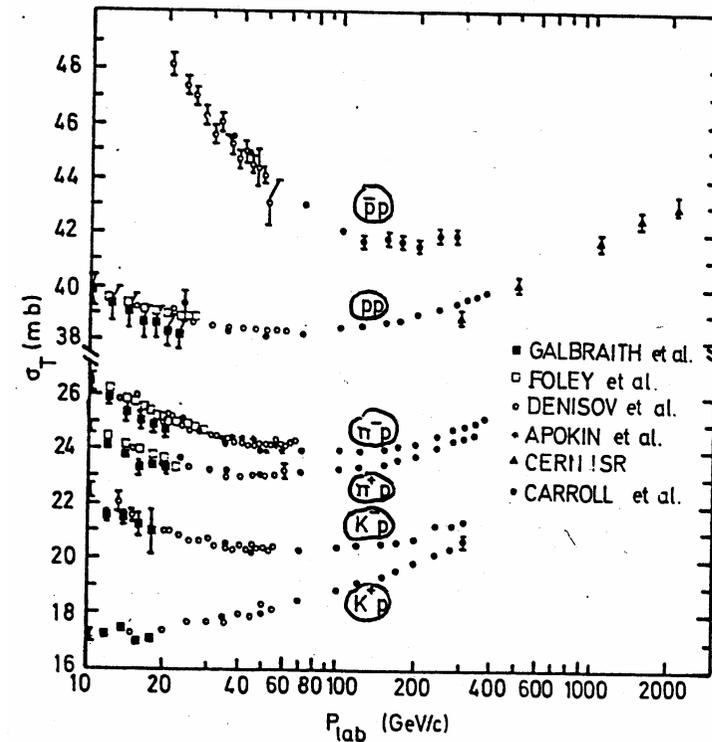


Fig. 3. Total cross sections on protons. Only momentum dependent errors are shown [4.2].

SIAMO AD ENERGIE ASINTOTICHE?

Le misure agli ISR, confermate poi al SpS e al Tevatron, mostrarono che

$$\sigma_t \sim \xi \ln^2 s$$

Questa è la massima rapidità di crescita con la energia in teoria dei campi (limite di Froissart)

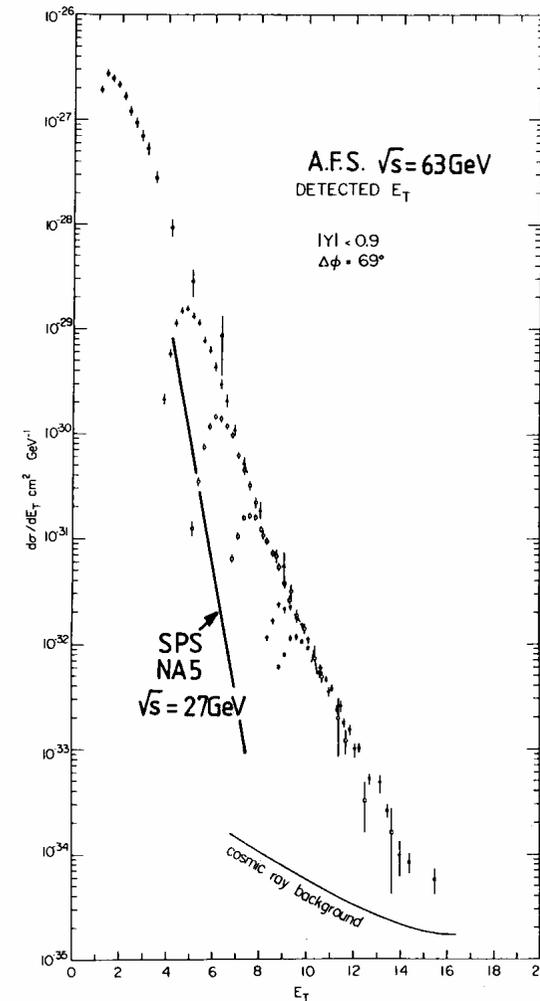
$$\sigma_t \leq \frac{\pi}{m_\pi^2} \ln^2 \frac{s}{s_0}, \quad \frac{\pi}{m_\pi^2} \approx 67 \text{ mb}$$

Tuttavia, sperimentalmente $\xi \sim 0,5 \text{ mb}$. Le energie attuali sono lontane da “asymptotia”.

I GETTI ADRONICI AGLI ISR

L'eccesso di produzione di particelle a grandi p_t segnalava la nascita dei getti adronici.

Tuttavia l'energia della macchina non fu sufficiente ad evidenziare i getti in modo inequivocabile.



LO SCATTERING IN AVANTI DI CERN-ROMA

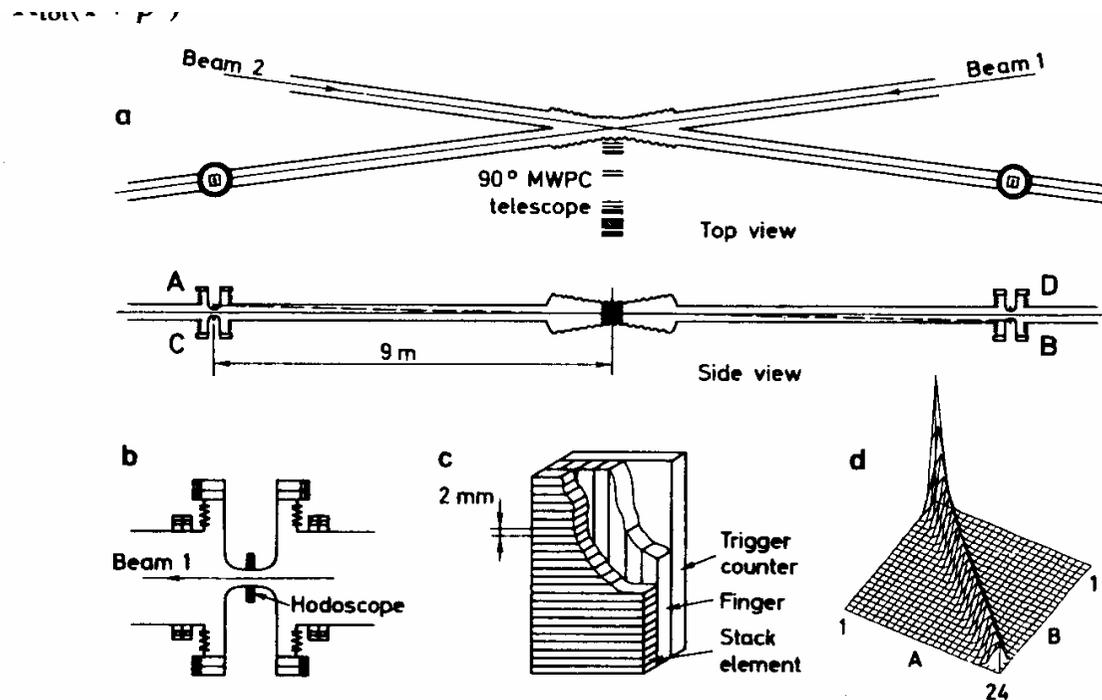


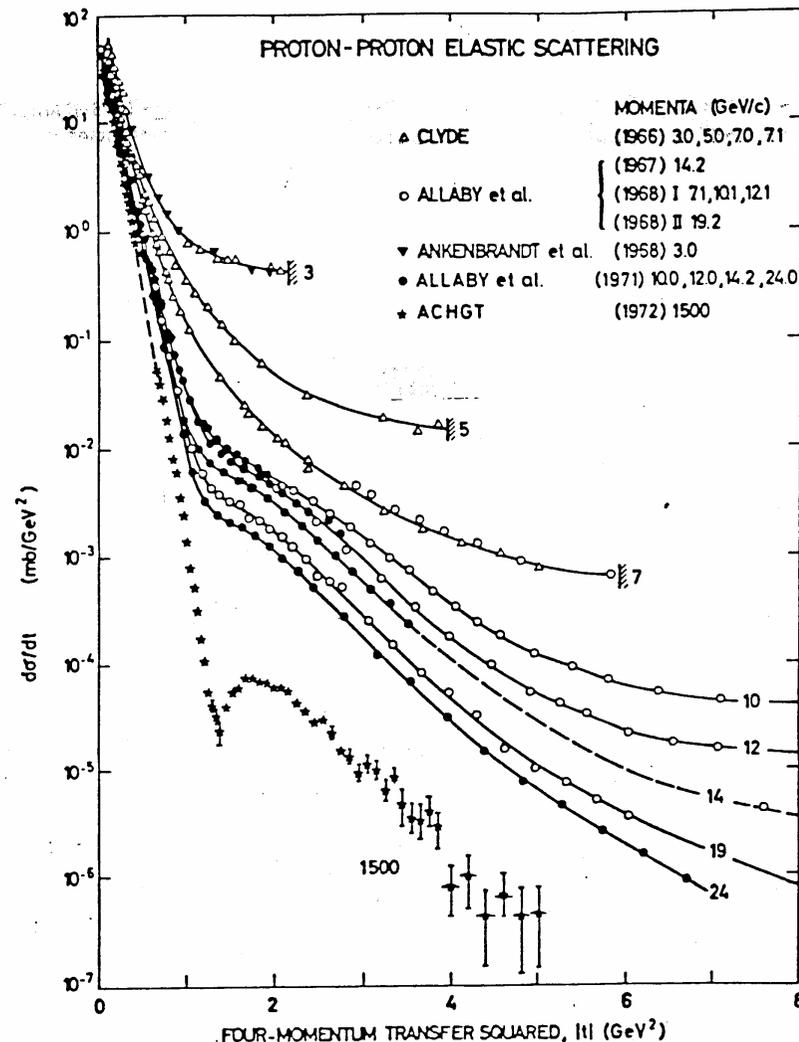
Fig. 4.2. Sketch of the layout used at the ISR by the CERN-Rome collaboration to measure the elastic scattering in the C-N region. The two protons scattered in the vertical plane were detected by tiny scintillation counter hodoscopes, which could be lowered or raised relative to the circulating beams (the Roman pots).

I rivelatori erano inseriti in “pozzetti romani” che permettevano di entrare entro i tubi del fascio. La collinearità sopra-sotto fu sufficiente per individuare gli eventi elastici.

LA DIFFRAZIONE NELLO SCATTERING ELASTICO

Esperimenti di scattering elastico rivelarono uno spettacolare picco in avanti seguito da un minimo e da un massimo secondario

Questo comportamento di tipo ottico indicava che l'onda incidente era fortemente assorbita e che l'ampiezza di scattering era soprattutto immaginaria.



ANALOGO OTTICO

Come analogo ottico si ricordi che un'onda monocromatica pienamente assorbita da un disco di raggio R mostra una struttura di diffrazione con massimi a $\theta = \lambda/2R, 2\lambda/2R, \text{ etc.}$

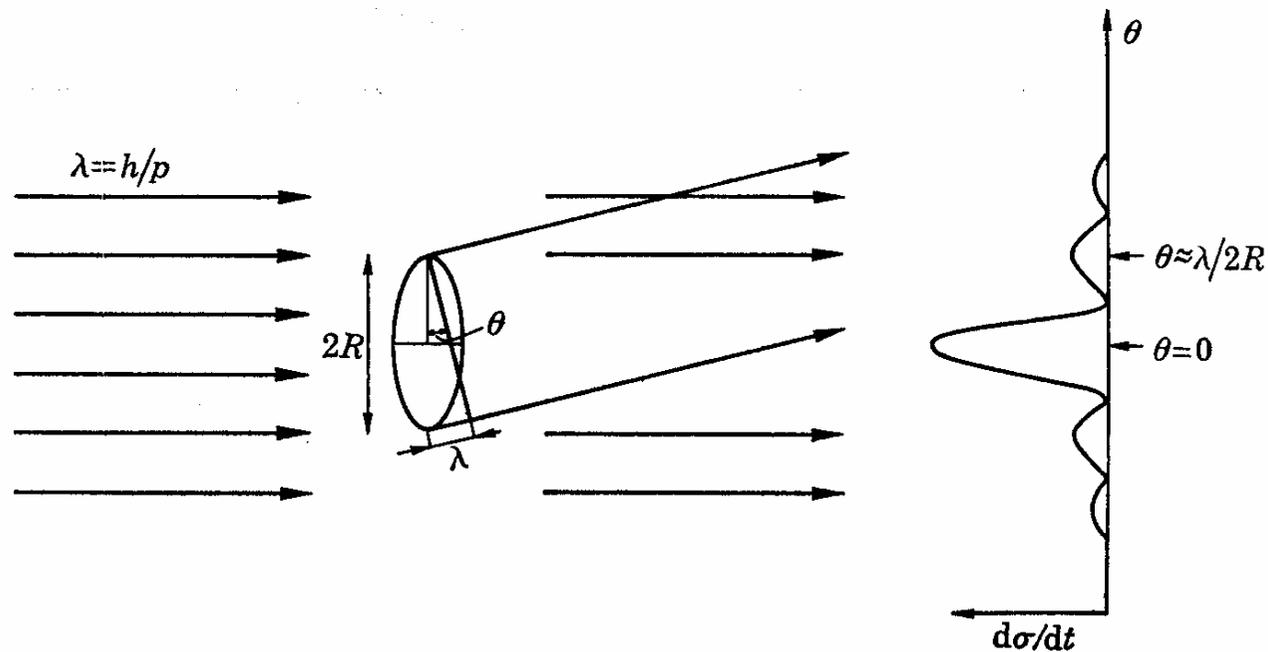


FIGURE 2. The elastic scattering of protons of momentum p by an absorbing disk of radius R . The first diffraction ring appears at the angle θ .

SEZIONI D'URTO P-P e Pbar-P

La differenza fra le sezioni d'urto antiprotone-protone e protone-protone misurate negli stessi esperimenti agli ISR mostro` una chiara tendenza a zero al cresce dell`energia.

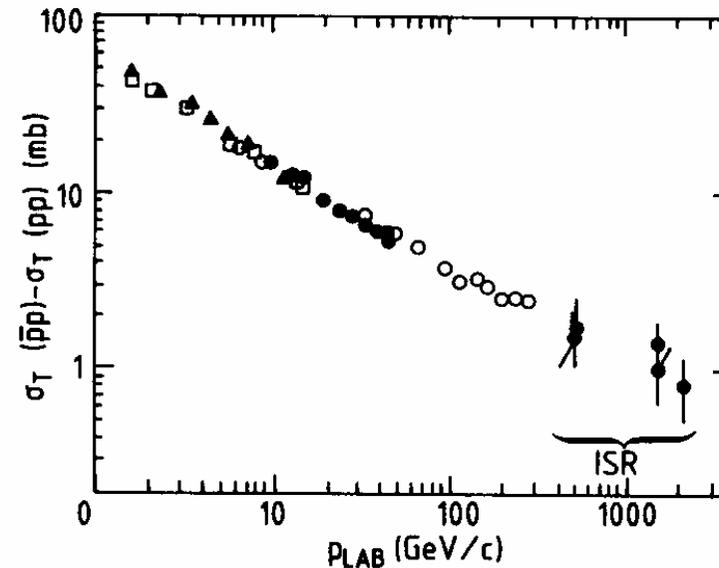


Fig. 43 Measurements of the total cross-section difference, $\sigma_T(\bar{p}p) - \sigma_T(pp)$, vs. p_{lab}

IL LASCITO DEGLI ISR ALLA CHIUSURA NEL 1980

Gli ISR funzionarono splendidamente e divennero un modello per i futuri collisionatori adronici

La crescita della sezione d'urto fu una scoperta ma restò un argomento a sè senza aprire un nuovo campo di indagine.

I getti adronici non si vedevano ancora chiaramente.

La produzione dei bosoni intermedi W e Z era sotto soglia.

Nell'ultimo anno di funzionamento non si osservò alcuna differenza significativa fra le sezioni d'urto p - p ed antip- p .

SCHEMA DI UN COLLISIONATORE p-antip

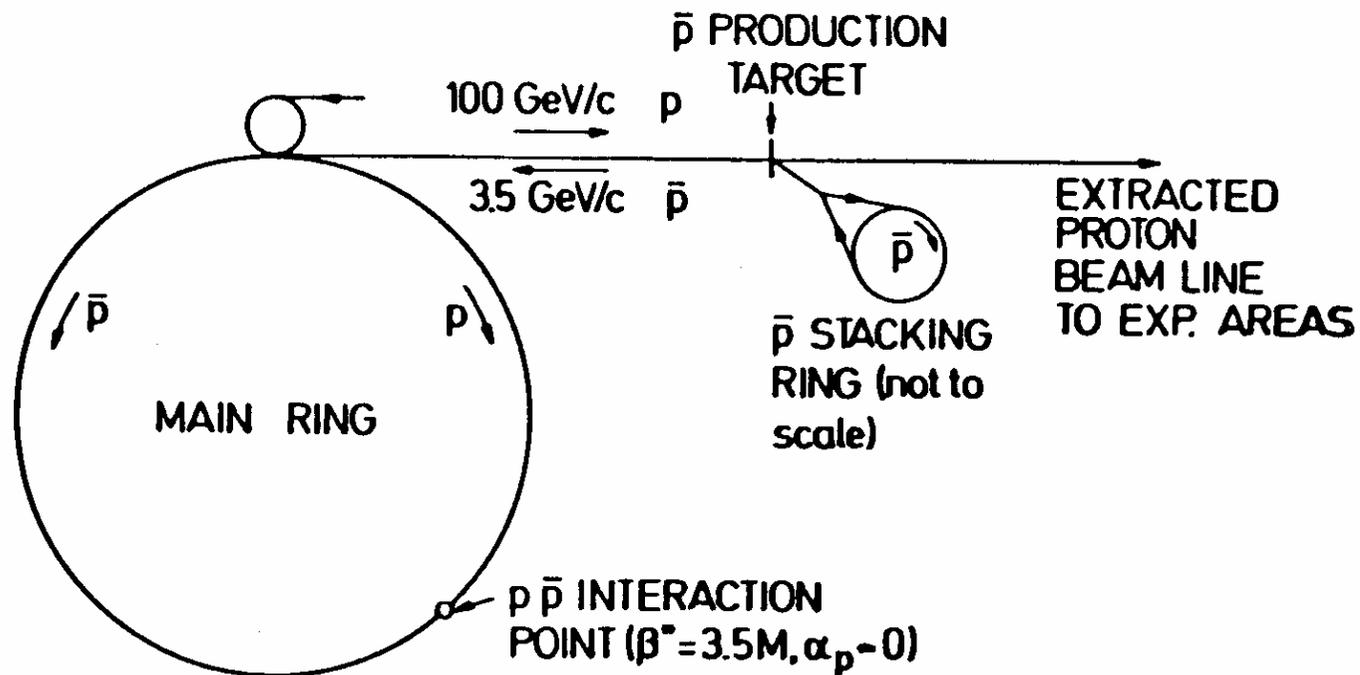


Fig. 5. General layout of the $p\bar{p}$ colliding scheme, from Ref. [9]. Protons (100 GeV/c) are periodically extracted in short bursts and produce 3.5 GeV/c antiprotons, which are accumulated and cooled in the small stacking ring. Then \bar{p} 's are reinjected in an RF bucket of the main ring and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

LO SpS COME COLLISIONATORE p-antip

Nel 1982 al CERN si riuscì a produrre antiprotoni, accumularli, raffreddarli, accelerarli fino a 26 GeV nel PS e a 270 GeV nel SpS operante come collisionatore p-antip a 540 GeV nel s.c.m.

In funzionamento alternato il collisionatore raggiunse 630 GeV.

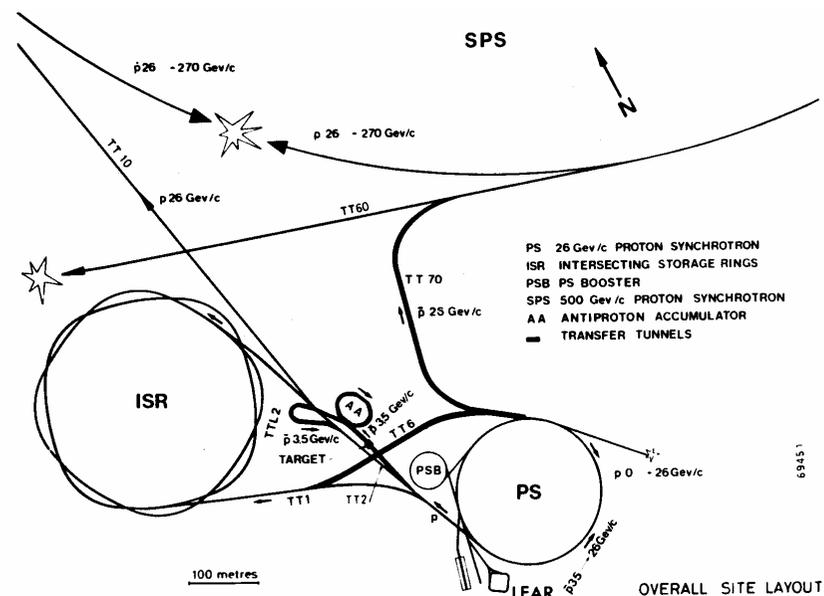


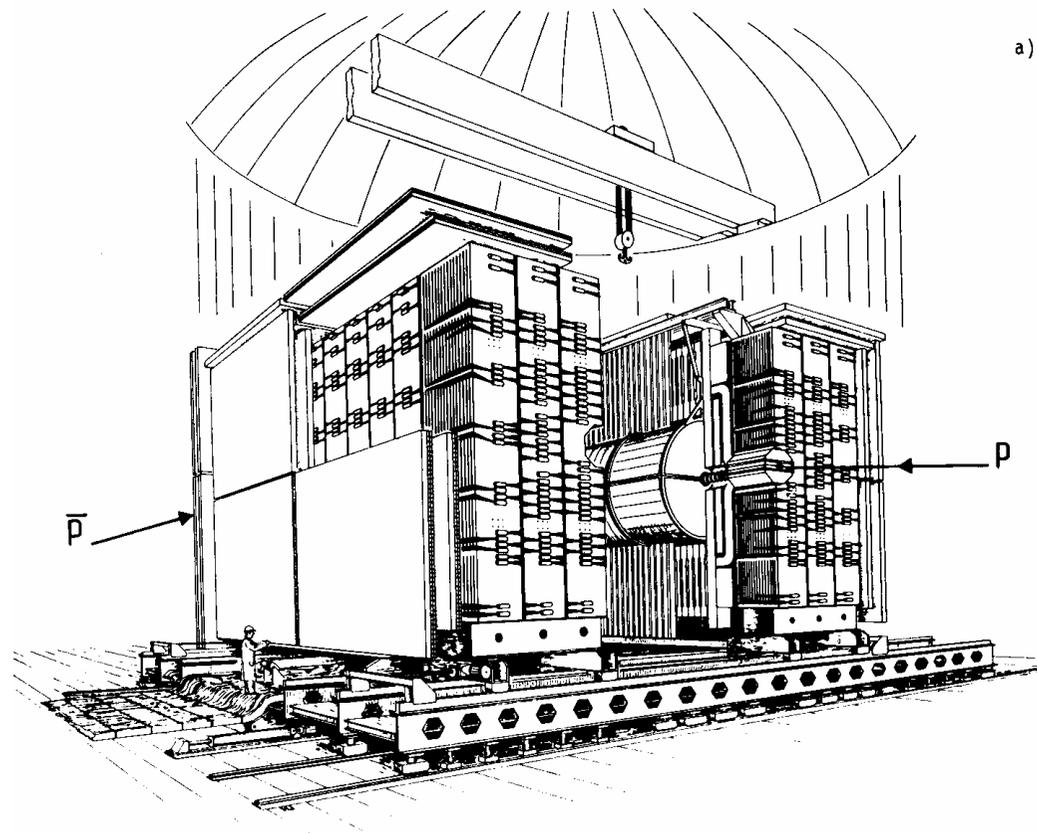
Fig. 1. The CERN accelerator complex.

IL RIVELATORE SOTTERRANEO UA1

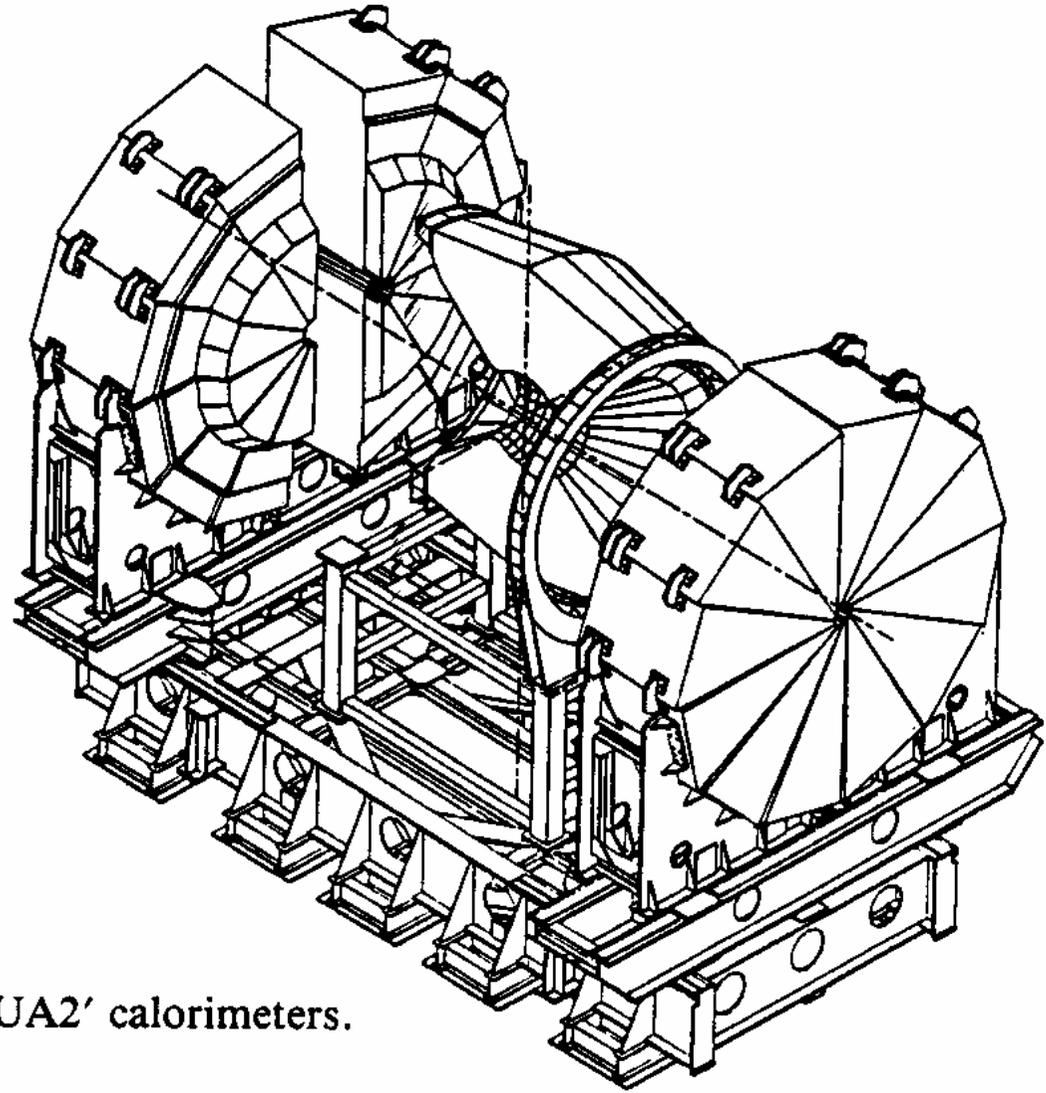
Il rivelatore “Underground Area 1” era a 35 m di profondità.

252

Physics 1984



II CALORIMETRO ERMETICO DEL SECONDO UA2



'the UA2' calorimeters.

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

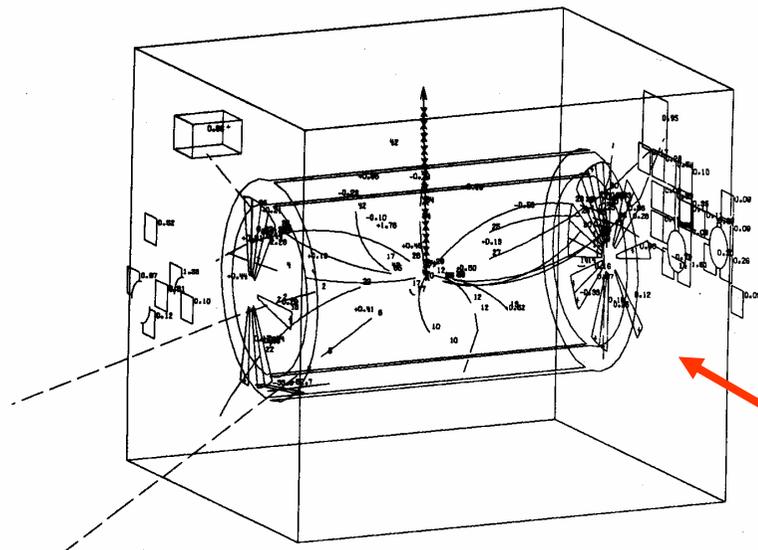
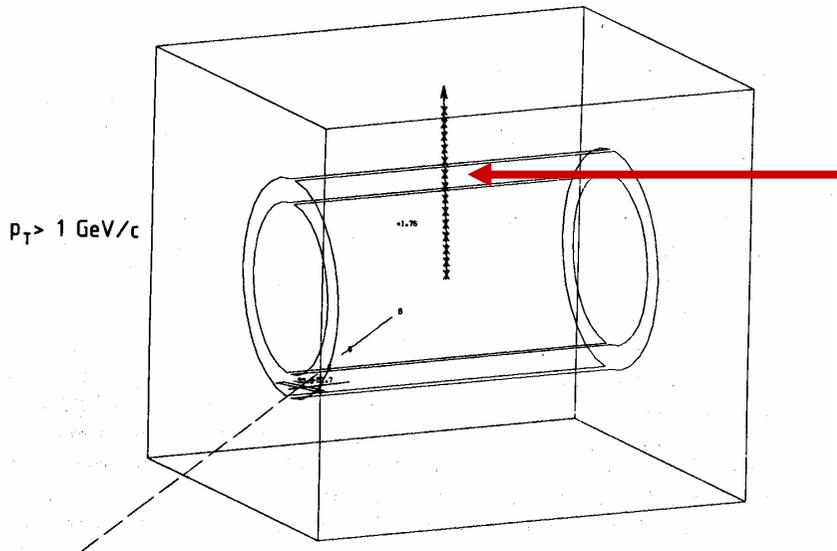


Fig. 16a. Event of the type $W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$. All tracks and calorimeter cells are displayed.

UN CANDIDATO $W \rightarrow e \nu$ di UA1

La presentazione di tutte le tracce ricostruite poteva confondere la interpretazione

ma escludendo le tracce con $E_t < 1 \text{ GeV}$ l'elettrone restava solo.



Il W si poteva evidenziare e studiare facilmente.

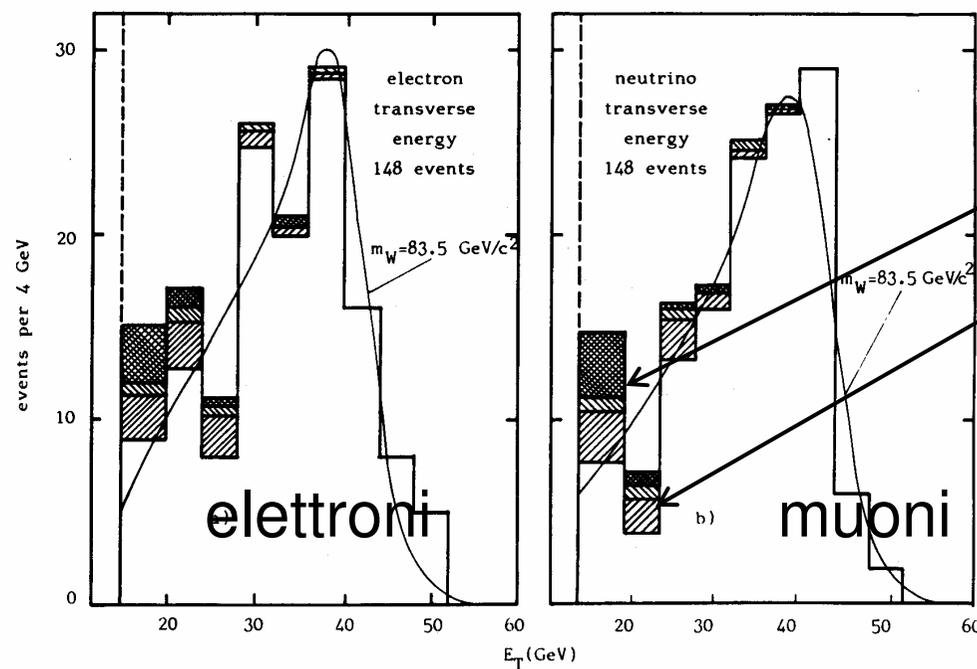
Fig. 16b. The same as picture (a), except that now only particles with $p_T > 1 \text{ GeV}/c$ and calorimeters with $E_T > 1 \text{ GeV}$ are shown.

PICCHI DI MASSA TRASVERSA DEL W IN UA1

$$M_t^2 = (E_{e,t} + E_{\nu,t})^2 - (\vec{E}_{e,t} + \vec{E}_{\nu,t})^2 = 2p_t^e p_t^\nu (1 - \cos \phi_{ve}) = 4p_t^e p_t^\nu \sin^2 \frac{\phi_{ve}}{2}$$

338

G. Salvini and A. Silverman, *Physics with matter-antimatter colliders*



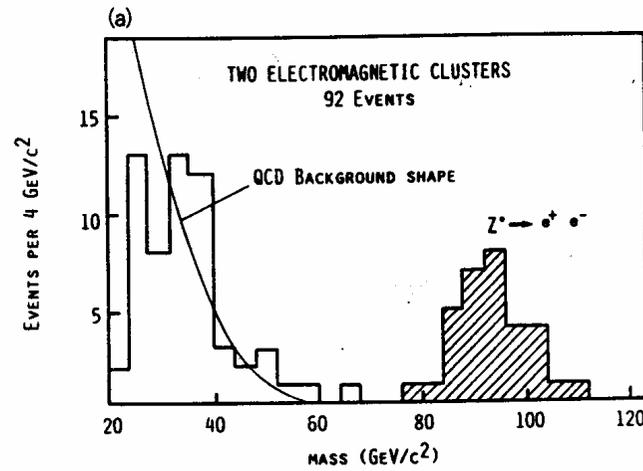
Fondo atteso da non-W e da $W \rightarrow \tau\nu$

Fig. 3.5. The lepton transverse energy distributions for the UA1 sample of well-measured $W^{\pm} \rightarrow e^{\pm} \nu_e$ events, (a) the electron transverse energy distribution and (b) the neutrino transverse energy distribution. The shaded parts show the expected contributions from jet-jet fluctuations (cross-hatched) and $W \rightarrow \tau\nu$ decays with $\tau \rightarrow$ hadrons (top left to bottom right hatching) and $\tau \rightarrow e\nu_e \nu_e$ (top right to bottom left hatching). The curves show the predictions for the background subtracted distributions (normalized to the data) corresponding to W with a mass of $83.5 \text{ GeV}/c^2$. Transverse energy and transverse momentum are in this case equivalent expressions (UA1 [21]).

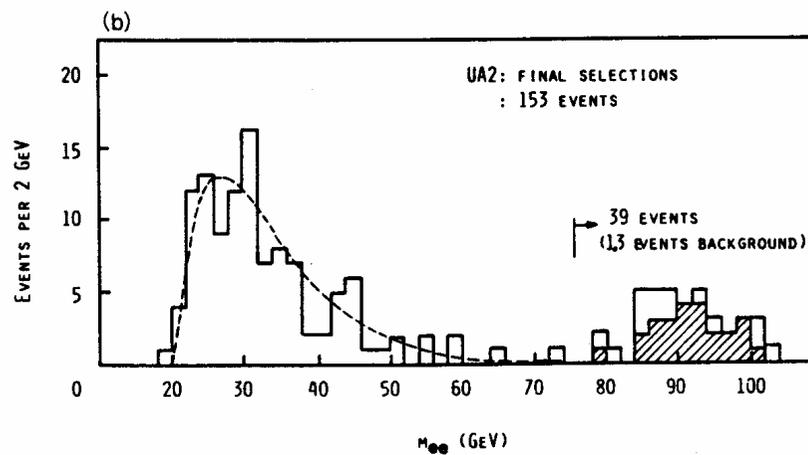
PICCHI DI MASSA DELLO Z

G. Salvini and A. Silverman, *Physics with matter-antimatter colliders*

345



UA1



UA2

Fig. 3.9. (a) The distribution of e^+e^- pairs, recognized as $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ processes (UA1 [21]). (b) The e^+e^- events, collected by UA2 [22].

Carlo Rubbia e Simon Van der Meer



Nell'ottobre del 1984 la scoperta del W e dello Z fu premiata con il premio Nobel a

Carlo Rubbia, il proponente della conversione del SpS in collisionatore e leader di UA1,

Simon Van der Meer, inventore del metodo di “raffreddamento” degli antiprotoni che condensandone il fascio aumentò di molto la luminosità della macchina rendendo possibile l'esperimento.

FISICA DEI GETTI ADRONICI AL COLLIDER SpS

Il primo evento indiscutibile fu mostrato da UA2

Simulando la frammentazione dei partoni nel divenire getti si poteva risalire al quadrimomento del partone originario e paragonare la sezione d'urto misurata alle previsioni di QCD perturbativa.

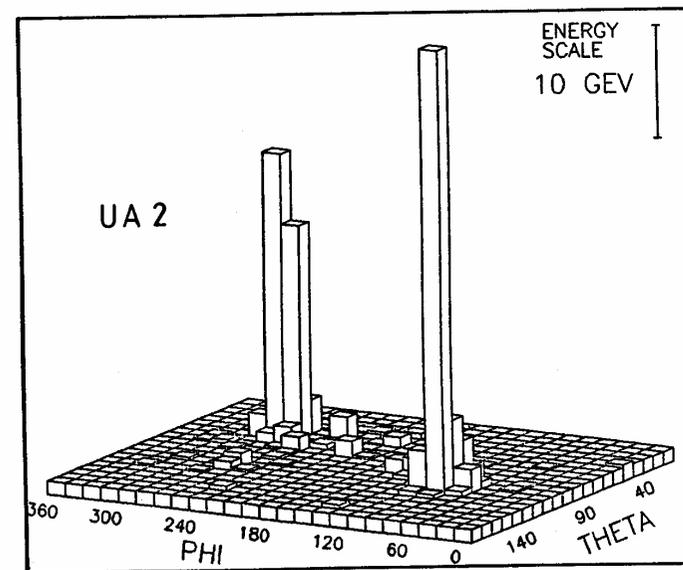
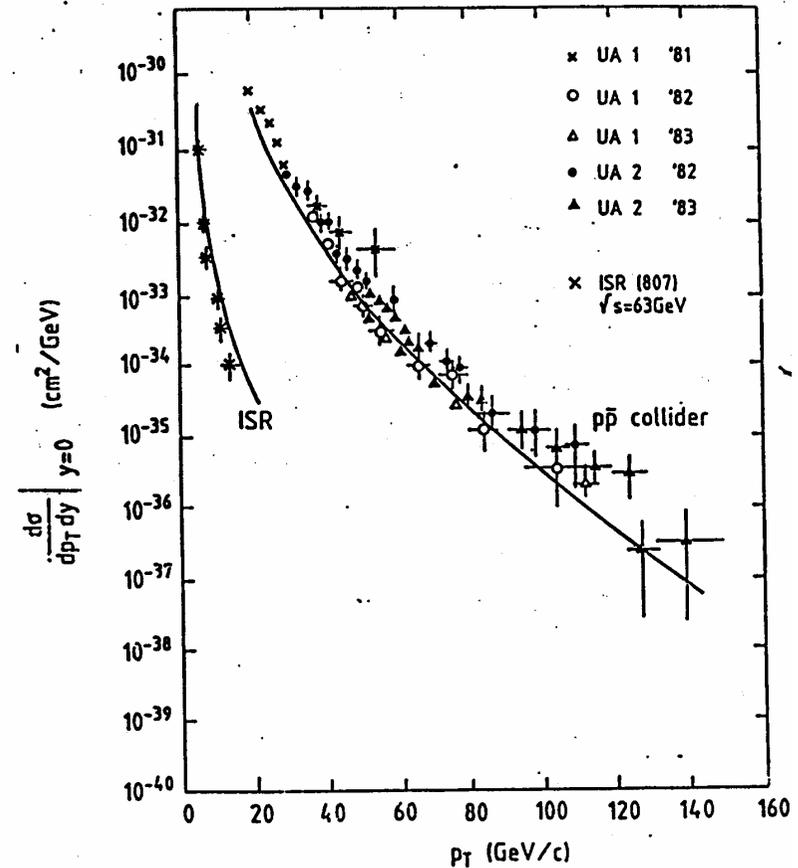


Fig. 10 The highest E_T event of Fig. 9, showing the E_T distribution in θ and ϕ (experiment UA2)

LA SEZIONE D'URTO DI GETTI IN FUNZIONE DELLA ENERGIA

Confrontando la sezione d'urto di getti agli ISR e al SpS ci si rese conto che la energia del ISR era appena alla soglia per la produzione di getti.

Per getti della massima energia raggiungibile agli ISR (attorno ai 15 GeV), la sezione d'urto al SpS era enormemente piu` grande e pertanto permetteva un loro studio molto piu` accurato.



LO SCATTERING ELASTICO DI UA4

36

R. Battiston et al. / The "Roman pot" spectrometer

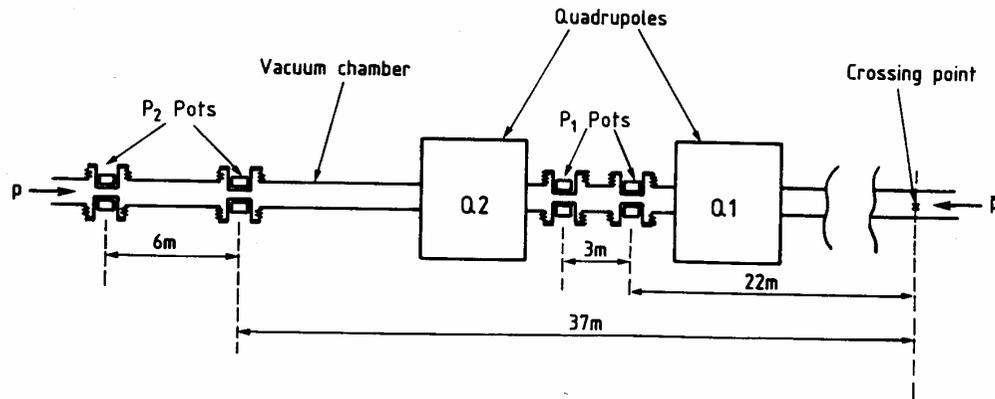
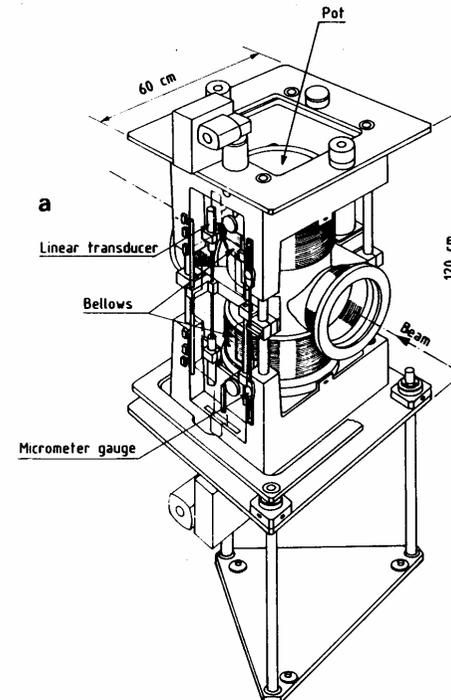


Fig. 1. Layout of the "Roman pot" spectrometer. Only the left (\bar{p}) side is shown, the other side is symmetric with respect to the interaction point. Q_1 and Q_2 represent two pairs of machine quadrupoles. The detectors are placed inside the pots, arranged in telescopes P_1 and P_2 .

UA4 misurò $d\sigma/dt$, σ_t , la parte reale ρ della ampiezza di scattering in avanti a $\sqrt{s} = 540$ GeV con rivelatori fino a ~ 1 mr



SEZIONE D'URTO TOTALE ANTI PROTONE-PROTONE

Agli ISR la sezione d'urto totale antiprotone protone risultò leggermente maggiore di quella protone protone.

La crescita della sezione d'urto totale con l'energia fu chiaramente confermata anche a $\sqrt{s} = 540$ GeV.

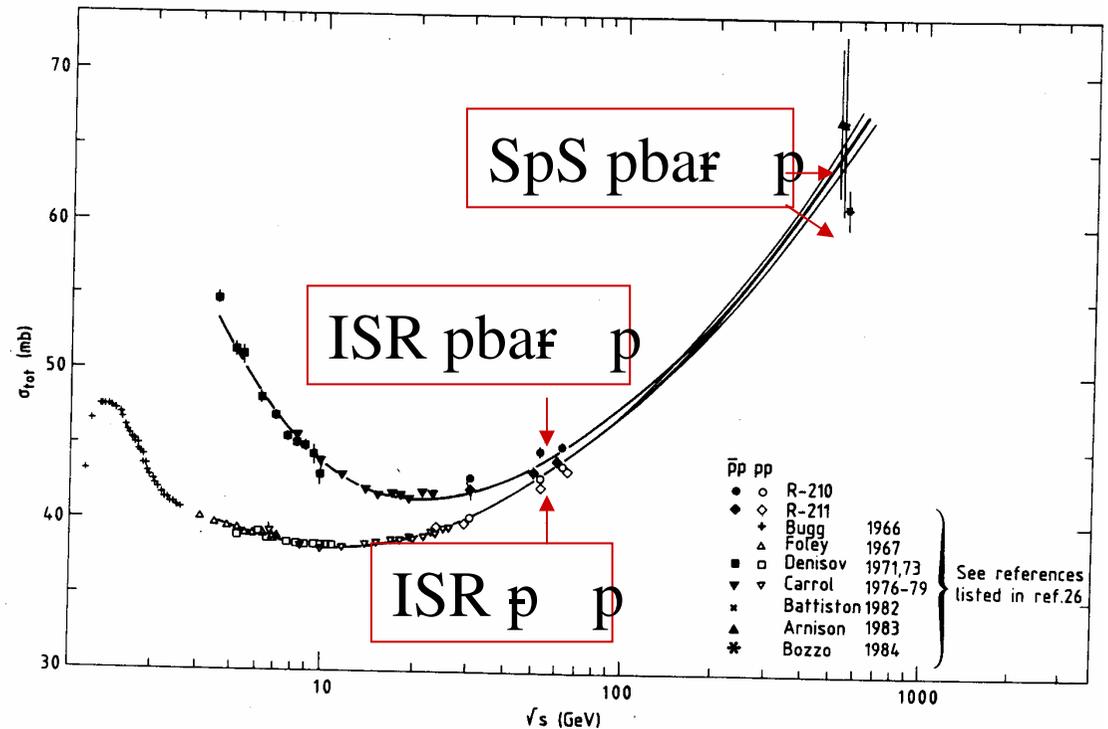


Fig. 7. The behaviour of $\sigma_{tot}(pp)$ and $\sigma_{tot}(p\bar{p})$ as a function of \sqrt{s} .

IL LASCITO DEL COLLIDER SpS

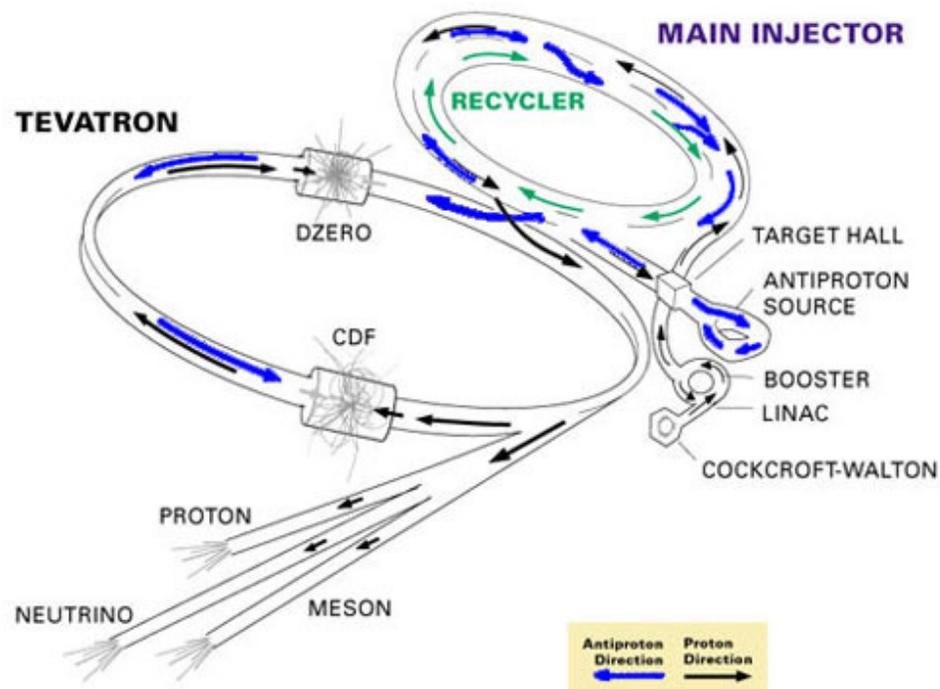
Al momento della chiusura del collisionatore SpS nel 1992 la chiarezza dei segnali dei W, Z e dei getti adronici a grandi Q^2 avevano promosso i collisionatori adronici al ruolo di macchine di precisione nella ricerca e nello studio di fenomeni nuovi di fisica subnucleare alle più alte energie.

II COLLISIONATORE TEVATRON

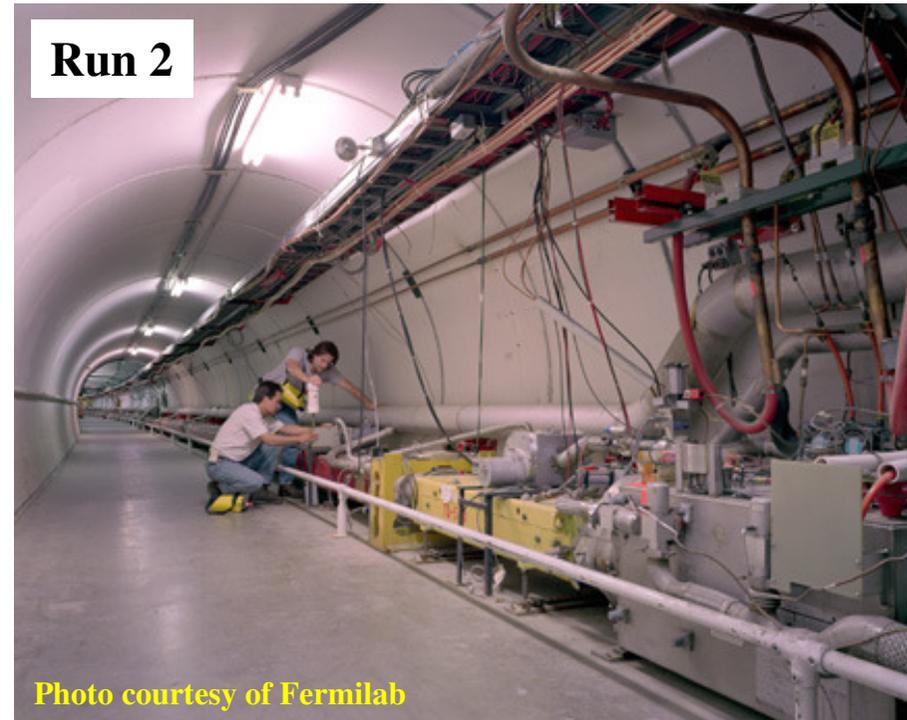
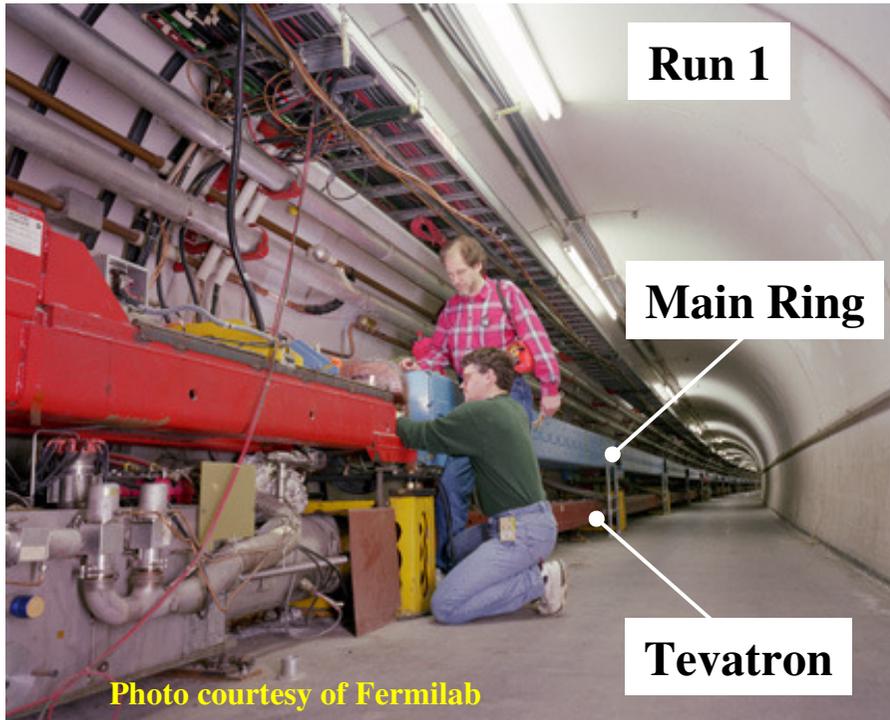
Protoni ed antiprotoni si scontrano in due punti a ~ 2 TeV (1.8 TeV nel run 1) nel s.c.m.

Valori tipici (anno 2008):
L di picco $\sim 2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
L integrata $\sim 30 \text{ pb}^{-1}/\text{settimana}$

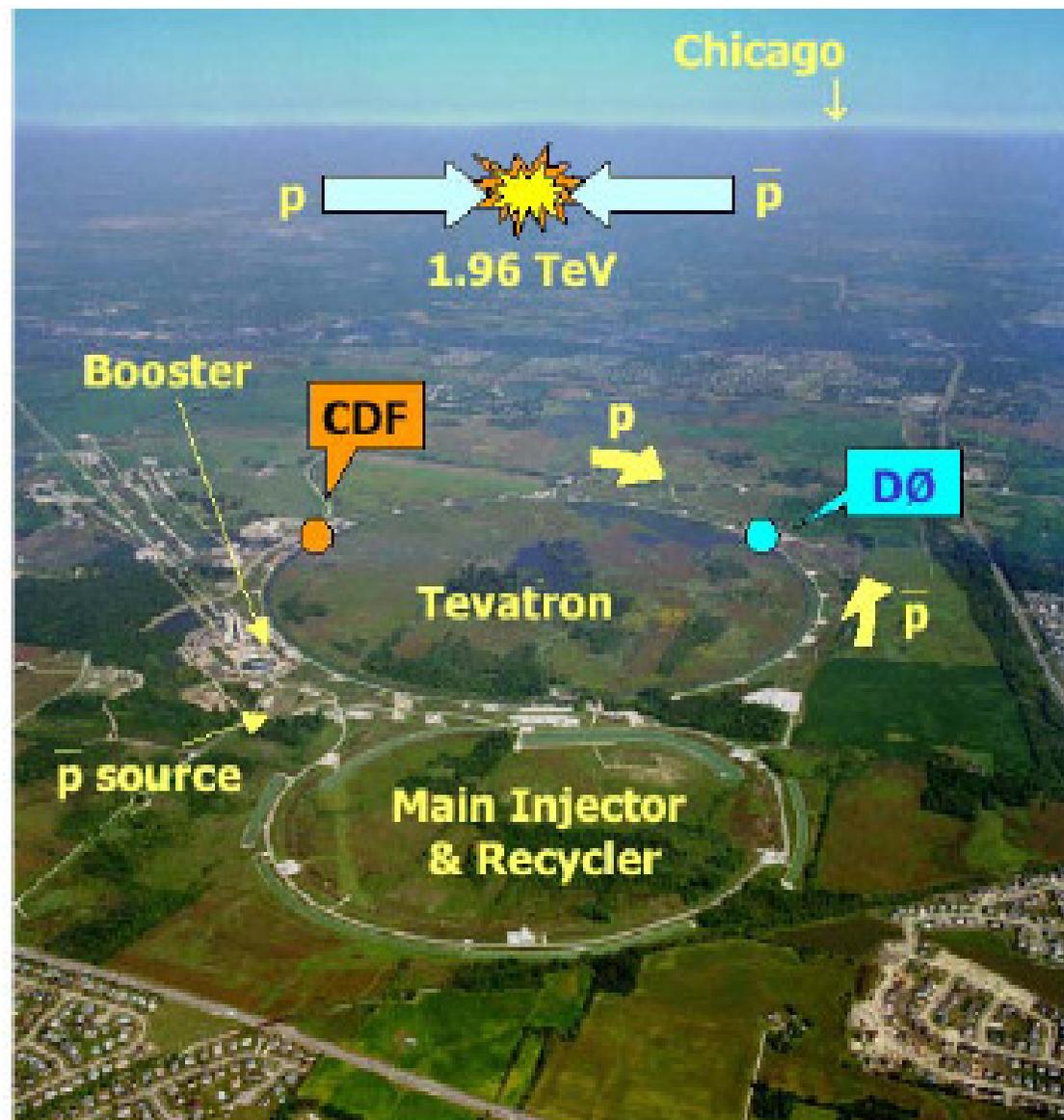
Due esperimenti, CDF e D0.



IL TEVATRON DAL RUN 1 (<1996) AL RUN 2 (>2001)



FERMILAB OGGI (anno 2007)



LA FISICA DI CDF E D0

Massa e proprietà del quark top

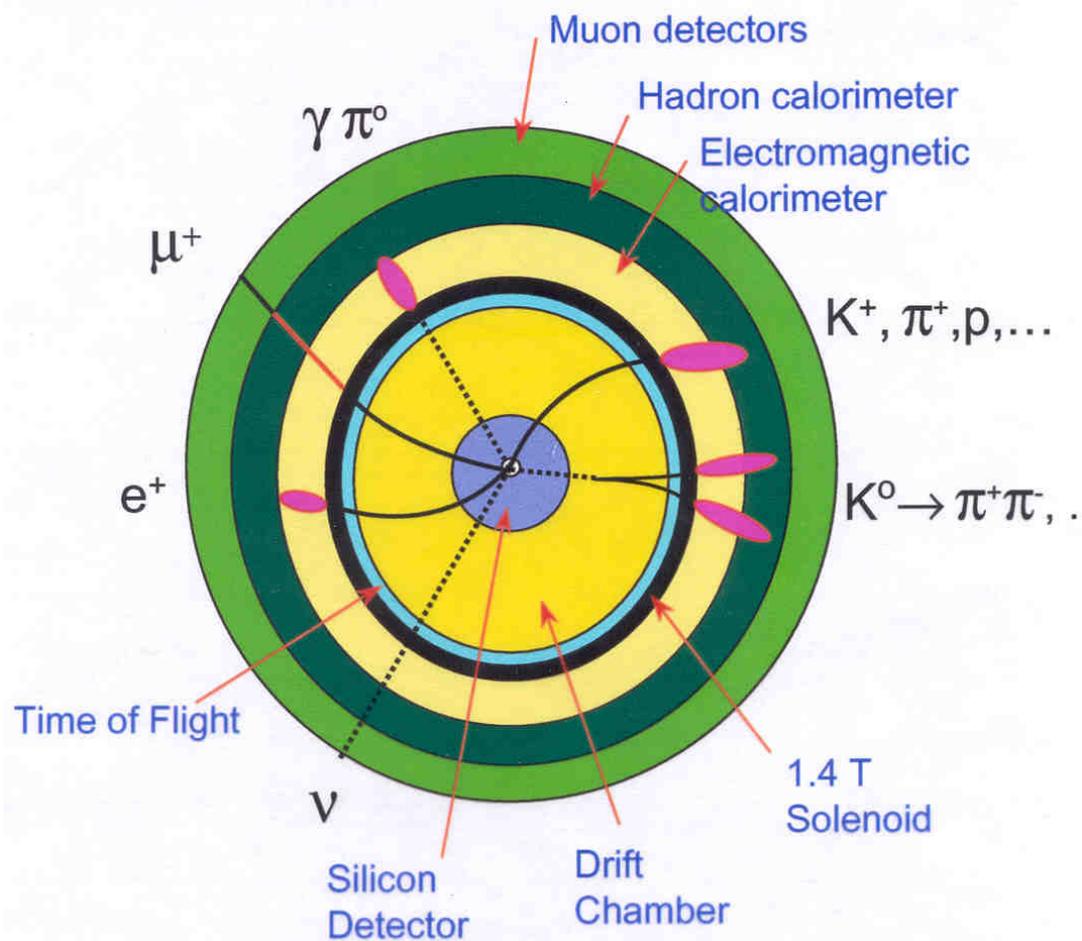
Massa del W e proprietà dei processi elettrodeboli

Ricerca del bosone di Higgs

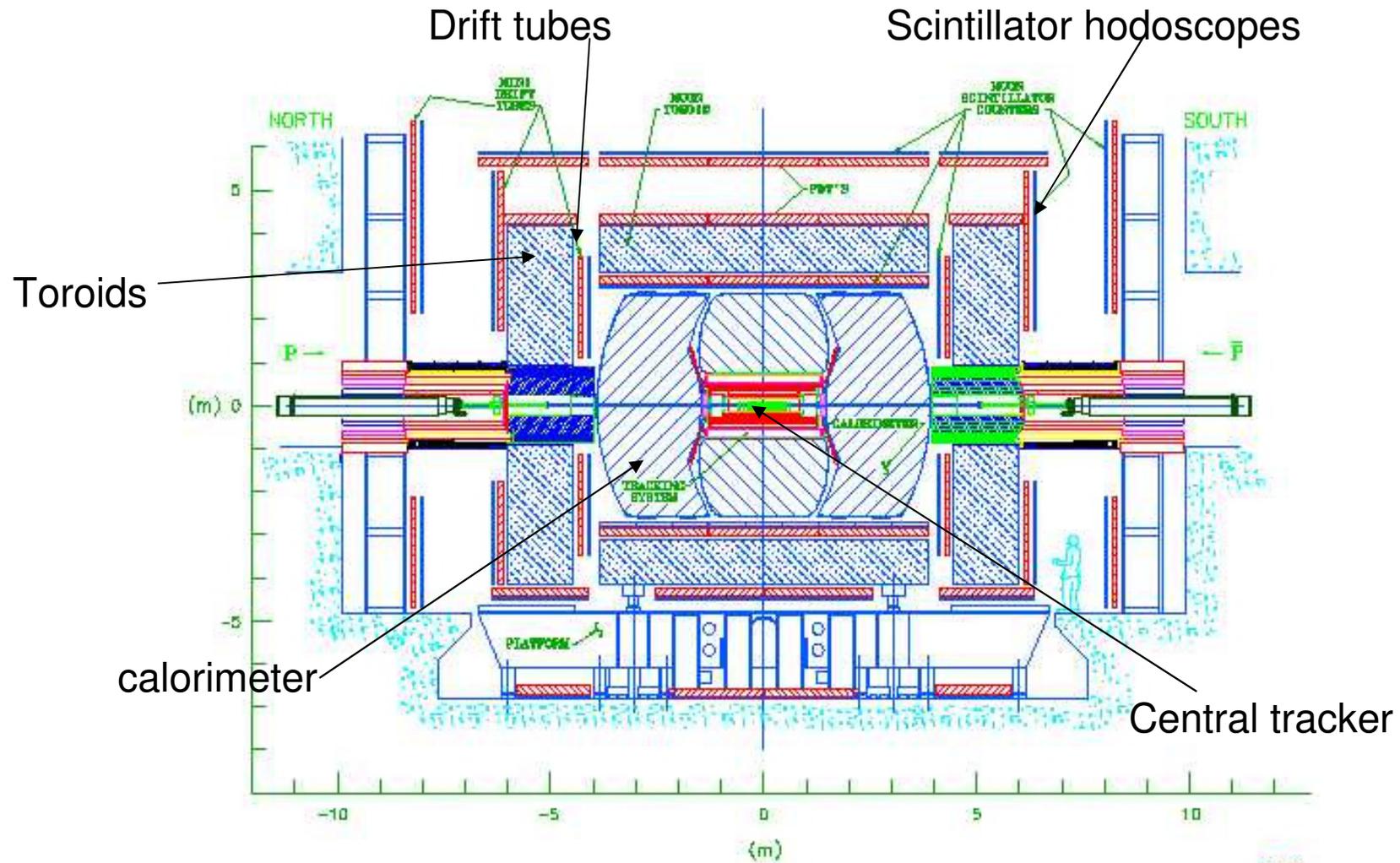
Ricerca di fisica oltre il Modello Standard

Misure di precisione sulle proprietà degli adroni B

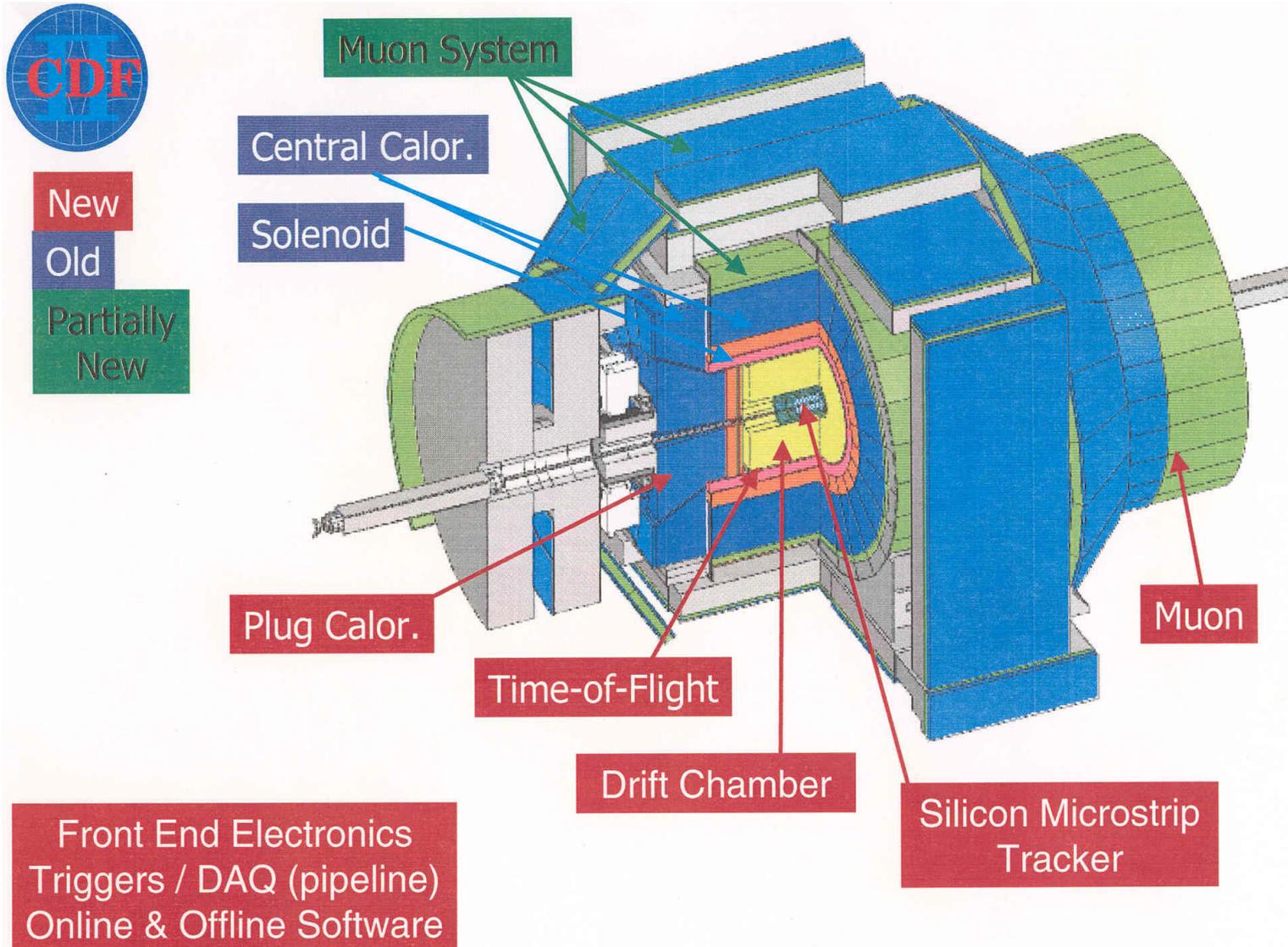
Riconoscimento delle particelle in CDF 2



D0 NEL RUN 2

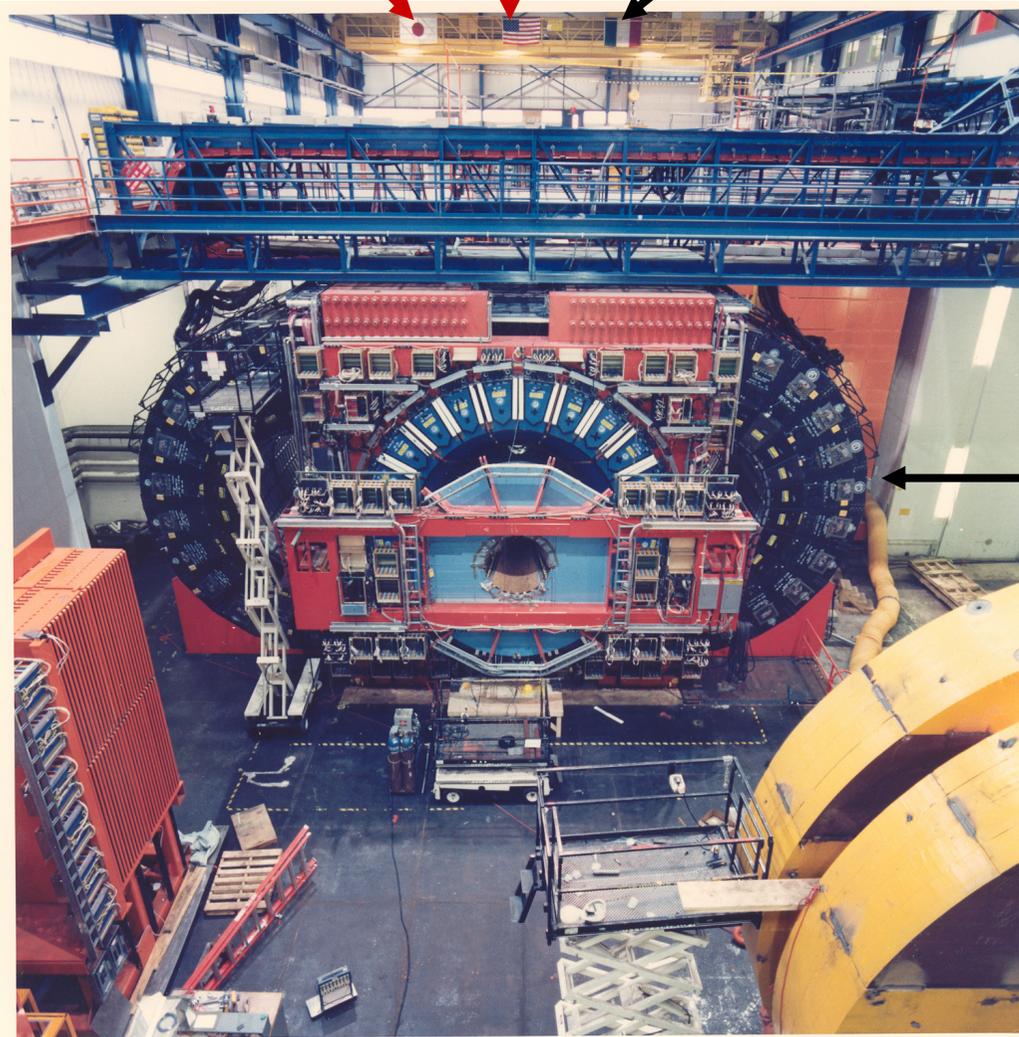


CDF NEL RUN 2



II RIVELATORE CENTRALE DI CDF

Giappone USA Italia



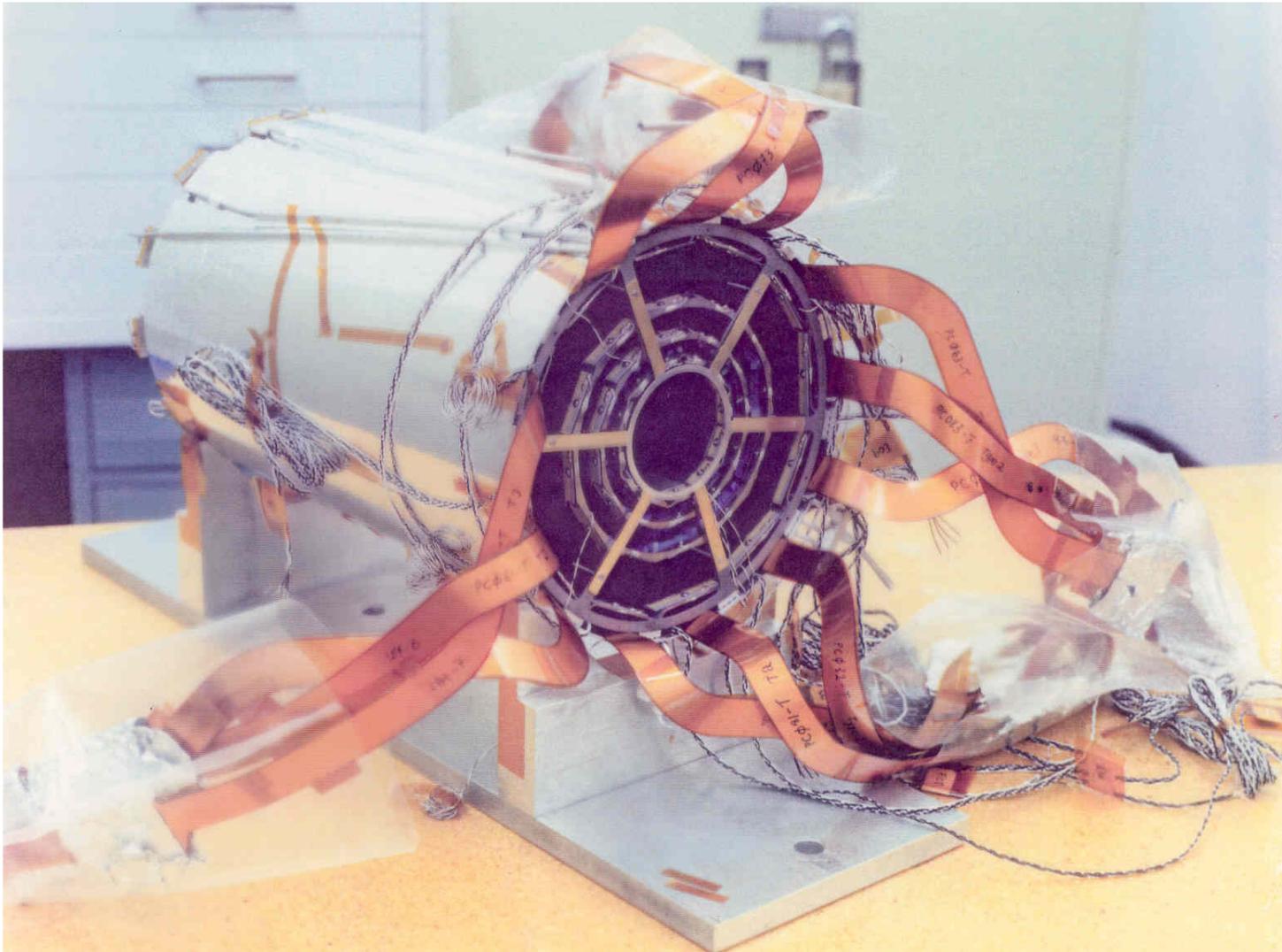
Calorimetro
centrale

ITALIANI AL LAVORO



Tutta la parte sensibile dei 50 spicchi del calorimetro adronico centrale e` stata progettata, costruita e messa in opera dagli italiani.

UNO DEI DUE SETTORI DI SVX 1



Il rivelatore di vertice al silicio è stato un progetto italiano.

Uno dei due settori è ora conservato al Dipartimento di Fisica di Pisa.

DIECI ANNI DI LIMITI INFERIORI

Esperimento	Anno	Limite inferiore
Petra (DESY)	1984	$M_{\text{top}} > 22 \text{ GeV}/c^2$
PEP (SLAC)	1984	22
Tristan (KEK)	1988	26
SLC (SLAC)	1989	41
LEP (CERN)	1989	45
UA1 (CERN)	1990	50
UA2 (CERN)	1991	77
CDF (CERN)	1991	77
CDF (FNAL)	1992	91
D0 (FNAL)	1994	131

LA RICERCA DEL TOP AL COLLISIONATORE SpS

Se $M_{\text{top}} < M_W$ si prevede

$$\sigma(W \rightarrow tb) = 3\sigma(W \rightarrow ev)\phi(M_{\text{top}}), \quad (\phi = \text{spazio delle fasi})$$

con la corrispondente segnatura nello stato finale

$$p\text{-antip} \rightarrow W+X \rightarrow t+b_1+X \rightarrow (W^*b_2)+b_1+X \rightarrow (\ell\nu b_2)+b_1+X$$

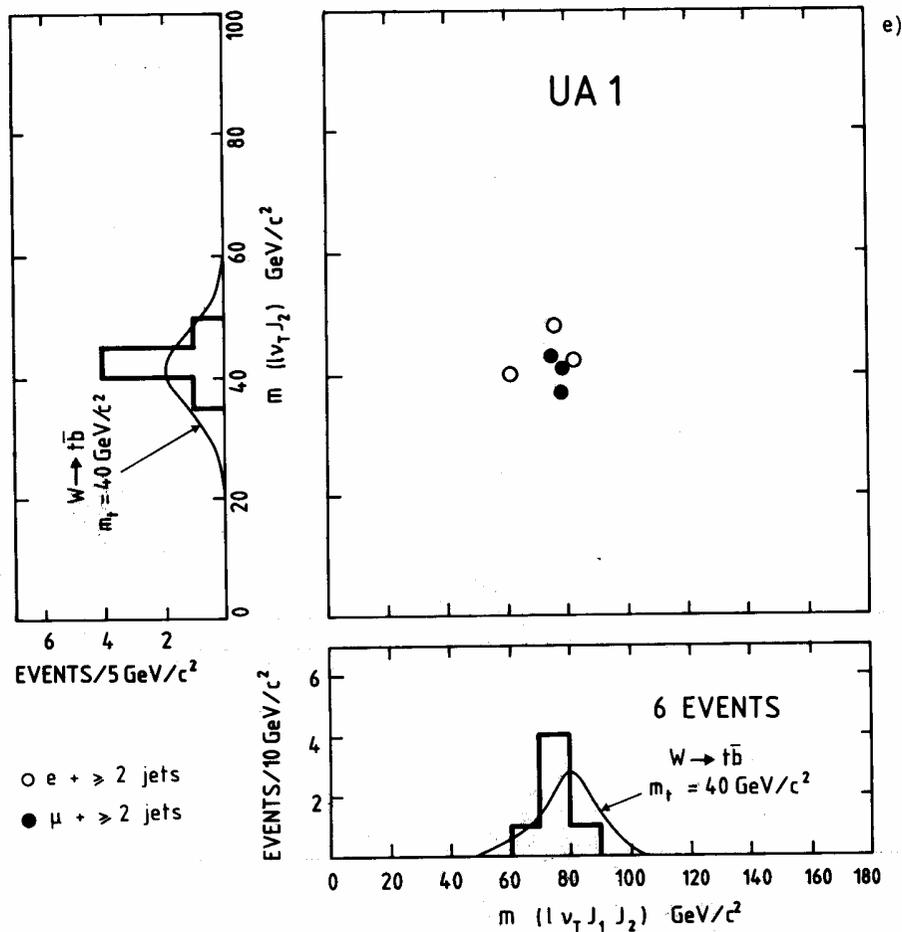
dove

$$\begin{aligned} M(\ell\nu b_2) &= M_{\text{top}} \\ M(\ell\nu b_2+b_1) &= M_W \end{aligned}$$

UN INGANNEVOLE SEGNALE DI TOP IN UA1

276

Physics 1984



$$M_{\text{top}} \sim 40 \text{ GeV}$$

G. Arnison et al, Phys.Lett. B147
(1984), 493.

LA GARA DI CDF CON UA2

Nel 1991 UA2 e CDF misurarono
 $M(\text{top}) > 77 \text{ GeV}$ al 95% c.l.

Si capì che il top era troppo massivo per
essere prodotto nel decadimento del W.

La energia del SpS si dimostrò insufficiente.
UA2 abbandonò, il collisionatore SpS fu
chiuso.

GLI EVENTI DI TOP SE $M_{\text{top}} > M_W$

Alla energia del Tevatron il processo più frequente è la produzione in coppie top-antitop

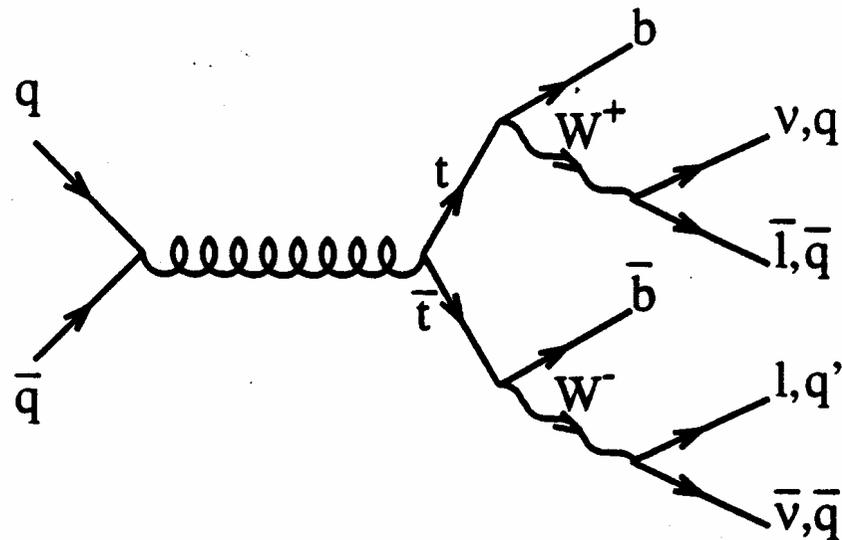
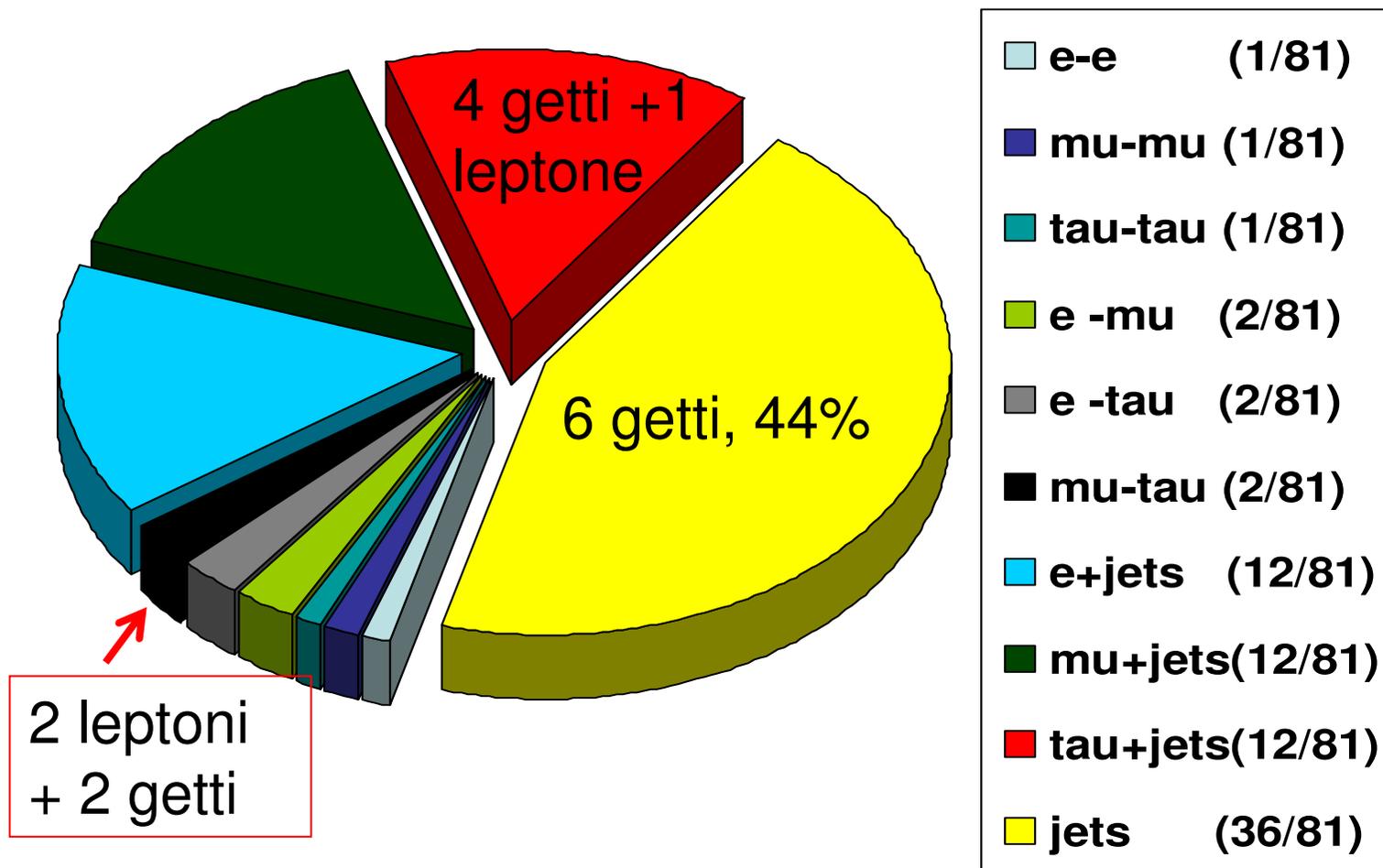
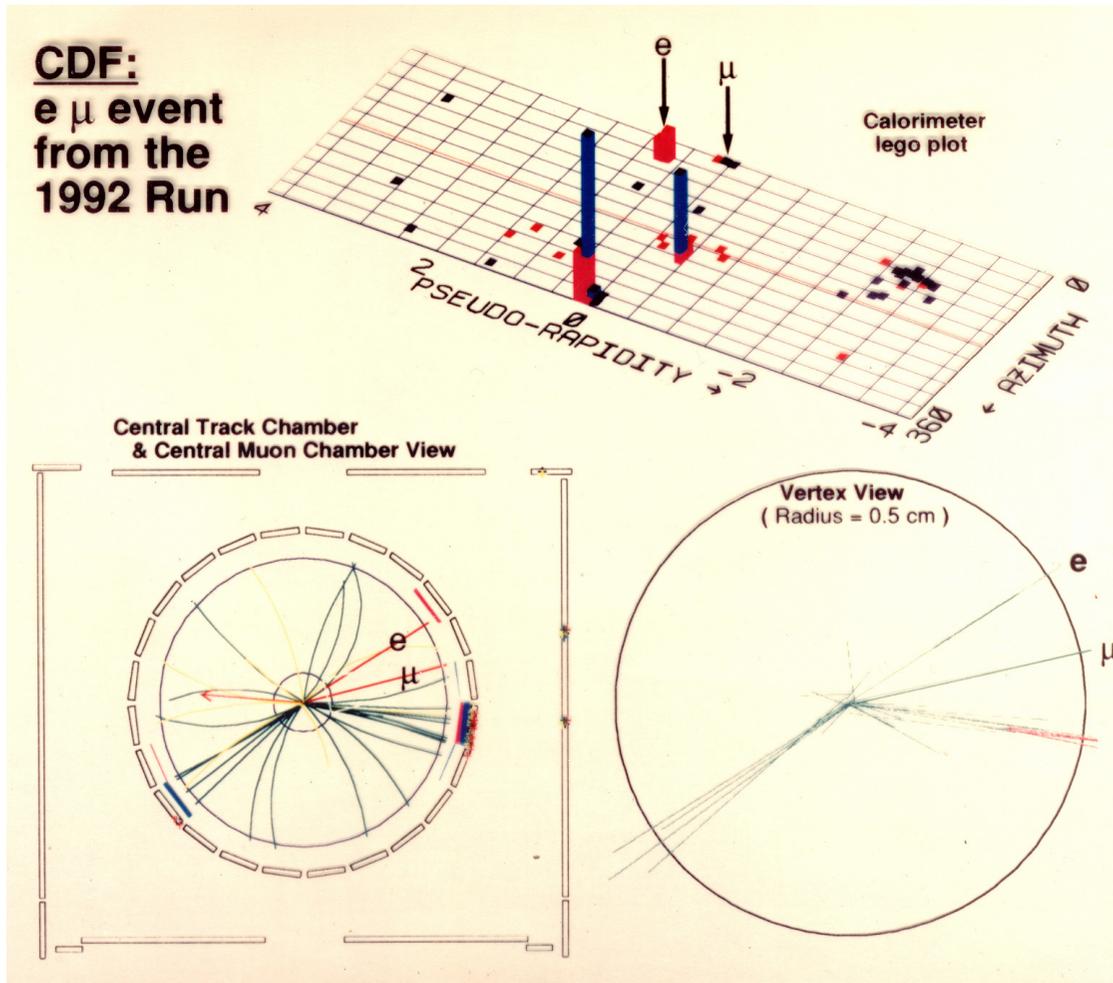


Figure 28: Tree level top quark production by $q\bar{q}$ annihilation followed by the Standard Model top quark decay chain.

GLI STATI FINALI DELLE COPPIE TOP-ANTITOP



UN CANDIDATO TOP-ANTITOP NEI CALORIMETRI DI CDF



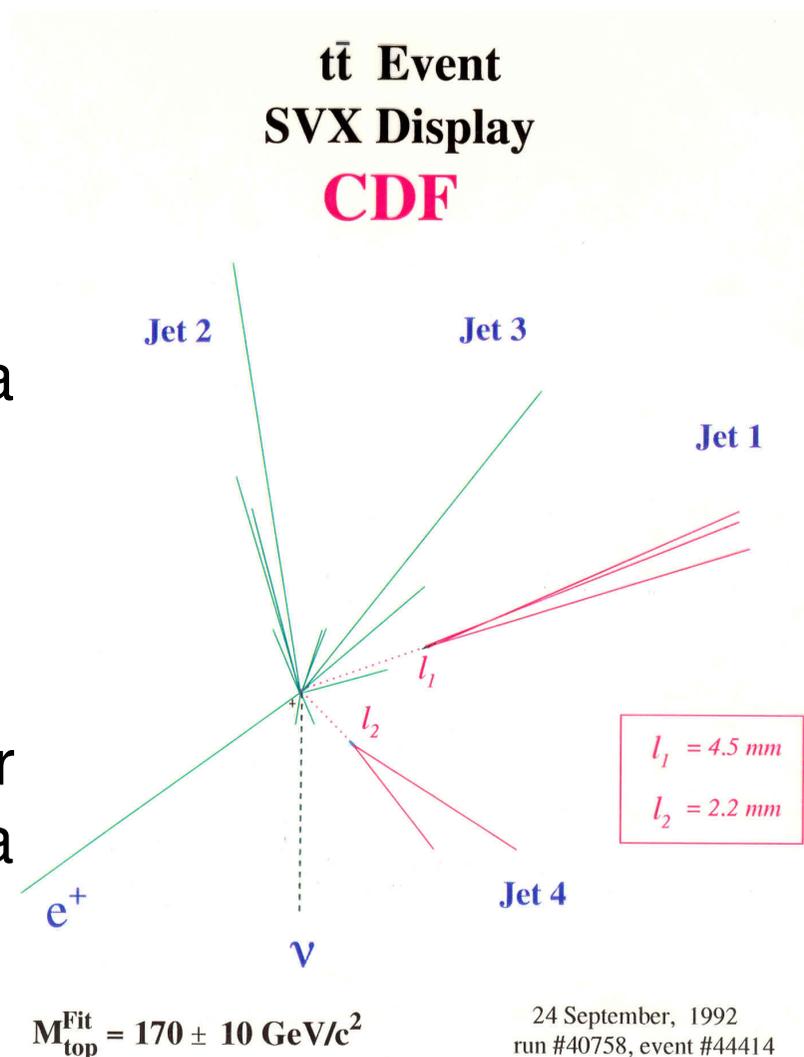
Gli eventi dileptonici sono caratteristici della coppia top-antitop.

Nel 1994:
0,54 eventi attesi
2 eventi osservati

IL RUOLO DEI VERTICI SECONDARI

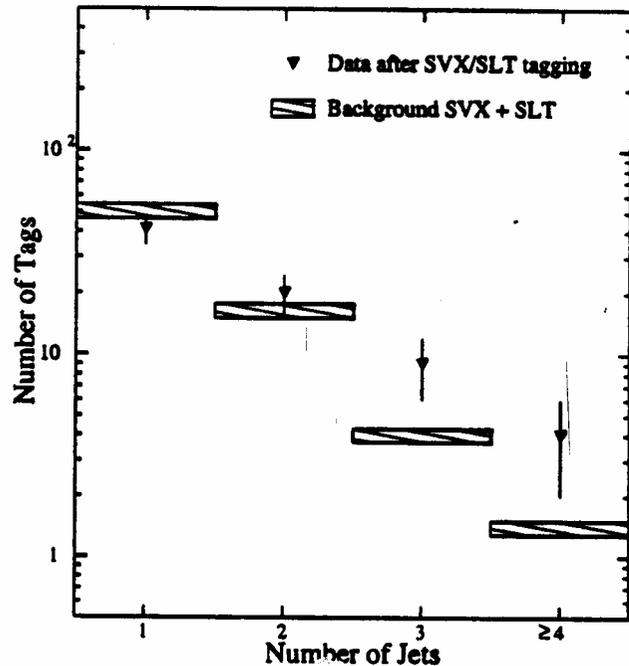
I vertici secondari sono una
segnatura caratteristica
della natura top-antitop
degli eventi.

Una ulteriore segnatura per
getti da quark b è fornita da
muoni singoli contenuti in
getti adronici.



I VERTICI SECONDARI NEI GETTI DI CDF NEL 1994

data.



Gli eventi leptonici singoli hanno quattro getti di cui due sono originati da quark b.

Negli eventi “single lepton” furono osservati 6 vertici secondari con un fondo stimato di 2,3.

Figure 34: The sum of CDF SVX and soft lepton tags observed in $W + \text{jets}$ data compared with background estimates. The three-jet and four-jet bins are the $t\bar{t}$ signal region.

LE SEGNATURE DI TOP NELLA “EVIDENCE” DEL 1994

Sommando eventi dileptonici, vertici secondari e muoni in getti in eventi “single lepton” CDF ebbe 15 signature di tipo top-antitop . Il fondo totale atteso era 4,7 eventi.

D0 ebbe 5,9 events con un fondo atteso di 4,7 eventi e non potè nè confermare nè contraddire il risultato di CDF.

Search Category	Expect m=160	Background	Observed
D0 SEARCHES			
Dilepton	0.83	0.98	1
Kinematic	2.8	1.6	3
Soft lepton tag	1.6	2.1	3
D0 SUM	5.4 ± 0.9	4.7 ± 1.0	7
CDF SEARCHES			
Dilepton	1.3	0.56	2
Soft lepton tag	1.9	3.1	7
Silicon vertex tag	2.7	2.3	6
CDF SUM	5.9	5.9	15 (12 events)

Table 6: D0 and CDF Top Searches at a Glance.

PROBABILITA' DI FLUTTUAZIONI DEL FONDO

STATISTICAL SIGNIFICANCE

Is this a background fluctuation?

Consider the 3 searches, 1st individually, then combined.

Individual:

What is the probability that the background fluctuated to the number of events observed or more?

<u>Search</u>	<u>P</u>
Dilepton	12%
Secondary vertex	3.2%
Soft Lepton	3.8%

PROBABILITA' DI UNA FLUTTUAZIONE COMBINATA

Apply the tagging efficiencies and mistag probabilities

Select size of remaining backgrounds ($b\bar{b}$, $Z \rightarrow \tau\tau$, dibosons) from a Poisson distribution.

Add dilepton backgrounds in the same way.

$$\mathcal{P}(\geq 15 \text{ "counts"}) = 2.6 \times 10^{-3}$$

(method 1 background)

For a gaussian distribution, $\mathcal{P} = 0.26\% \Rightarrow 2.8\sigma$

L'ANALISI DI MASSA DEL 1994

L'analisi dei 7 eventi ricostruibili indicava un picco di massa a $m_t = 174 \pm 17 \text{ GeV}/c^2$. La probabilità che il picco fosse una fluttuazione del fondo fu stimata nel 2,3%. Questa era evidenza ulteriore a quella fornita dal numero degli eventi.

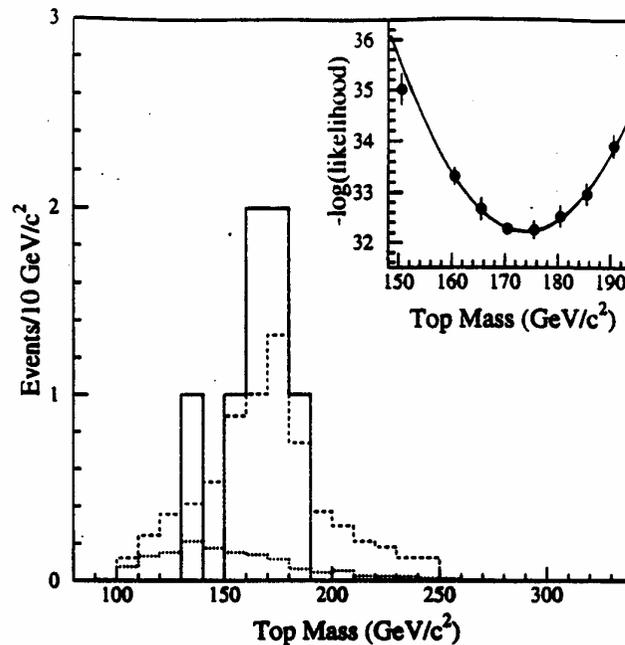
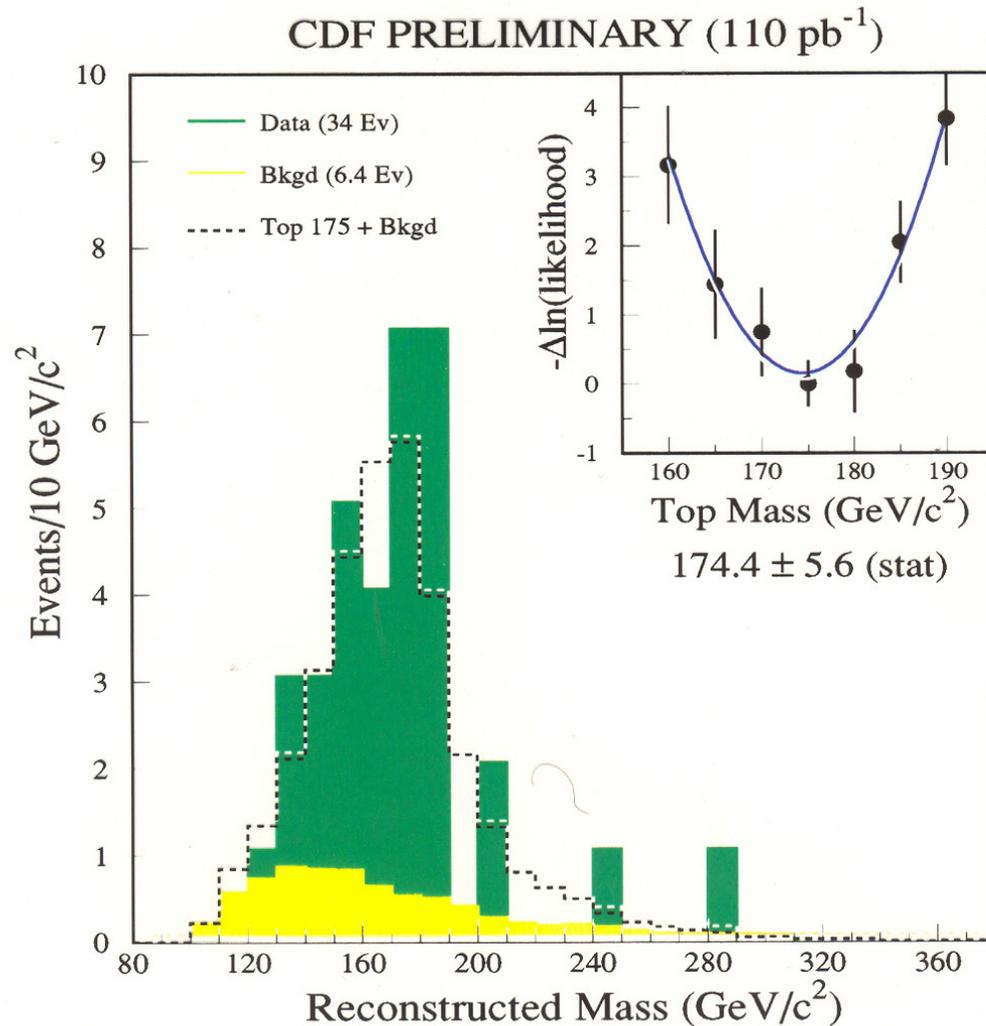


Figure 35: CDF top mass distribution (solid histogram) compared with the W + jets background prediction (dots) and the predicted signal+background distribution normalized to the data for $m_t = 175 \text{ GeV}$ (dashed). The inset shows the likelihood fit results.

LA SCOPERTA DEL TOP NEL 1995



Nel 1995 sia CDF che D0 ebbero dati sufficienti per annunciare la scoperta.

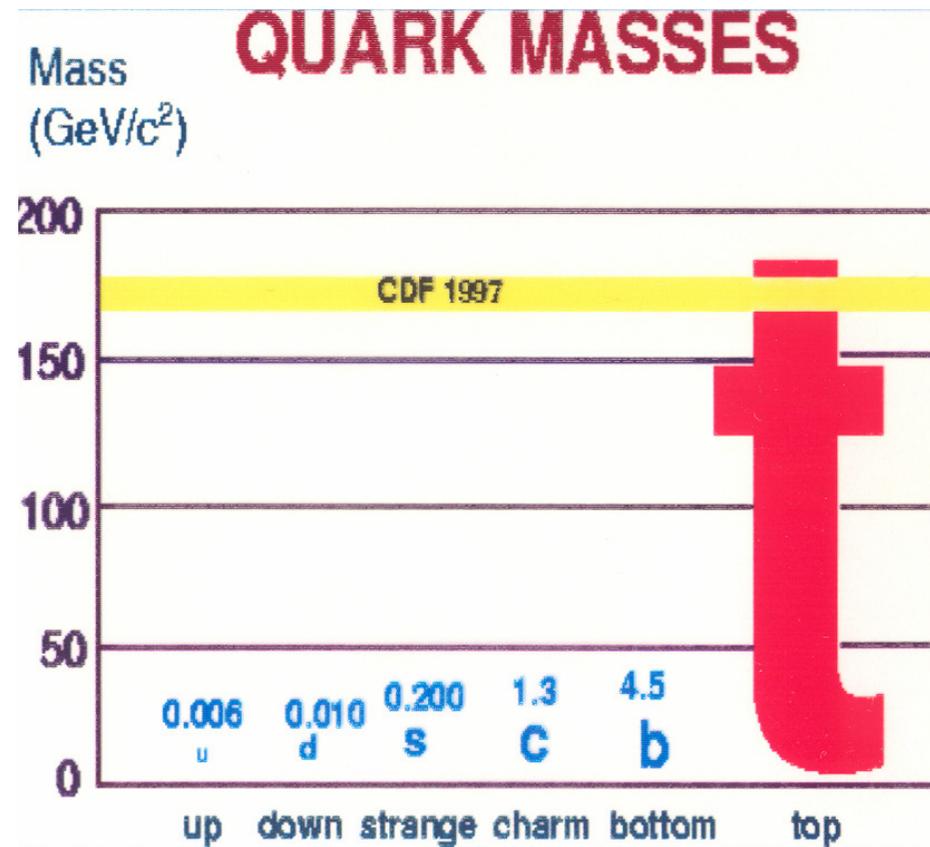
CDF misurò

$$M_{\text{top}} = 176 \pm 13 \text{ GeV}/c^2.$$

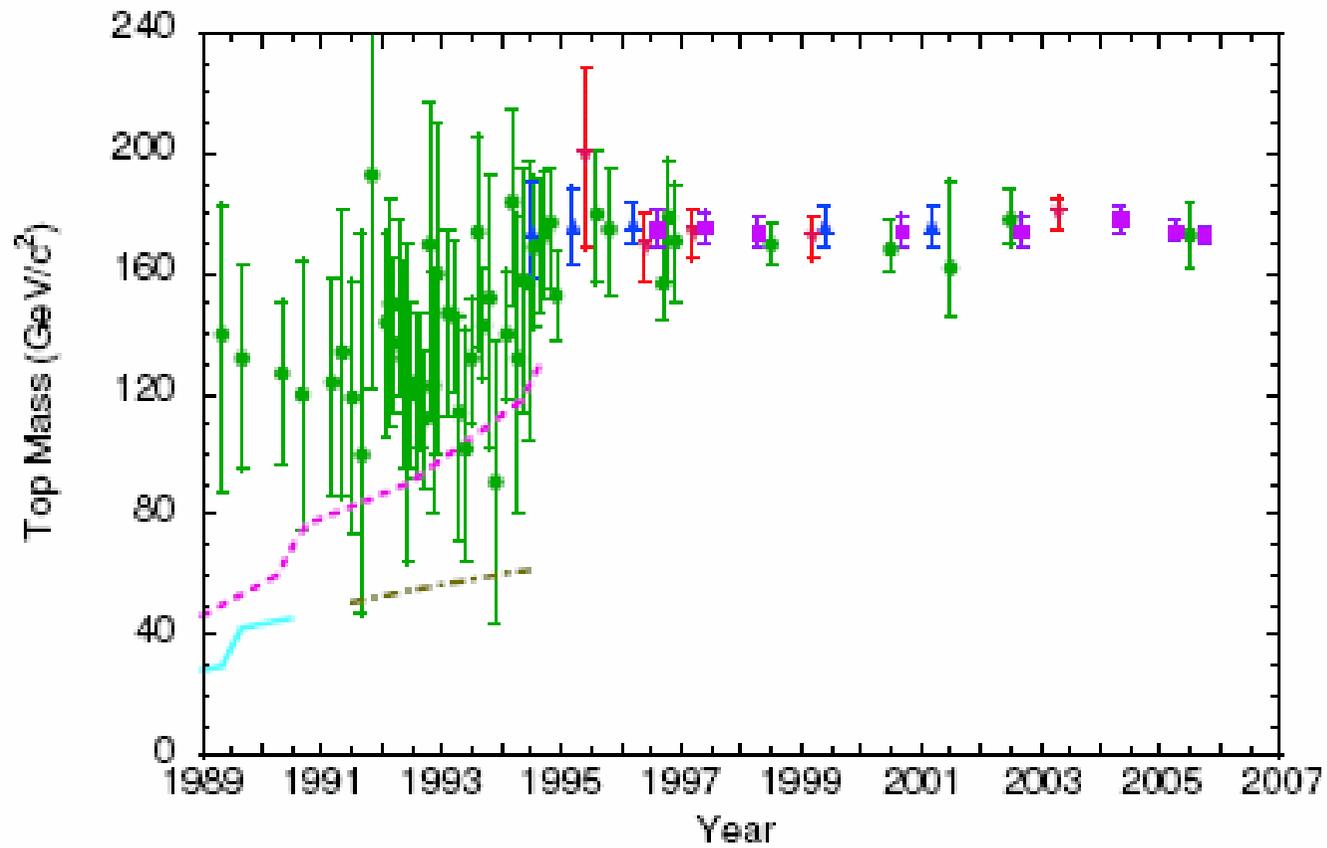
Attualmente (febbraio 2008) il loro risultato combinato è

$$M_{\text{top}} = 172.6 \pm 1.4 \text{ GeV}/c^2$$

LE MASSE DEI QUARK A CONFRONTO



PREVISIONI INDIRETTE E MISURE DI M_{TOP}



DOPO IL TOP, IL RUN 2

Dopo la scoperta del top ed in vista del run 2 molti nuovi gruppi sono entrati in CDF:

Svizzera, Germania, Russia, Francia, Inghilterra, Spagna, Canada, Cina, Corea, Finlandia, Slovacchia, Grecia

Il run2 proseguirà fino all'era di LHC (anno 2009? 2010?) integrando $L_{\text{run2}} \gg L_{\text{run1}}$, presumibilmente $L_{\text{run2}} > 6,5 \text{ fb}^{-1}$

SAPERNE DI PIU' SUL QUARK TOP

Analisi iniziate nel run1 che diventeranno importanti nel run2:

Top singolo, $\sigma(W^* \rightarrow tb)$, misura diretta di V_{tb}

$Br(t \rightarrow Wq) \neq 0$ se $q \neq b$?

$Br(t \rightarrow H^+b) \neq 0$? (SUSY Higgs)

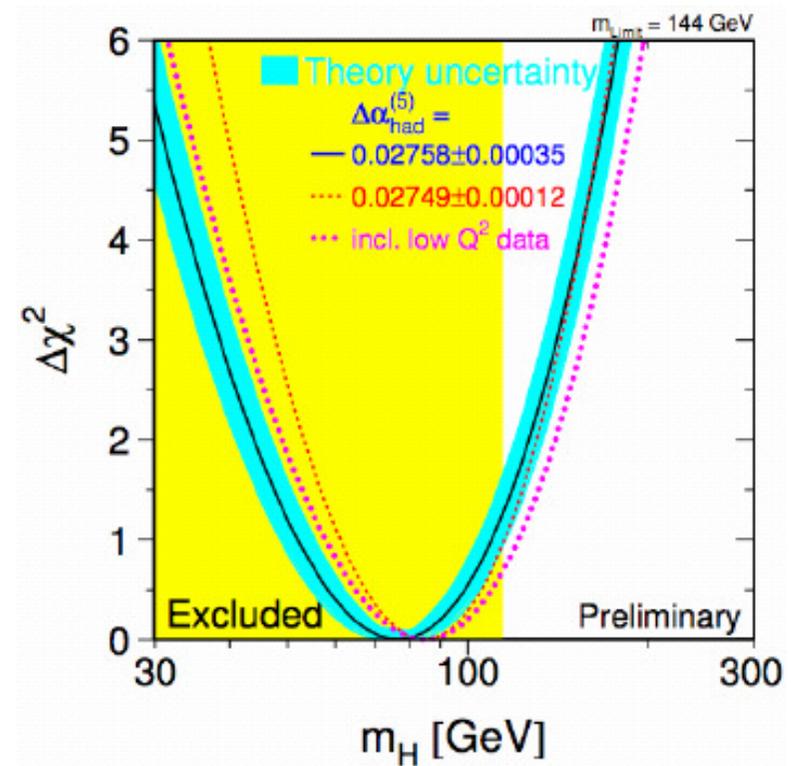
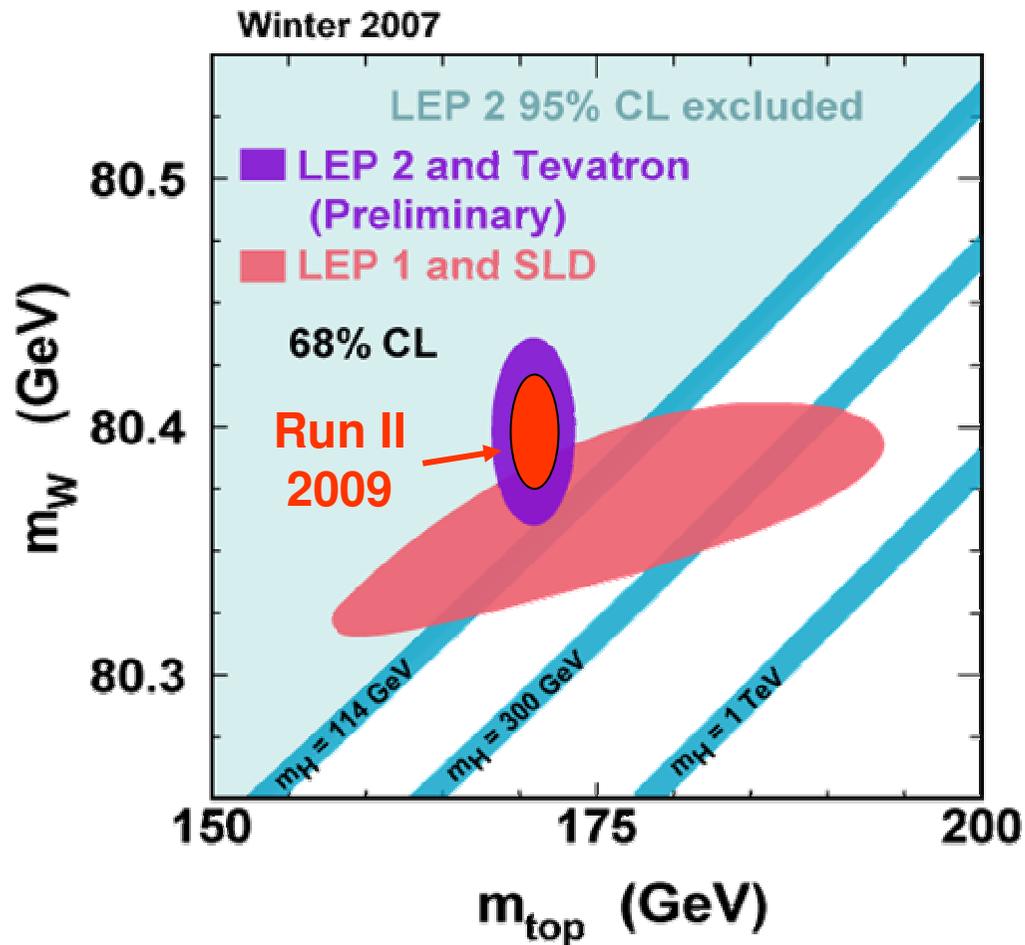
$Br(t \rightarrow \gamma q) = ?$, $Br(t \rightarrow Zq) = ?$ (decadimenti proibiti nel MS)

Carica del top = $2/3 e$?

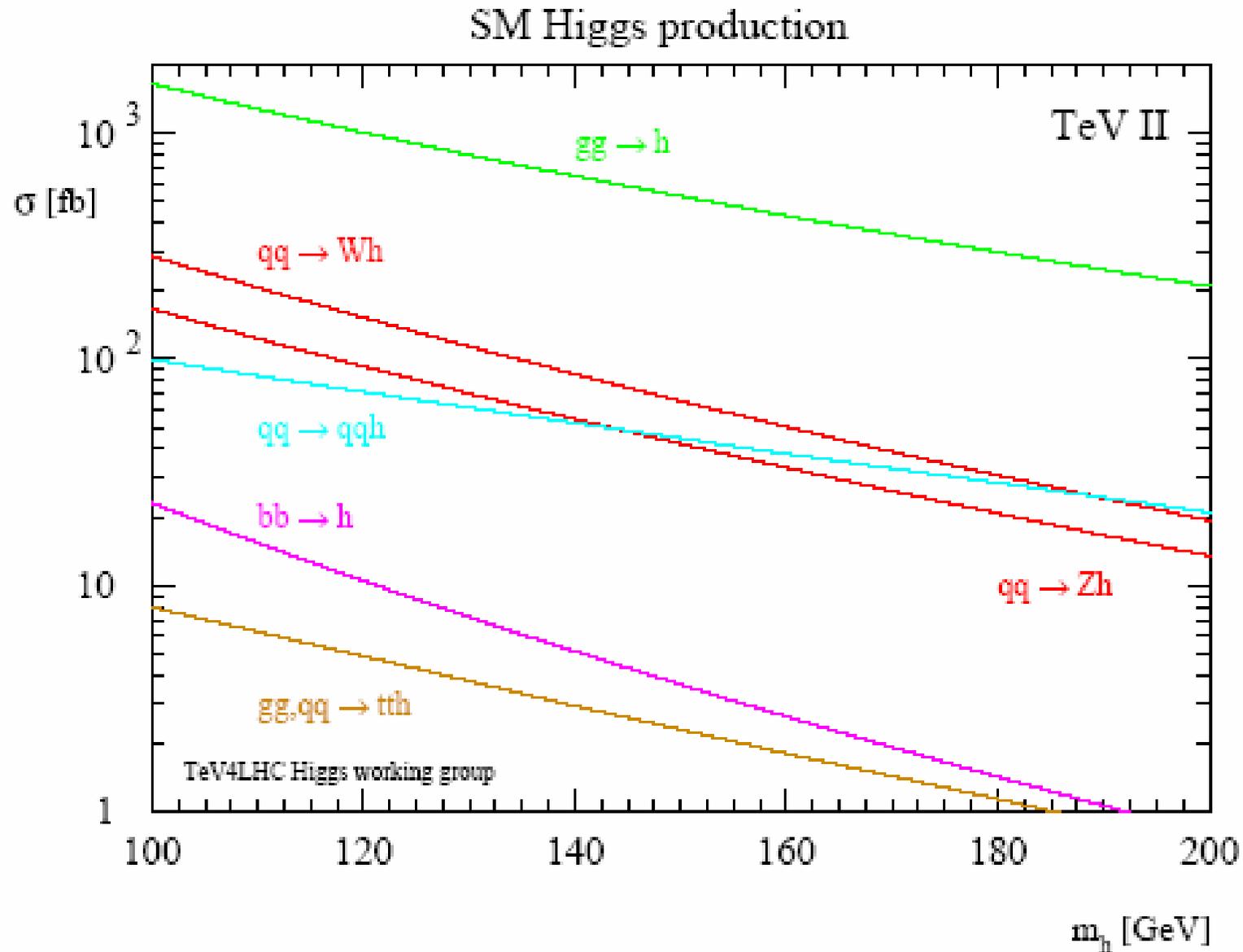
Larghezza della massa del top?

INDICAZIONI SU M_H (dicembre 2007)

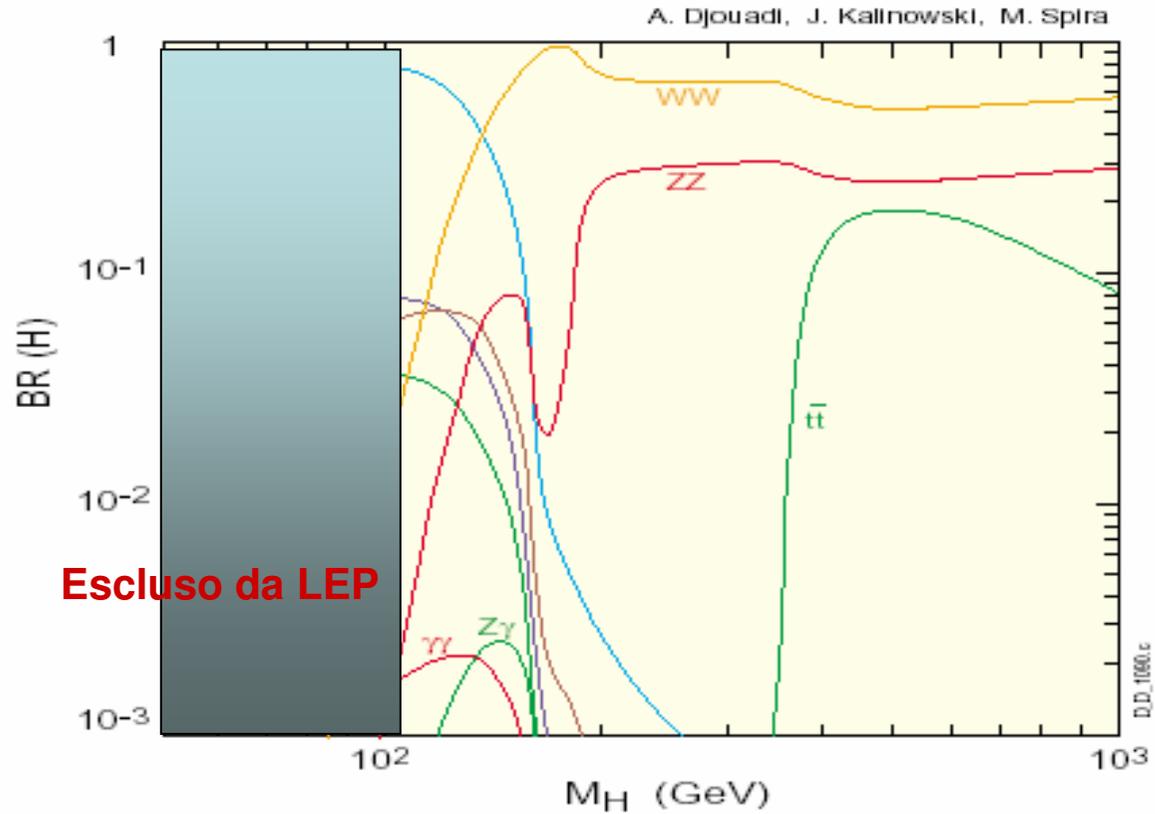
$M_H < 182$ GeV al 95% c.l.



PRODUZIONE DEL HIGGS AL TEVATRON



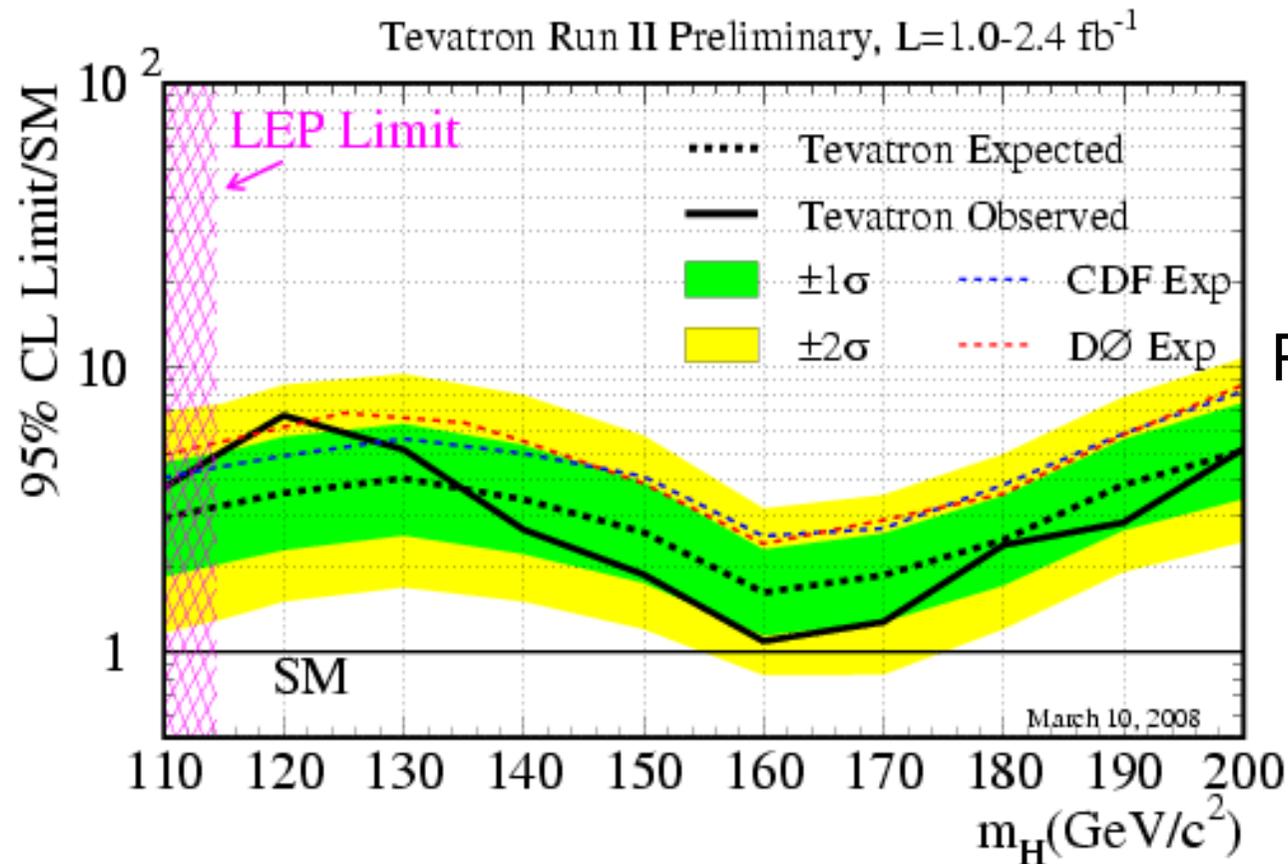
CANALI DI DECADIMENTO DEL HIGGS



- I canali più interessanti al Tevatron:
- $pp \rightarrow WH \rightarrow l\nu bb$,
- $pp \rightarrow ZH \rightarrow llbb$ ($\nu\nu bb$),
- $pp \rightarrow H \rightarrow WW$,

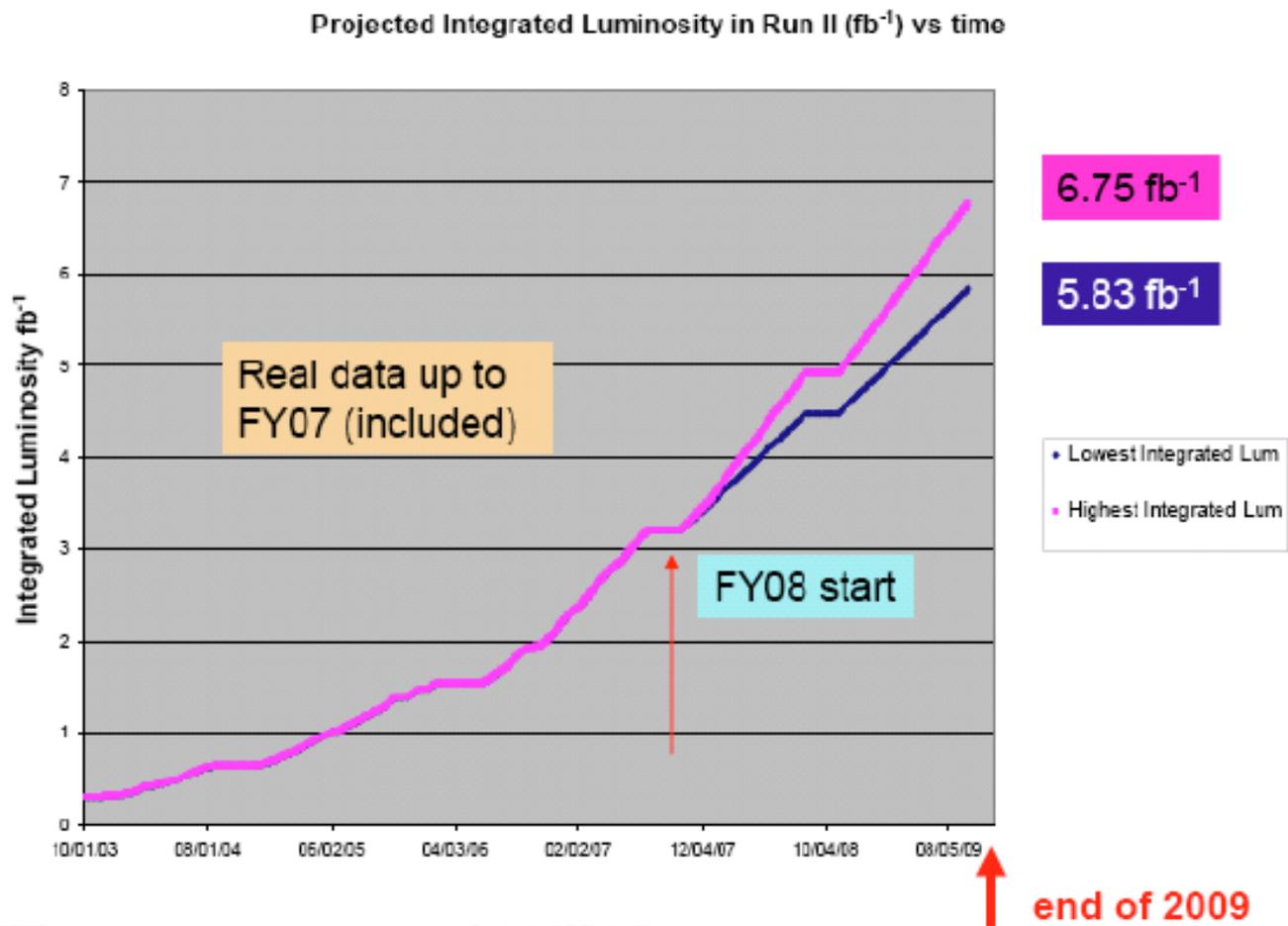
LIMITI ALLA SEZIONE D'URTO DI PRODUZIONE DEL HIGGS

(CDF+D0, marzo 2008)



Preliminary

PROIEZIONE DELLA LUMINOSITA' DEL RUN 2



19 Sep 2007

Stato di CDF - L.Ristori

4

HIGGS LEGGERO ALLA FINE DEL RUN 2 ?

Per $M_H \sim 120$ GeV, con 7 fb^{-1} e se si otterrà un miglioramento di ~ 10 (accettanza, b-tagging, risoluzione in massa) si potrà ottenere una osservazione a 3σ .

HIGGS INTERMEDIO ALLA FINE DEL RUN 2 ?

Per $M_H \sim 160$ GeV ($H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$, solo conteggio),

con 8.5 fb^{-1} la osservazione sembra possibile a 3σ anche senza miglioramenti di accettazione e di analisi

IL LASCITO GIA' ACQUISITO DEL TEVATRON

Ha aggiunto il quark top al W e alla Z come strumento da cui partire per studiare i processi a grandi momenti trasferiti

Ha dimostrato che si può studiare con grande precisione:

La fisica elettrodebole

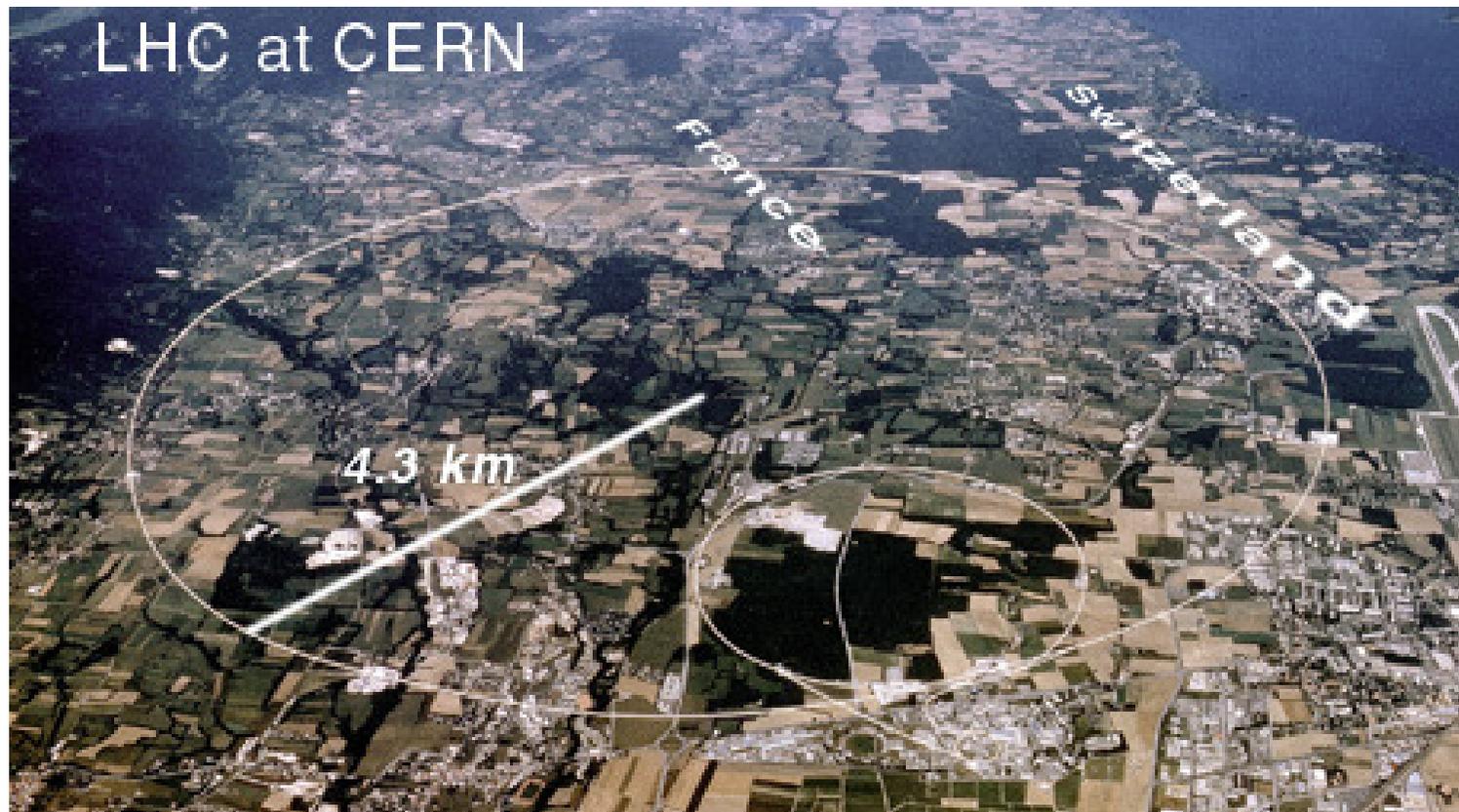
il quark beauty

il quark charm

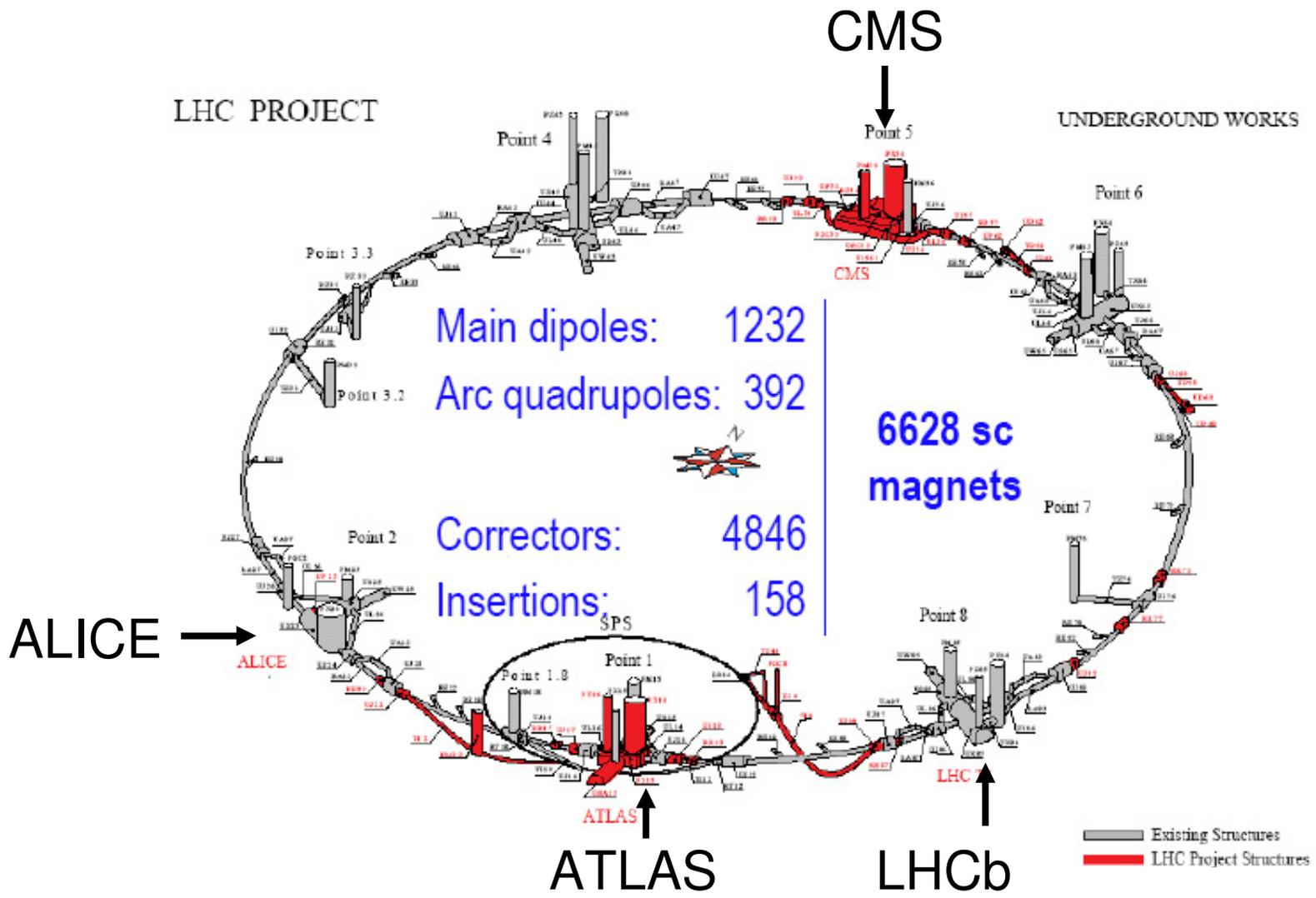
Ha mostrato che studiare con precisione i processi con getti adronici è un duro problema, e che essi saranno un pericoloso fondo nella ricerca di nuova fisica al LHC

LHC DEL CERN E' IL NOSTRO FUTURO

Dal 2008 in poi il Large Hadron Collider del CERN colliderà protoni su protoni a 14 TeV.

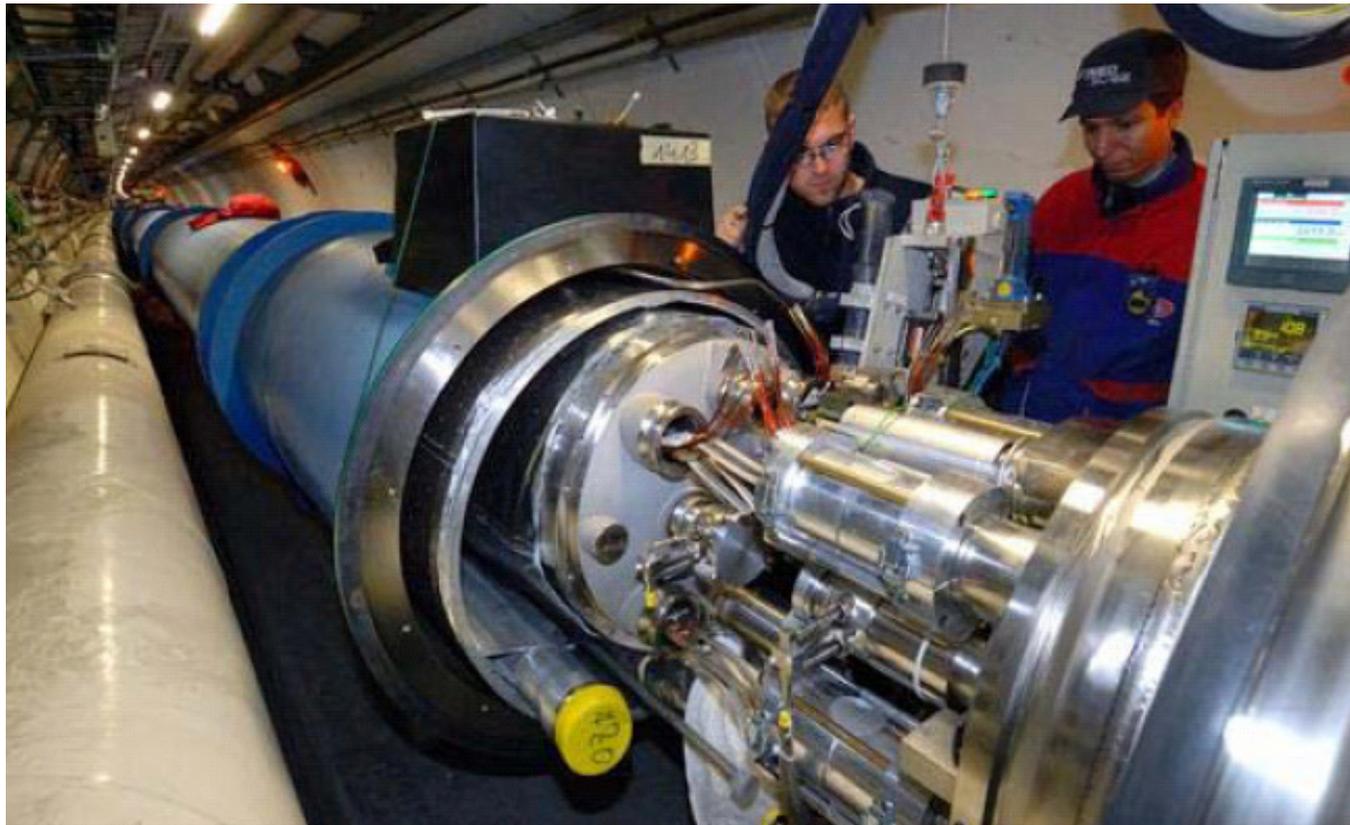


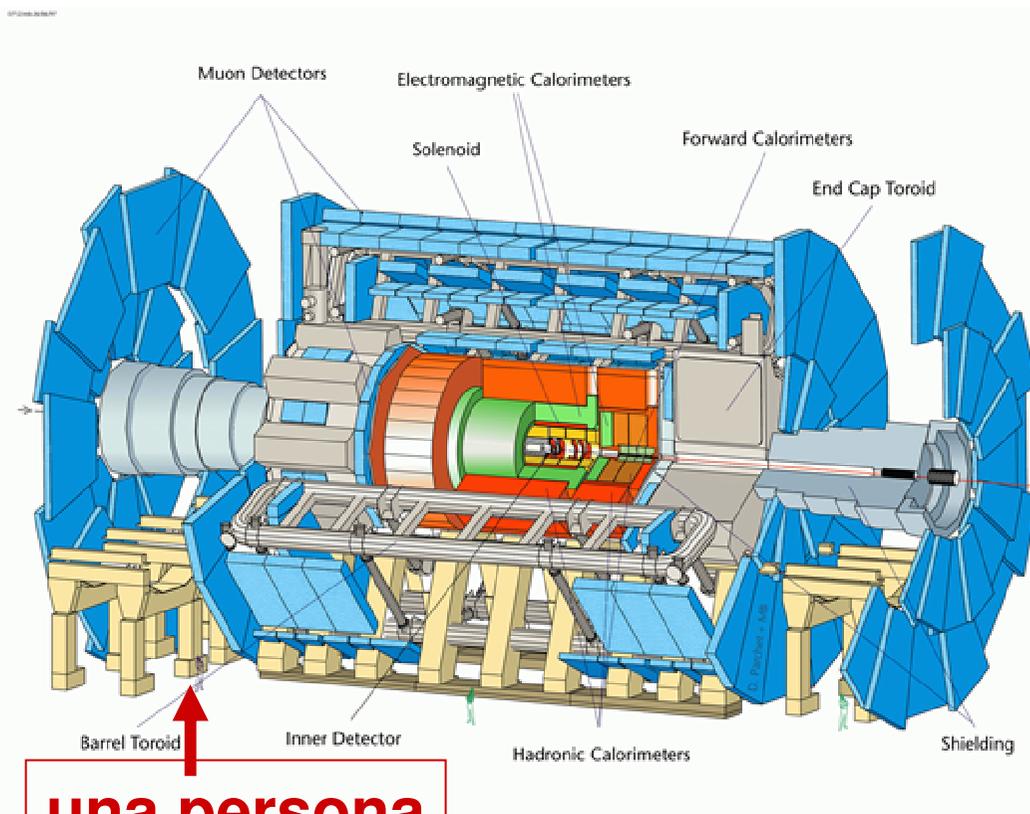
LE 4 AREE SPERIMENTALI



LHC NEL TUNNEL

LEP è stato rimosso dal tunnel ed i magneti di LHC sono stati tutti installati fino dall'estate 2007





una persona

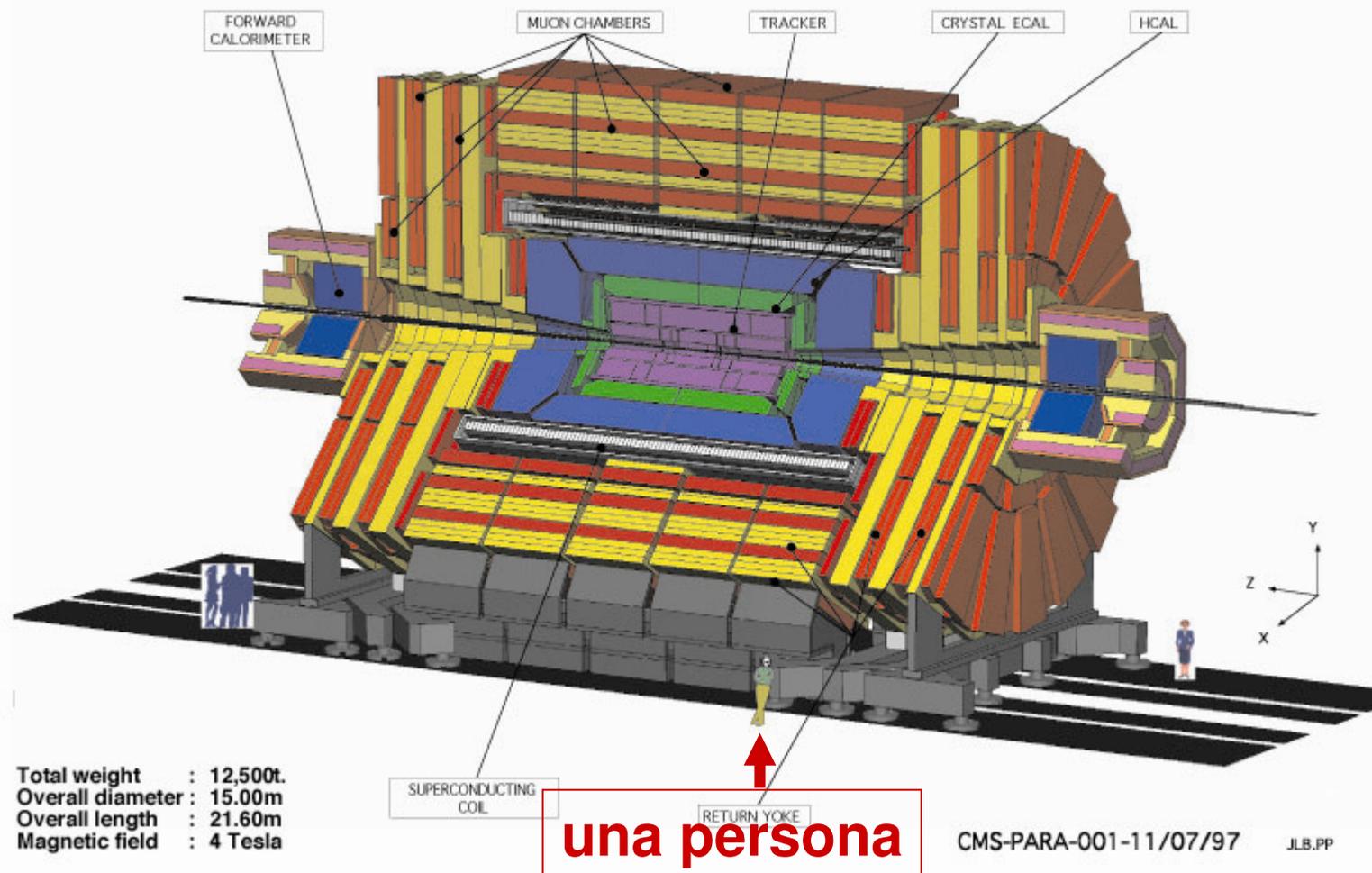
ATLAS

ATLAS è un palazzo a 7 piani:
 lunghezza 46 m
 raggio 12 m
 peso ~ 7,000 t

- **Tracking ($|\eta| < 2.5$, $B=2T$) :**
 - Si pixels and strips
 - Transition Radiation Detector (e/π separation)
- **Calorimetry ($|\eta| < 5$) :**
 - EM : Pb-LAr with Accordion shape
 - HAD: Fe/scintillator (central), Cu/W-LAr (fwd)
- **Muon Spectrometer ($|\eta| < 2.7$) :**
 - air-core toroids with muon chambers

CMS

CMS A Compact Solenoidal Detector for LHC



LA PARTENZA DI LHC

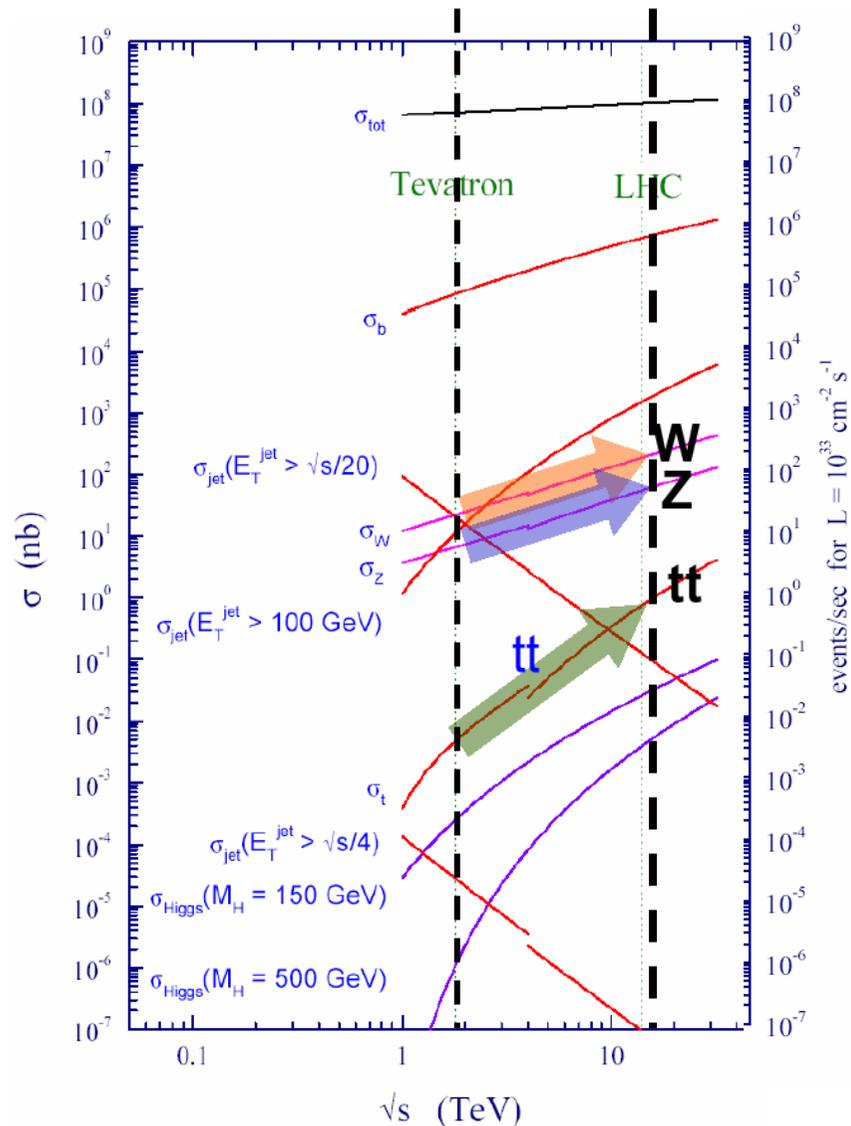
Macchina chiusa nell'aprile 2008

Prime collisioni a 14 TeV previste nel luglio 2008

Primo run di fisica a 14 TeV previsto alla fine del 2008

La luminosità integrata dipenderà dalla stabilità della macchina e dalla capacità acquisita di controllarne il funzionamento in sicurezza.

LE SEZIONI D'URTO A LHC



Verso la fine del 2009 LHC potrebbe raggiungere $L(t) \sim 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ed integrare in un anno $\int L(t)dt \sim 10 \text{ fb}^{-1}$

Con $L @ 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

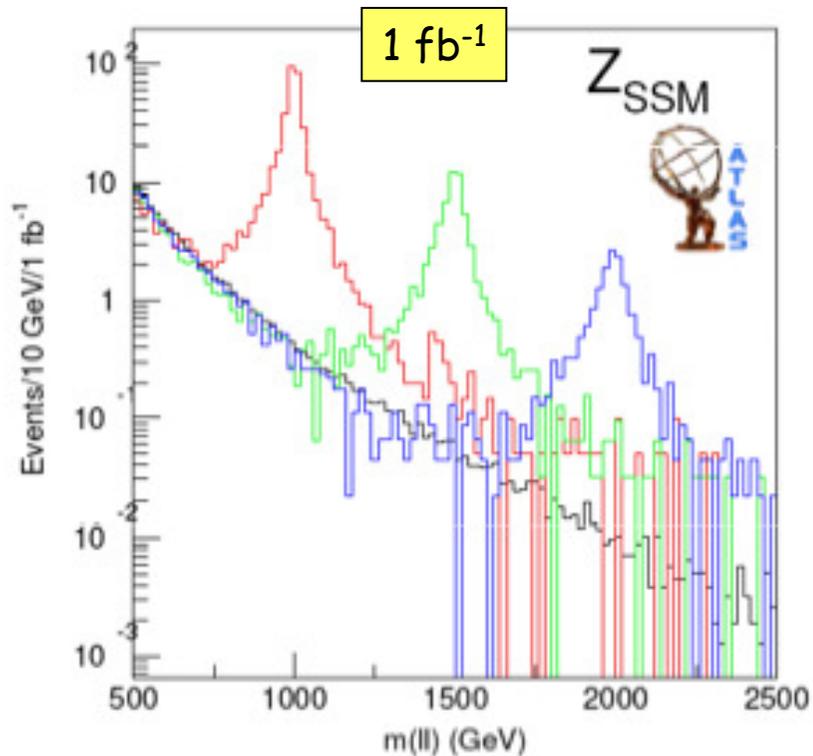
$\sim 10^8$ eventi/ 1fb^{-1}	W	(200 Hz)
$\sim 10^7$ eventi/ 1fb^{-1}	Z	(50 Hz)
$\sim 10^6$ eventi/ 1fb^{-1}	tt	(1 Hz)

Con 1fb^{-1} :

Getti adronici fino a $E_t \sim 3 \text{ TeV}$
240K eventi t-tbar "single lepton"

UN ESEMPIO DI SCOPERTA “RAPIDA” AD LHC

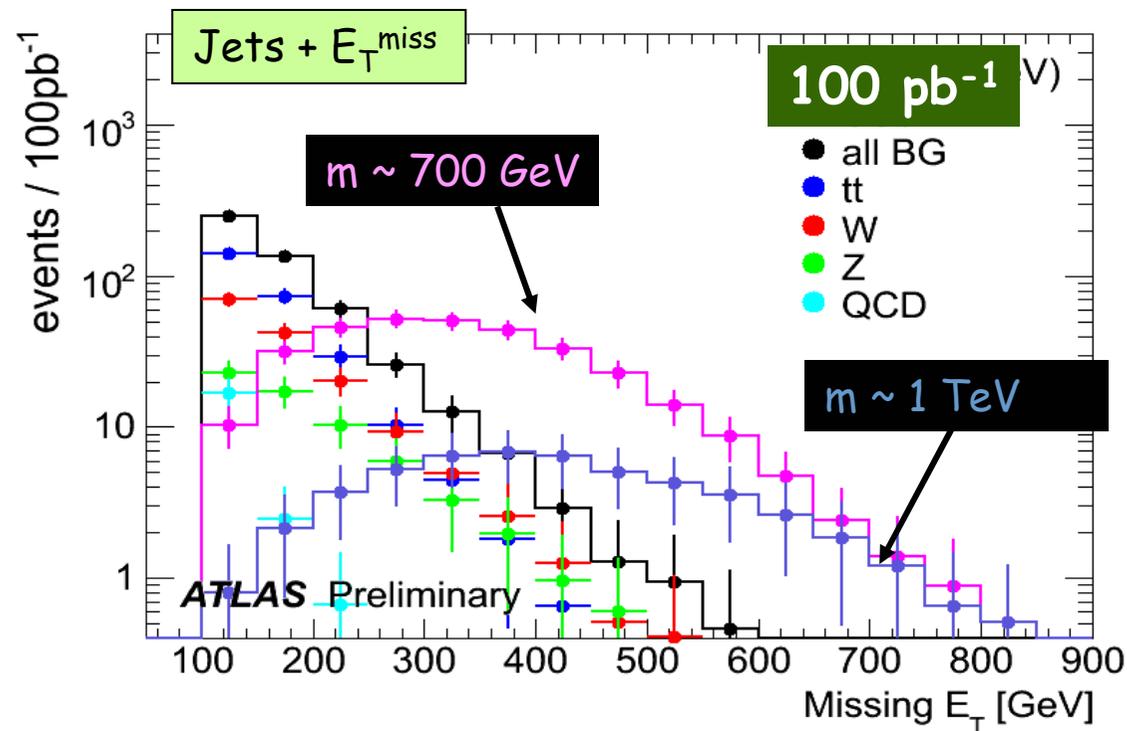
Simulazione ATLAS



Basterebbero 100 pb⁻¹ per scoprire uno Z' di massa ~ 1 TeV

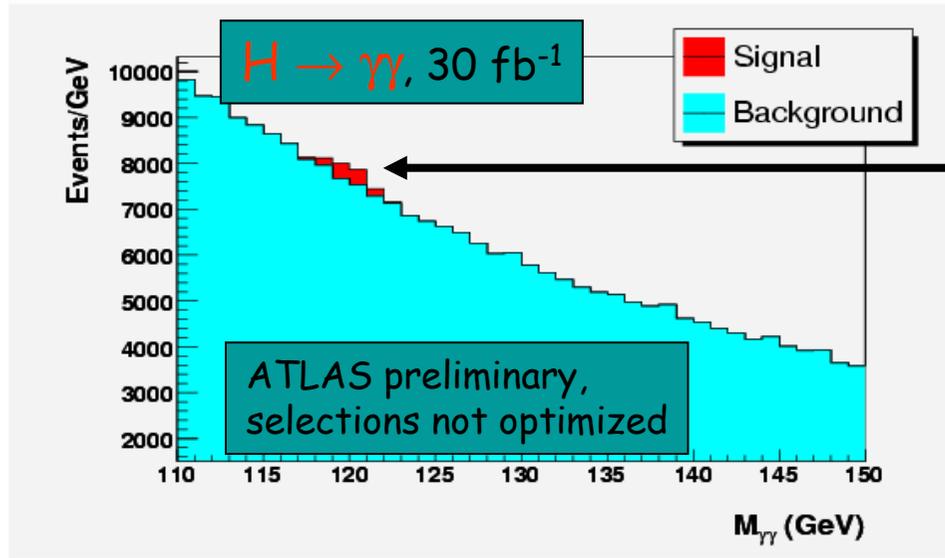
SUBITO SUPERSIMMETRIA AD LHC?

Simulazione ATLAS

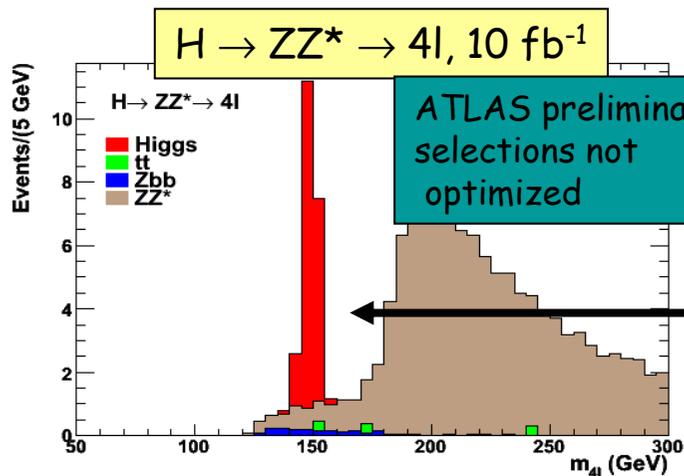


Se il $m_{\text{gluino}} \leq 1 \text{ TeV}$
basterebbe $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$
per scoprire code "non
SM" nella distribuzione
di $E_{t,\text{miss}}$ negli eventi
con getti.

HIGGS LEGGERO O PESANTE ?



$M_H \sim 120 \text{ GeV},$
 $H \rightarrow \gamma\gamma$
 $L = 30 \text{ fb}^{-1}$



$M_H \sim 150 \text{ GeV},$
 $H \rightarrow 4e, \mu$
 $L = 10 \text{ fb}^{-1}$

QUELLO CHE CI ASPETTIAMO DA LHC

Grandi scoperte!

- capiremmo l'origine della massa delle particelle;
- ne completeremmo lo spettro;
- capiremmo quale potrebbe essere la materia oscura gravitante nell'universo;
- capiremmo perchè la forza di gravità è così debole nel nostro universo;
- progetteremmo la futura macchina perfetta....

.....riavremmo il supporto del mondo scientifico e politico.

LHC determinerà il destino della fisica subnucleare

II GRUPPO DI PISA-STONY BROOK

MEASUREMENT OF THE TOTAL PROTON-PROTON CROSS-SECTION AT THE ISR[☆]

S.R. AMENDOLIA, G. BELLETTINI*, P.L. BRACCINI, C. BRADASCHIA,
R. CASTALDI**, V. CAVASINNI, C. CERRI*, T. DEL PRETE,
L. FOA*, P. GIROMINI, P. LAURELLI, A. MENZIONE,
L. RISTORI, G. SANGUINETTI, M. VALDATA,

*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Pisa
Istituto di Fisica dell'Università, Pisa
Scuola Normale Superiore, Pisa, Italy*

G. FINOCCHIARO, P. GRANNIS*, D. GREEN, R. MUSTARD and R. THUN
State University of New York, Stony Brook, New York, USA

Received 23 February 1973

GLI ODOSCOPI DI R801

$$\frac{d\sigma}{d\omega} \propto e^{-\frac{p^2 \vartheta^2}{a^2}}, \quad \text{with } p = \text{primary momentum} \quad \vartheta \approx \frac{3a}{p} \approx \frac{1}{p(\text{GeV})} \sim \text{pochi gradi agli ISR}$$

La piccola perdita a grandi angoli fu estrapolata dai dati.

La perdita di eventi elastici nei tubi fu calcolata.

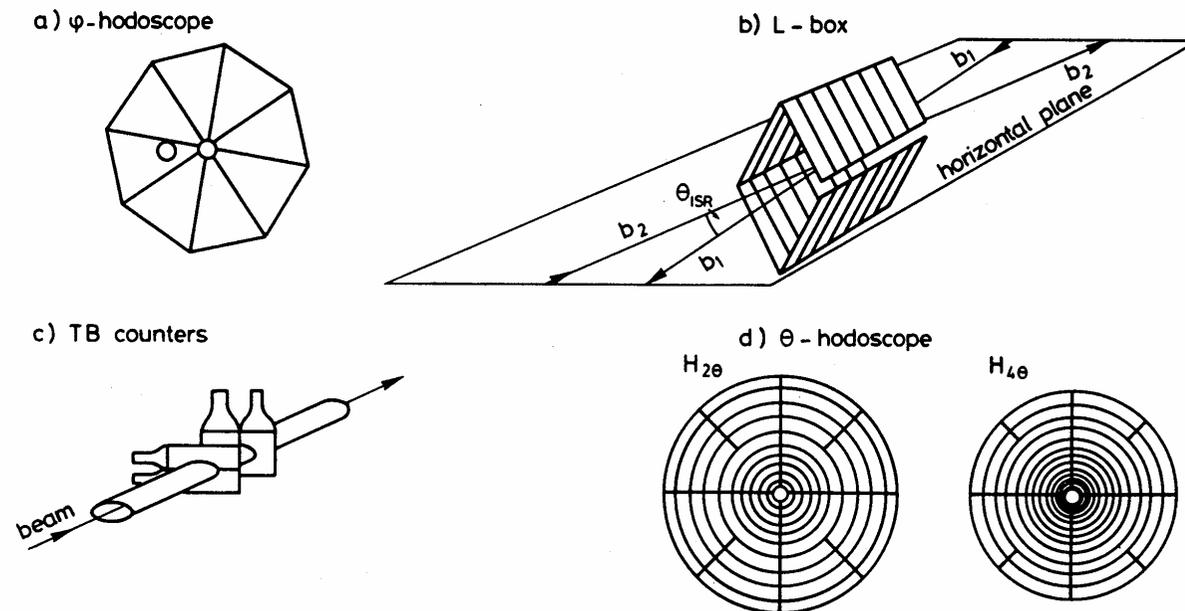


Fig. 2. Schematic drawing of hodoscope counters. a) H_1 hodoscope. Hodoscope H_2 is similar, but the ϕ -bins are rotated by $\pi/16$. Hodoscopes H_3 and H_4 are like H_1 , H_2 , but with no off-centre hole. b) L -box. Only the first layer is shown. The second layer is behind it, with a lead plate in between. c) TB counters. d) θ -hodoscopes. The outer rings are split into octants, the inner rings into quadrants.

PARAMETRI DEGLI ISR

- Protone Protone con fasci di energia da $E=11.6$ a $E=31.3$ GeV
- Due fasci incrociantisi con angolo $\alpha = 15^\circ$ sul piano orizzontale
- 8 incroci con velocità radiale del s.c.m. $\beta_{cm} = \sin 7,5^\circ = 0,265$
- Corrente di progetto 20A/fascio ($4 \cdot 10^{14}$ protons), raggiunti 50A
- Larghezza del fascio $w \cong 6$ cm, altezza $h \cong 5$ mm
- Lunghezza della sorgente ~ 35 cm
- Densità dei protoni nei fasci $\cong 5 \cdot 10^8$ p/cm³
- Energia delle collisioni $W = 2E \cos(\alpha/2) \cong 2E$
- Vita media della luminosità $\cong 70$ h
- Luminosità di progetto $L = 4 \cdot 10^{30}$ cm⁻² s⁻¹, raggiunta $5 \cdot 10^{31}$ cm⁻² s⁻¹
- Anche collisioni p p̄ (L = $2 \cdot 10^{28}$ cm⁻²s⁻¹), p d d̄ ($4,3 \cdot 10^{30}$), αα.
- =====
- W.Schnell, The CERN Intersecting Storage Rings, ISR ~~68~~ 29
- K.Hubner, ISR Performance for Pedestrians, CERN 77 15

IL LIMITE DI FROISSART

In teoria dei campi si deriva il limite di Froissart per l'aumento di σ_t :

$$\sigma_t \leq \frac{\pi}{m_\pi^2} \ln^2 \frac{s}{s_0}, \quad \frac{\pi}{m_\pi^2} \approx 67 \text{mb}$$

dove s_0 il parametro esprime la scala fisica dell'energia.

Nel modello geometrico il limite di Froissart impone un limite all'aumento del raggio R di interazione. Imponendo l'unitarietà della ampiezza di scattering si ha

$$\text{Im } F_n(s, b) \leq 1 \quad \text{per } b \leq R$$

Pero', poiché sappiamo che l'assorbimento genera anche una ampiezza elastica, per ragioni fisiche dobbiamo imporre un limite più stringente

$$\text{Im } F_n(s, b) \leq \frac{1}{2}, \quad \text{per cui } \sigma_{el} \leq \frac{1}{2} \sigma_t$$

Richiedendo anche la analiticità della ampiezza di scattering si ha

$$\text{Im } F_n(s, b) \leq e^{-\sqrt{t_0}(b-R)} \quad \text{per } b > R$$

dove $t_0 = 4m_\pi^2$ è un parametro che esprime la scala fisica dei momenti trasferiti.

RAGGIO DI INTERAZIONE NEL LIMITE DI FROISSART

Assumendo una crescita massima del raggio R con l'energia come

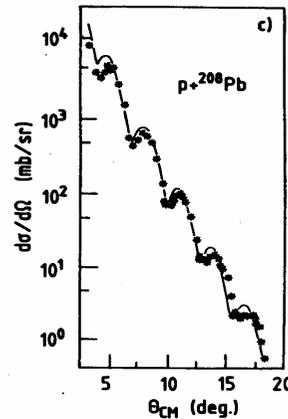
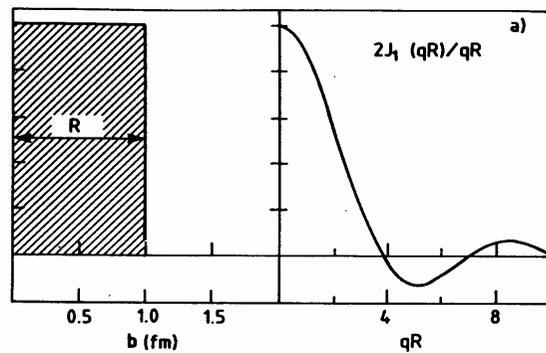
$$R \leq \frac{1}{\sqrt{t_0}} \ln \frac{s}{s_0}$$

si trova che l'aumento di σ_t con l'energia satura il limite di Froissart:

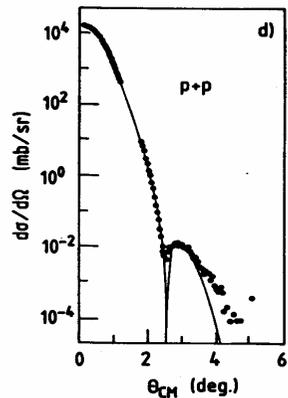
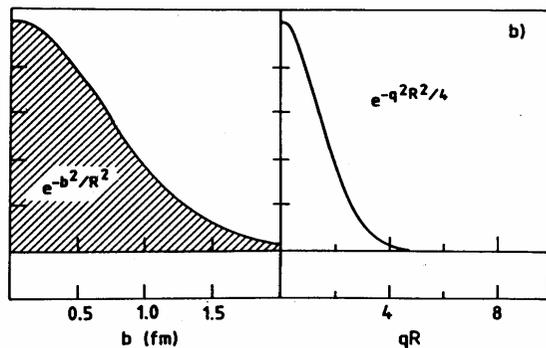
$$\begin{aligned} \sigma_t(s) &\leq 8\pi \int_0^R b db + 8\pi \int_R^\infty e^{-\sqrt{t_0}(b-R)} b db = \\ &= \frac{\pi}{m_\pi^2} \ln^2 \frac{s}{s_0} + \frac{2\pi}{m_\pi^2} \ln \frac{s}{s_0} + \frac{2\pi}{m_\pi^2} \\ &\frac{\pi}{m_\pi^2} \approx 67 \text{ mb} \end{aligned}$$

dove il primo è il termine dominante.

DUE SEMPLICI FUNZIONI PROFILO



Funzione profilo rettangolare:
 → ampiezza di scattering $\sim J_1(qR)$



Funzione profilo gaussiana:
 → ampiezza di scattering gaussiana in qR

Figure 14. (a),(b) Examples of profile functions and corresponding scattering amplitudes; (c),(d) diffraction patterns observed in hadron scattering [from Reference (4g)].

LA MISURA DI SCATTERING ELASTICO DI CERN-ROMA

$$\frac{dN_{el}}{dt} = L \frac{d\sigma_{el}}{dt} = L\pi |F_{coul} + \text{Re} F_n + i \text{Im} F_n|^2, F = \text{ampiezza di scattering}$$

Da un fit alla distribuzione fra $t \sim 10^{-3} (\text{GeV}/c)^2$ a $t \sim 1 (\text{GeV}/c)^2$ si ricavano

1) la luminosità integrata L ,

2) σ_t espressa tramite $\text{Im}F_n(\theta=0)$ dal teorema ottico,

$$\sigma_t(k) = \frac{2\pi}{k^2} \text{Im}F_n(k, \vartheta=0)$$

3) La frazione reale della ampiezza in avanti, $\rho = \text{Re}f_n/\text{Im}f_n (t=0)$.

$$F_{el}(k, t) = F_{coul} + iF_n = -\frac{2e^2}{\beta|t|} + \frac{k^2 \sigma_{tot}}{2\pi} (i + \rho) e^{-\frac{b}{2}|t|}$$

I RISULTATI DI CERN-ROMA

$\sigma_t(\sqrt{s})$ crescente con \sqrt{s} (come Pisa-Stony Brook)
 $\rho > 0$, indicando che $\sigma_\infty(p-p) = \sigma_\infty(p\text{-antip})$

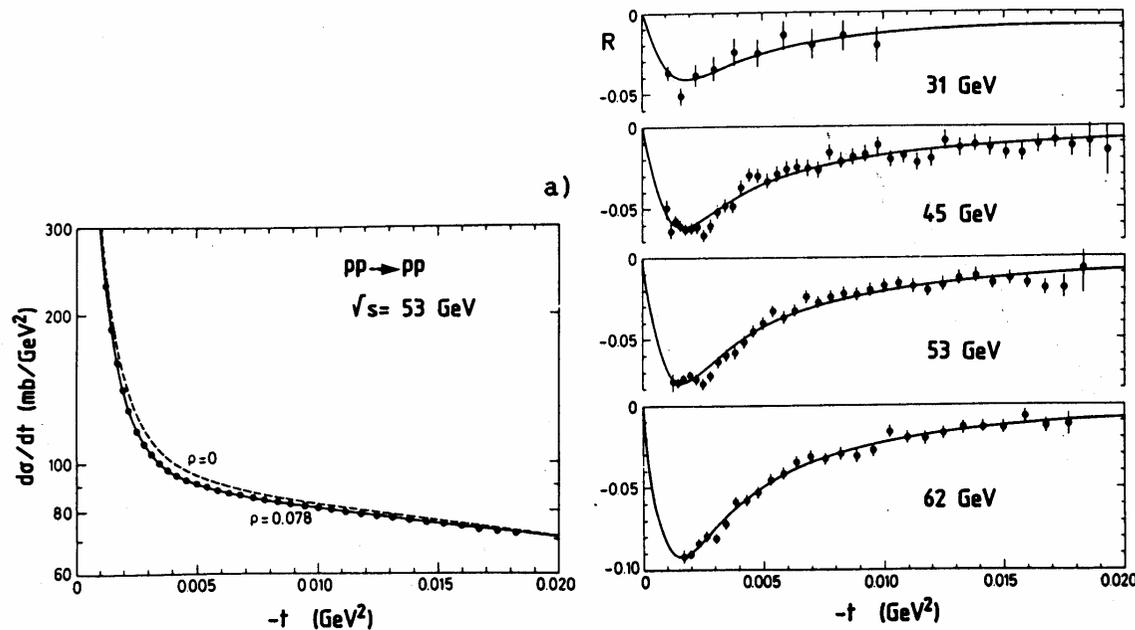


Figure 2. (a) Differential cross-section for pp elastic scattering in the Coulomb region at $\sqrt{s} = 53 \text{ GeV}$ (the $\rho = 0$ curve is shown for comparison); (b) destructive interference observed at four ISR energies; R is defined as $(d\sigma/dt \text{ measured}) / (d\sigma/dt \text{ for } \rho = 0) - 1$. Data from Reference (7).

LA PARTE REALE DELLA AMPIEZZA DI SCATTERING

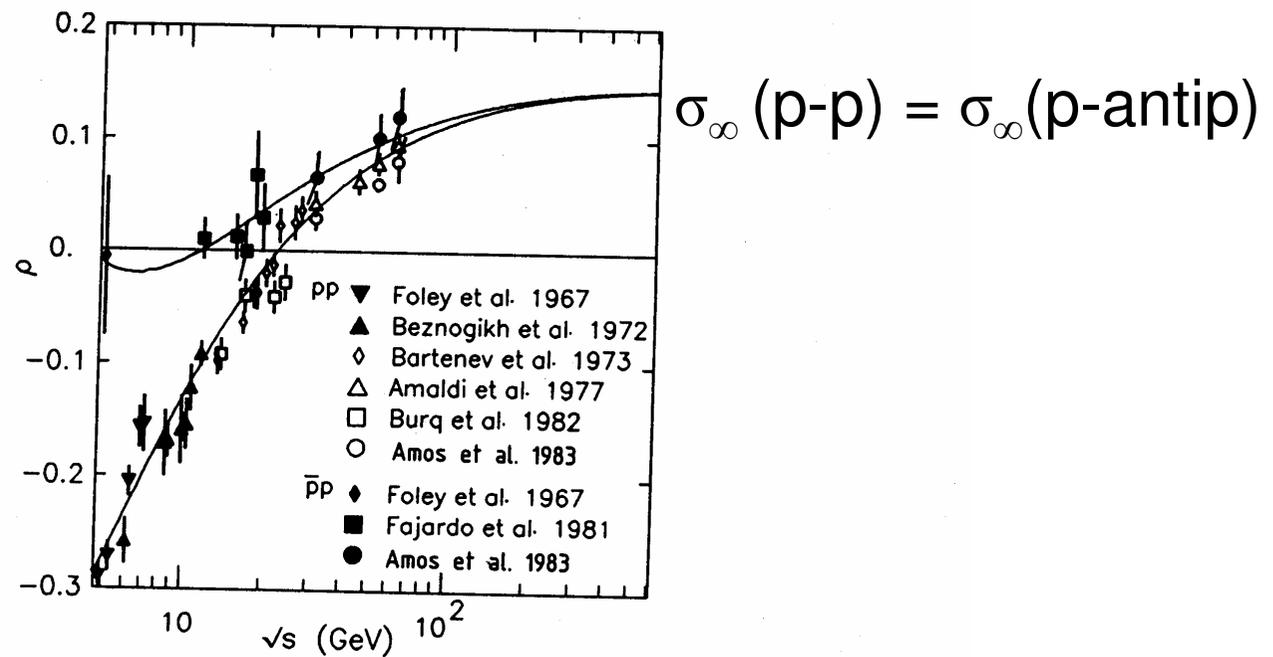


Figure 3. Summary of high-energy data on the real part ρ for pp and $\bar{p}p$ forward elastic scattering; the curve represents the dispersion relation fit of Reference (7). Figure from Reference (9).

I RISULTATI DI CERN-ROMA,cont.

Si trovo` che B , σ_{el} , σ_t crescevano con l`energia rimanendo circa proporzionali fra loro come atteso nel modello di disco nero. Tuttavia il rapporto σ_{el}/σ_t era ancora $\ll 1/2$.

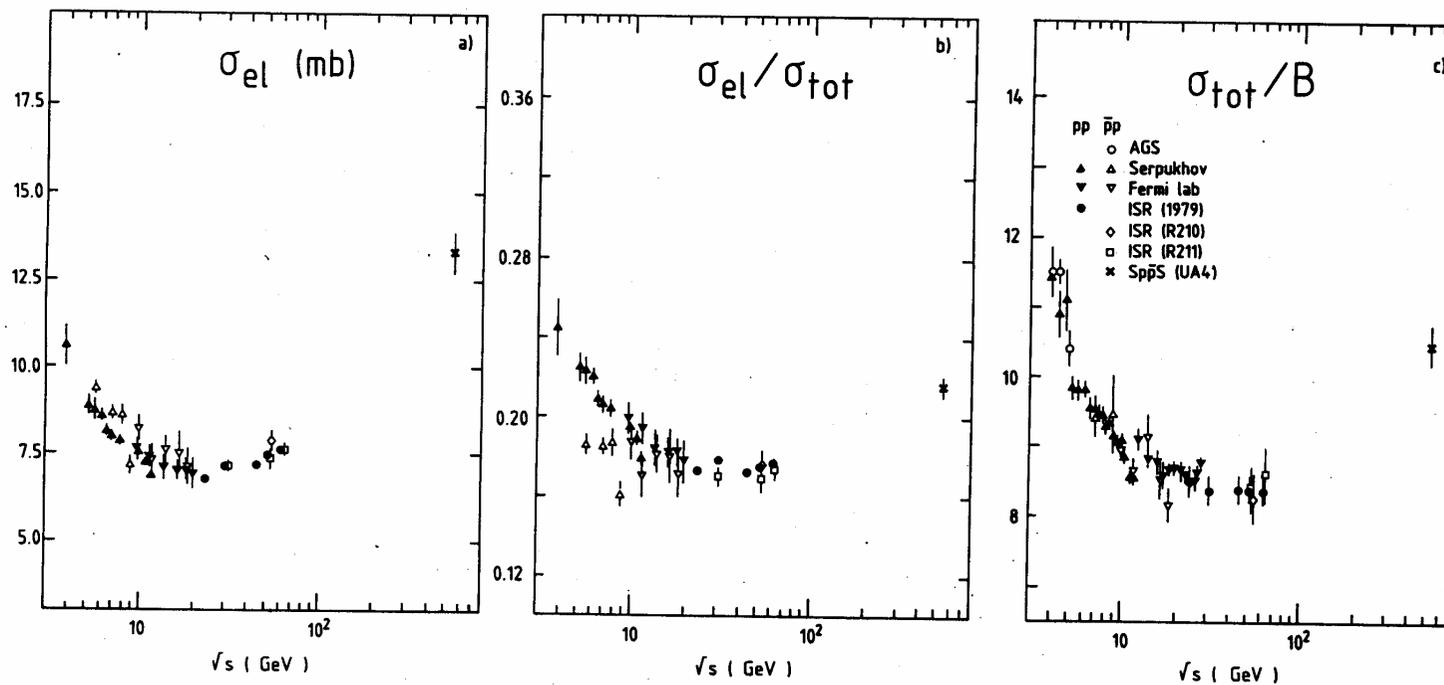


Figure 13. Energy dependence of (a) total elastic cross-section σ_{el} ; (b) ratio σ_{el}/σ_{tot} ; (c) ratio σ_{tot}/B , for pp and pp scattering.

4 WAYS TO MEASURE $\sigma_T, 1, 2$

- 1) Measure the luminosity dL and the total interaction rate $dN_{el+inel}$. Compute $\sigma_t = dN_{el}/dL$. This is the definition of total cross section. This was the Pisa ~~Sony~~ Brook method.
- 2) Measure dn/dt in the at small angles where it is an exponential in t , but at angles large enough that the Coulomb scattering is negligible ($t > 0.01 \text{ GeV}/c^2$). Extrapolate the exponential to $t = 0$, measure L for the data sample and apply the optical theorem to derive σ_t . This was the initial CERN- ~~Rme~~ method.

OSSERVAZIONE ALLA BASE DEL PROGETTO DI R801

R801 non aveva alcuna limitazione statistica. Tutta la difficoltà stava nel ridurre gli errori sistematici. Si stimò che > 90% degli eventi inelastici sarebbe stato rivelato dalle coincidenze destra sinistra o lato centro. Si poté prevedere che la perdita di eventi a grandi angoli sarebbe stata derivata con un errore sistematico di ~1%. Queste previsioni favorevoli si basavano sulla osservazione del limitato impulso trasverso dei rami inelastici in interazioni dei raggi cosmici:

$$\frac{d\sigma}{d\omega} \propto e^{-\frac{p^2 \vartheta^2}{a^2}}, \quad \text{with } p = \text{primary momentum}$$

Il valore della pendenza corrispondeva ad un angolo medio di emissione

$$\vartheta \approx \frac{3a}{p} \approx \frac{1}{p(\text{GeV})}$$

con $\theta \sim$ pochi gradi per secondari agli ISR. Questo implicava una grande efficienza di trigger del rivelatore per eventi inelastici.

SETUP FOR A LUMINOSITY MEASUREMENT

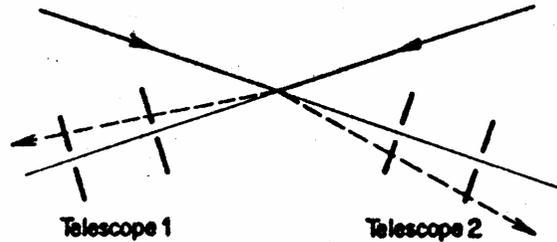


Fig. 3.11 Counter arrangement for luminosity measurement.

$$L = c \frac{N_1 N_2}{(2\pi R)^2} \frac{\int \rho_1(z) \rho_2(z) dz}{\tan \frac{\alpha}{2}}$$

$$\frac{1}{h_{eff}} = \frac{\int \rho_1(z) \rho_2(z) dz}{\int \rho_1(z) dz \int \rho_2(z) dz}$$

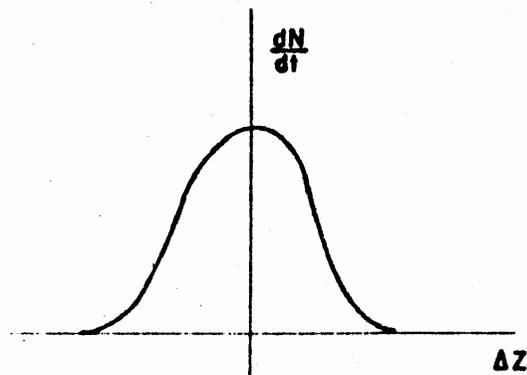


Fig. 3.12 Counting rate of monitor telescope versus beam separation.

$$h_{eff} = \frac{\int \rho_1(z) dz \int \rho_2(z) dz}{\int \rho_1(z) \rho_2(z) dz} = \frac{S}{N(\delta = 0)}$$

THE VAN DER MEER METHOD

When beam 2 is displaced vertically by δ relative to the nominal z position the beam-beam interaction rate is

$$N(\delta) = k \int \rho_1(z) \rho_2(z + \delta) dz$$

k being a constant. The beam-beam rate is maximum at $\delta = 0$:

$$N_{\max} = N(\delta = 0) = k \int \rho_1(z) \rho_2(z) dz$$

The area covered by the function $N(\delta)$ is

$$S = \int N(\delta) d\delta = k \int \rho_1(z) \rho_2(z + \delta) dz d\delta$$

Since only ρ_2 depends on δ one can separate the integrals:

$$S = k \int \rho_1(z) dz \int \rho_2(z + \delta) d\delta$$

THE VAN DER MEER METHOD, cont.

The integral on δ gives the ρ_2 area, independent of z . This shows that the area S covered by $N(\delta)$ can be written

$$S = k \int \rho_1(z) dz \int \rho_2(z) dz$$

Applying the definition of h_{eff} one finds

$$h_{\text{eff}} = \frac{\int \rho_1(z) dz \int \rho_2(z) dz}{\int \rho_1(z) \rho_2(z) dz} = \frac{S}{N(\delta = 0)}$$

Therefore: **the effective height is found by dividing the area of the beam-beam rate distribution by the maximum rate.**

This method works no matter which reaction is adopted as a monitor, as long as it measures a background free beam-beam rate and the acceptance factor k is independent of δ .

CORRELAZIONI A CORTA DISTANZA IN R801

Muovendo in angolo polare una particella di trigger si osserva che le altre particella la seguono

- $\sqrt{s}=22 \text{ GeV}$
- $\sqrt{s} = 62\text{GeVV}$

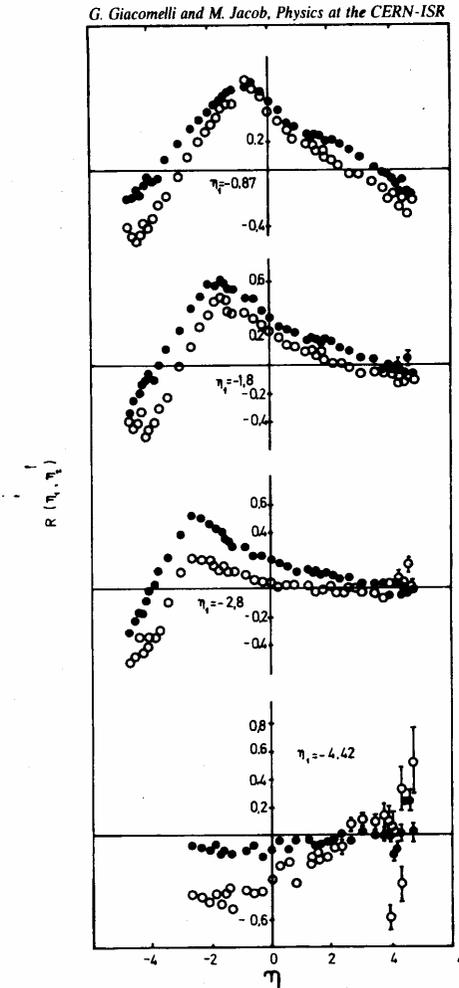
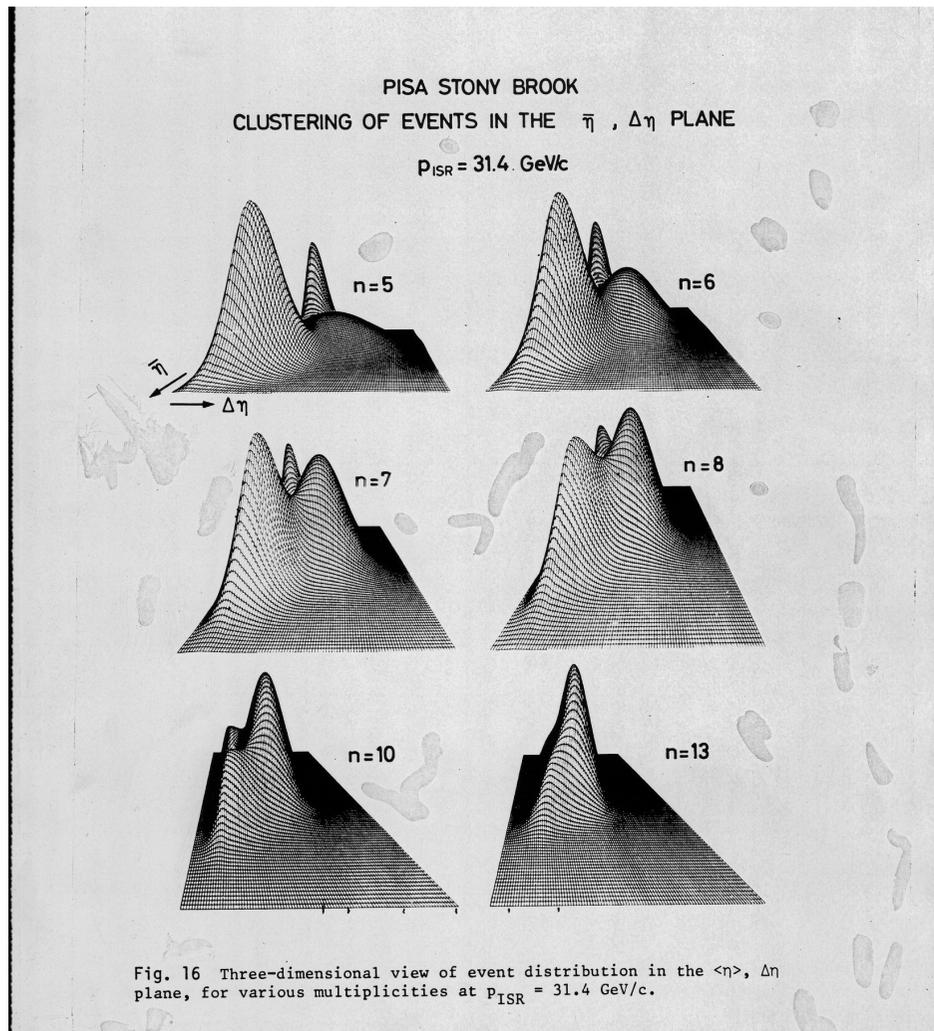


Fig. 8.1. Rapidity correlations between two charged particles. The pseudorapidity η is used instead of y . Data from the Pi collaboration (R801).

LE STRUTTURE DIFFRATTIVE DI R801



A bassa molteplicità si osservarono due picchi a piccola distanza in η dai fasci..

THRUST

Rispetto ad un asse generico passante per il punto di interazione, si consideri la somma sulle particelle dei getti dei rapporti fra le componenti longitudinali ed i moduli degli impulsi:

$$\sum_i \frac{|p_{i,l}|}{p_i}$$

Variando l'asse si trova il thrust T dell'evento trovando l'asse che massimizza questa somma:

$$T = \left(\sum_i \frac{|p_{i,l}|}{p_i} \right)_{\text{massimo}}$$

Per getti molto stretti $T \rightarrow 1$.

Poiche` agli ISR i getti non erano in generale opposti l'uno all'altro, l'asse thrust fu cercato nel getto nell'emisfero opposto alla particella di trigger.

DISTRIBUZIONE DEL THRUST NEI DATI DELL' ISR

La distribuzione di thrust in eventi normali, raccolti a bassa energia trasversa della particella di trigger fu simulata e corrispose alla osservazione Viceversa, nel campione di trigger a grande p_t la distribuzione di thrust mostro` un eccesso di eventi di grande thrust. All`aumento della energia della particella di trigger apparve sempre piu` chiaro il segnale atteso per i getti.

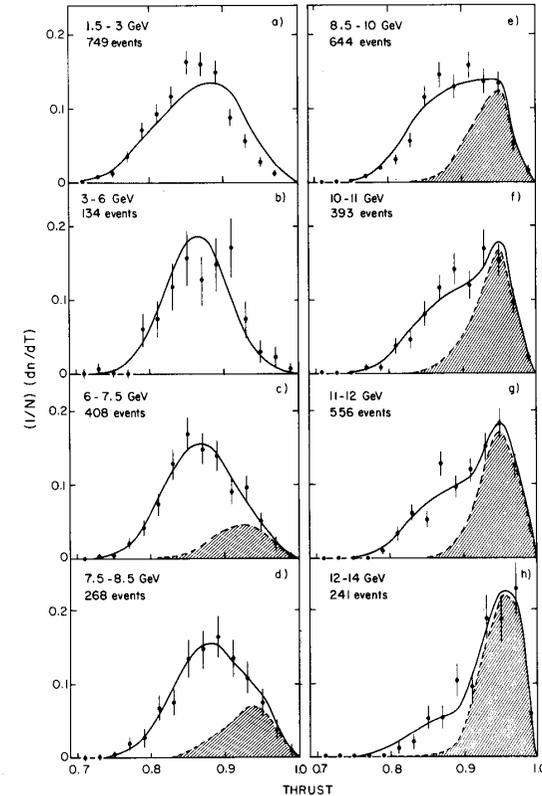


Fig. 3 Distribution of the thrust in the one wall of the calorimeter, for different E_T bands. The solid curves are the fits to a two-component model, the shaded area being the high- p_T jet component (ISAJET).

$$T = \frac{\sum \hat{E} \cdot \vec{E}_i}{\sum |E_i|}$$

GLI ESPERIMENTI AL COLLISIONATORE SpS

- 1) UA1,UA2 : scoperta di W, Z e dei getti adronici
- 2) UA3 : ricerca del monopolo magnetico
- 3) UA4 : scattering elastico e sezione d'urto totale
- 4) UA5 : esplorazione degli eventi inelastici

Run 1 (1981-1985, $\sqrt{s} = 540 \text{ GeV}$) $\sim 0,9 \text{ pb}^{-1}$

Run 2 (1988-1991, $\sqrt{s} = 630 \text{ GeV}$) $\sim 4,7 \text{ pb}^{-1}$ UA1,
 $\sim 7,1 \text{ pb}^{-1}$ UA2.

Nel 1982 la fisica subnucleare fece un balzo in avanti per la scoperta di W e Z.

Questa scoperta aprì un nuovo straordinario campo di ricerca che ancora oggi (2008) è in espansione

CORRELAZIONE fra $E_{t,miss}$ e $P_{t,elettrone}$ IN UA1

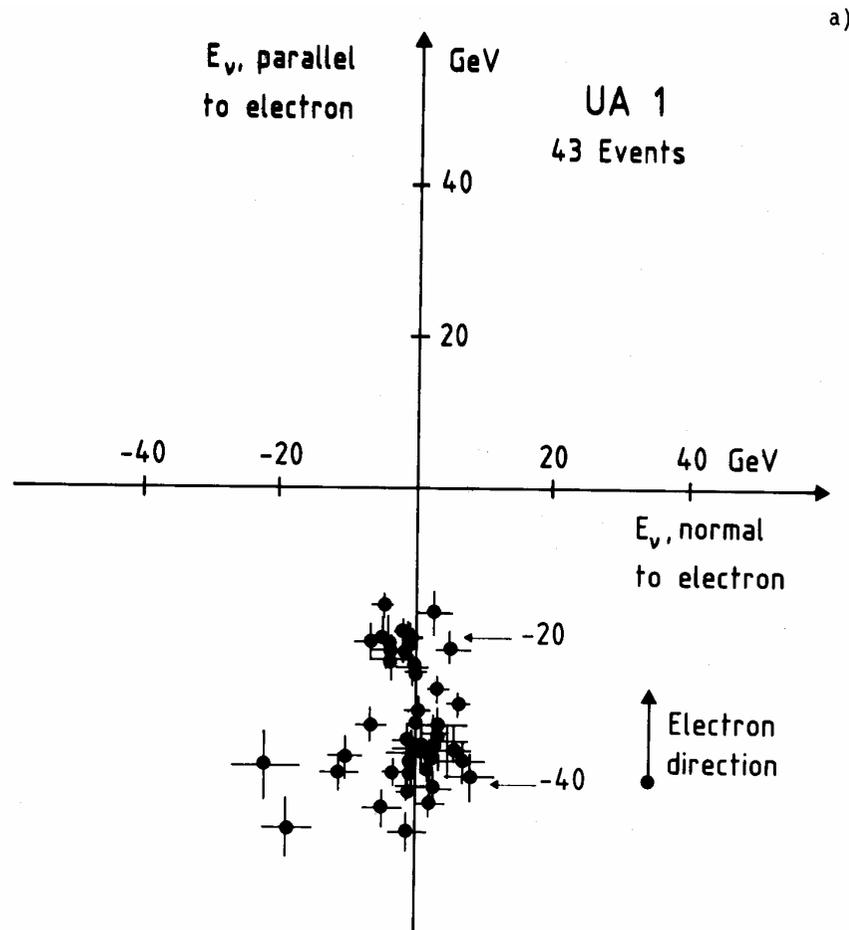
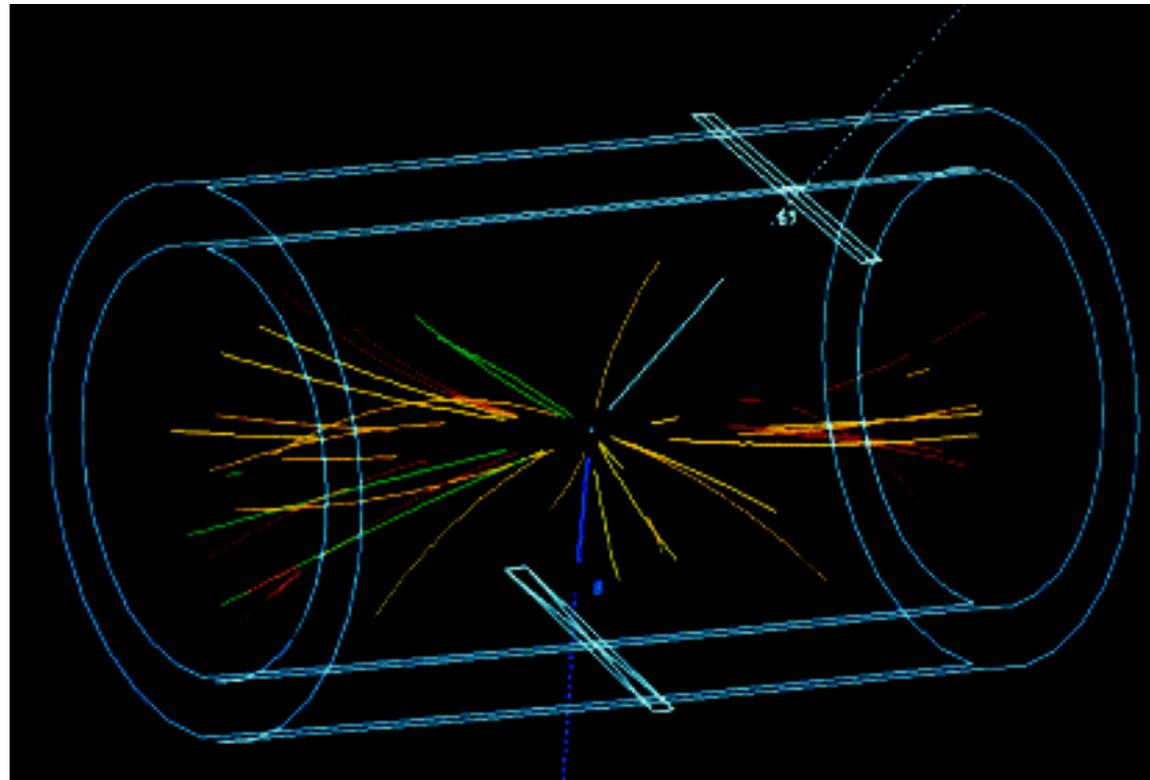


Fig. 17a. Two-dimensional plot of the transverse components of the missing energy (neutrino momentum). Events have been rotated to bring the electron direction to point along the vertical axis. The striking back-to-back configuration of the electron-neutrino system is apparent.

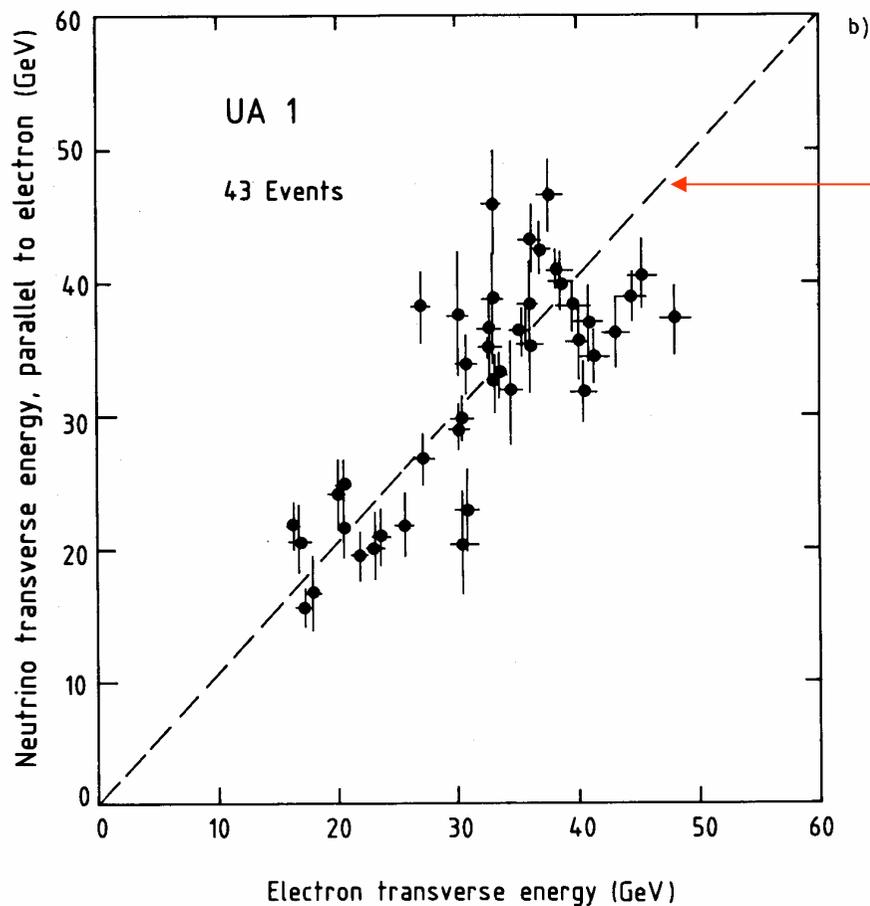
Impulso trasverso dell'elettrone ed energia trasversa mancante avevano la stessa grandezza ed erano opposti in azimuth.

G.Salvini and A. Silverman,
Physics Reports 171,n.5,6
(1983),231.

UN CANDIDATO $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$ in UA1



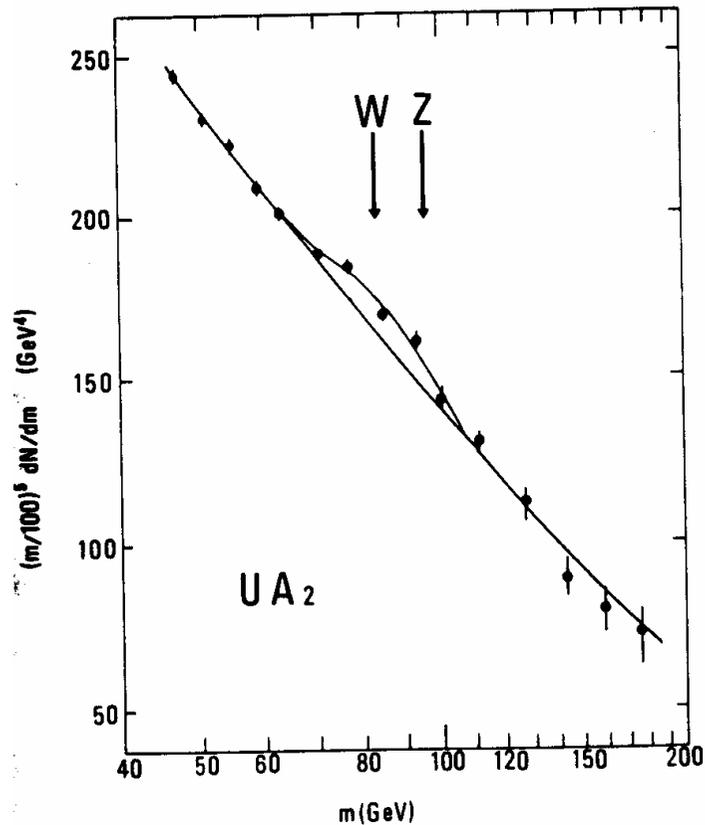
CORRELAZIONE IN UA1 fra $E_{t,miss}$ e $P_{t,elettrone}$



Negli eventi candidati $W \rightarrow e\nu$ la $E_{t,miss}$ era approssimativamente proporzionale al p_t dell'elettrone.

Fig. 17b. Correlation between the electron and neutrino transverse energies. The neutrino component along the electron direction is plotted against the electron transverse energy.

UNA PRIMIZIA DEI CALORIMETRI DI UA2



UA2 riuscì a rivelare un segnale del decadimento $W(Z) \rightarrow \text{getto-getto}$.

Il segnale corrispondeva ad una fluttuazione del fondo a 3.5σ dal suo valore medio.

Fig. 3.10. Mass spectrum of two hadron "jets" seen by the UA2 detector at CERN's proton-antiproton collider, indicating the signal due to the W and Z particles above less interesting background. This is thought to be typical of the physics which will emerge at future higher energy colliders, and indicates the ability of such experiments to spot heavy particles through their decay into narrow "jets" of hadrons [32].

LE TAPPE DI CDF

Dicembre 1979 G.B. si accorda con A. Tollestrup e K. Kondo per collaborare con un gruppo italiano con gli USA ed il Giappone per progettare un rivelatore per il collisionatore

1981: Design Report (57 fisici USA, 15 giapponesi, 15 italiani)

1985: prime collisioni (24 eventi analizzati)

1988-1989: $\sim 4 \text{ pb}^{-1}$ a $\sqrt{s} = 1,8 \text{ TeV}$

1992-1996: $\sim 110 \text{ pb}^{-1}$ a $\sqrt{s} = 1,8 \text{ TeV}$ (scoperta del top)

2001: inizio del run 2 a $\sqrt{s} = 1,98 \text{ TeV}$

2007 $\sim 2.9 \text{ fb}^{-1}$ accumulati nel run 2 da CDF (e da D0)

LA CRESCITA DEI GRUPPI DELL'INFN

1980, gruppi di Frascati e Pisa

1990, gruppo di Padova

1992, gruppo di Bologna

1997, gruppo di Trieste-Udine

1999, gruppo di Roma

I PRINCIPALI CONTRIBUTI ITALIANI A CDF

CDF 1:

Parte sensibile del calorimetro adronico centrale
Il tracciatore al silicio Silicon Vertex detector SVX
Elettronica di trigger
Scintillatori del rivelatore di muoni
Spettrometri per lo scattering elastico

CDF 2:

Il trigger sui vertici secondari SVT
I contatori del rivelatore di muoni
Il rivelatore intermedio al silicio ISL

GLI ITALIANI NELLA SCOPERTA DEL TOP

The CDF Collaboration

- Argonne, Bologna, Brandeis, UCLA, Chicago, Duke, Fermilab, Florida, Frascati, Geneva, Harvard, Hiroshima, Illinois, IPP (McGill-Toronto), Johns Hopkins, KEK, LBL, MIT, Michigan, Michigan State, New Mexico, Ohio State, Osaka City, Padova, Penn, Pisa, Pittsburgh, Purdue, Rochester, Rockefeller, Rutgers, Academia Sinica, Texas A&M, Texas Tech, Tsukuba, Tufts, Waseda, Wisconsin, Yale
- 475 people, 39 institutions, 6 countries

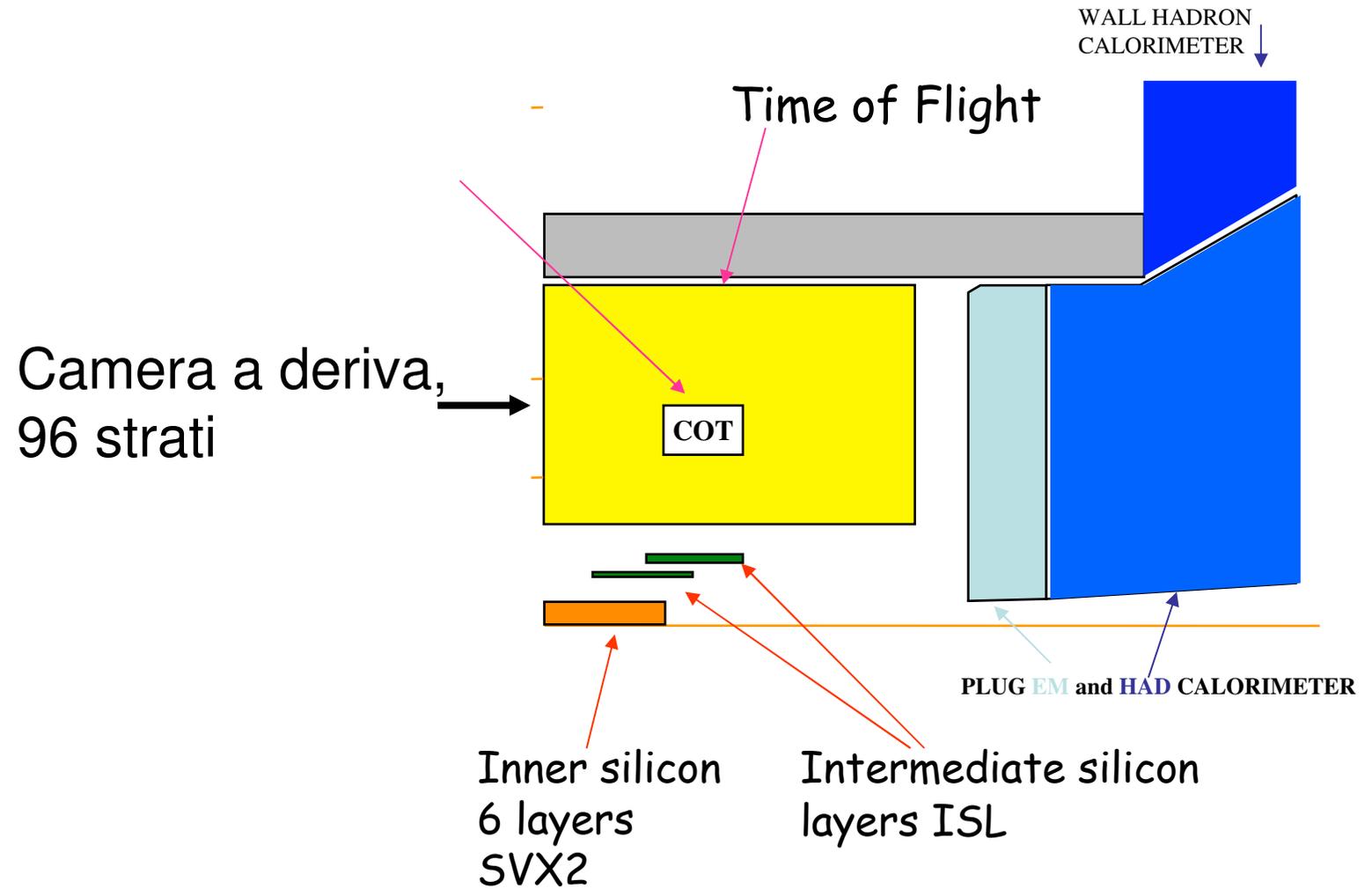


I FISICI ITALIANI NELLA SCOPERTA DEL TOP

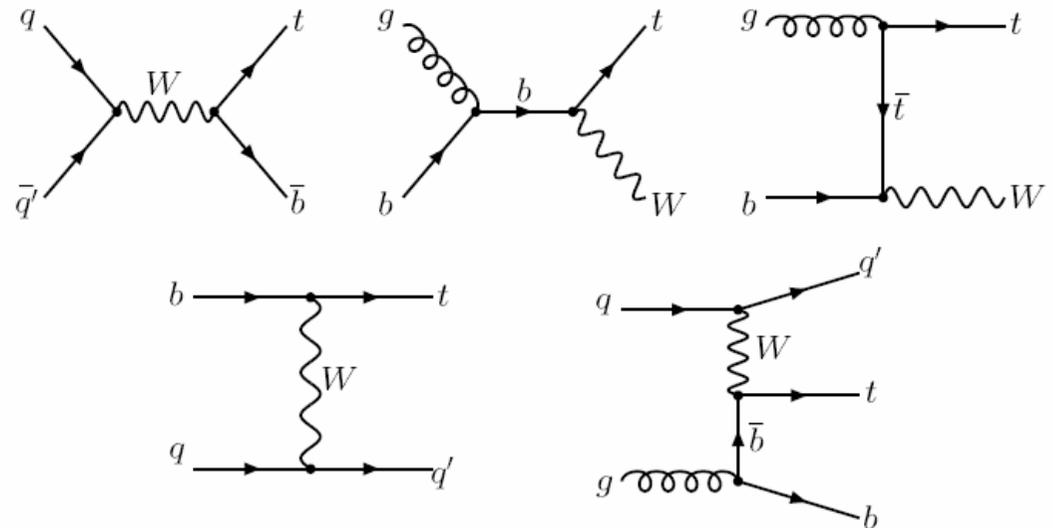
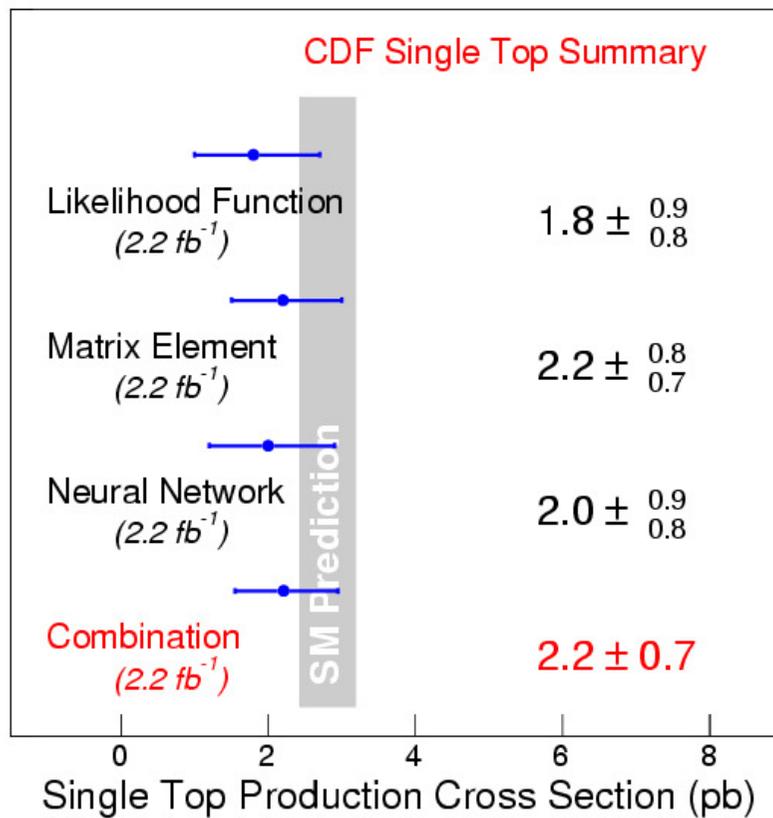
BOLOGNA:	8
FRASCATI:	5
PADOVA:	11
PISA:	36

60 FISICI PARI A ~13% DELLA COLLABORAZIONE

II TRACCIATORE DI CDF2

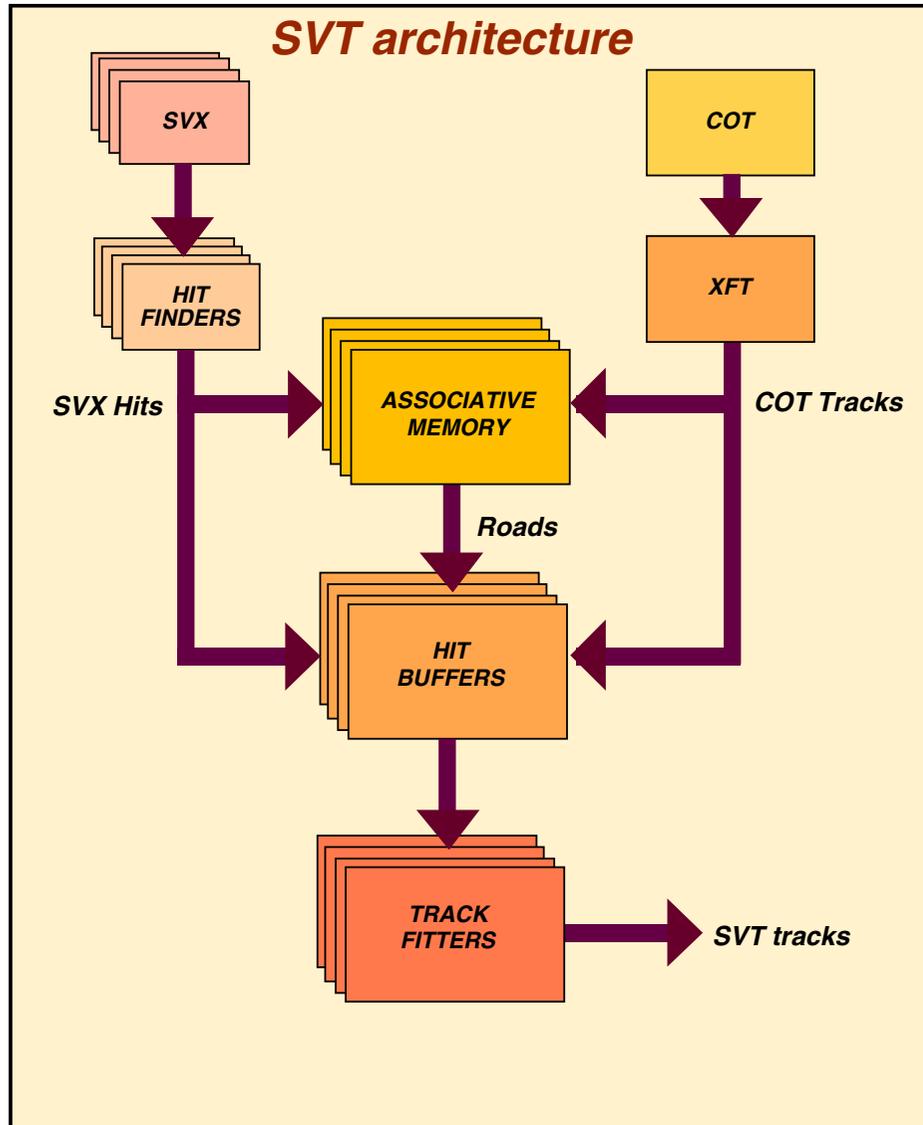


PRODUZIONE DI TOP SINGOLO (febbraio 2008)



- Study of electroweak interactions at a mass scale of m_t .
- Direct measurement of $|V_{tb}|$.
- Significant background for SM Higgs ($p\bar{p} \rightarrow V H^0 X$; $V = W^\pm/Z^0, H^0 \rightarrow b\bar{b}$).
- SM: $0.73(s) + 1.73(t) \approx 2.4 \text{ pb}$.
- $\sigma < 13.5 \text{ pb}$ ($s + t$) at 95% CL (CDF)
- $\sigma < 17 \text{ pb}$ (s), $\sigma < 22 \text{ pb}$ (t) at 95% CL (DØ)

TRIGGER DI VERTICI SECONDARI SVT



EXtremely **F**ast **T**racker trova segmenti di tracce nella COT;

“Memorie Associative” controllano se la traccia è entro “strade” predefinite;

In $\sim 20\mu\text{s}$ le tracce ricostruite segnalano vertici secondari

SVT ha permesso lo studio dei decadimenti adronici del b

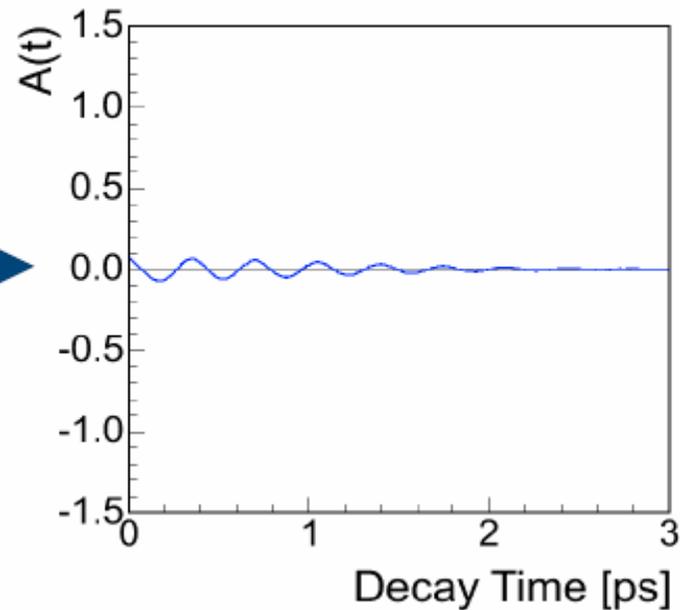
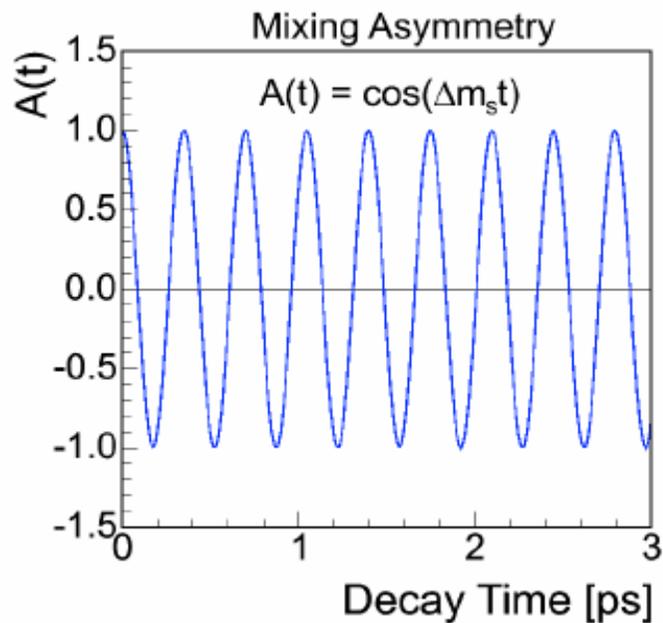
ASIMMETRIA DOVUTA AL MIXING

$$P(B_0 \rightarrow \bar{B}_0) = |\langle \bar{B}_0 | B_0(t) \rangle|^2 = \frac{e^{-t/\tau}}{2\tau} [1 - \cos(\Delta m t)] = \frac{e^{-t/\tau}}{2\tau} \left[1 - \cos\left(x \frac{t}{\tau}\right) \right]$$

$$A(t) = \frac{N_{RS} - N_{WS}}{N_{RS} + N_{WS}}$$



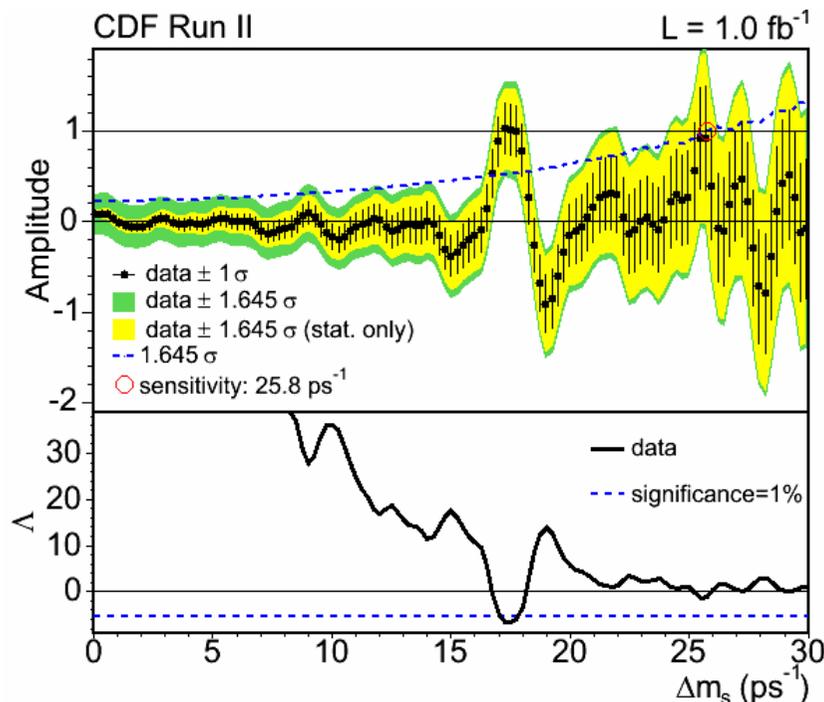
per inefficienze ed errori



MISURA DELLA OSCILLAZIONE DEL B_s DI CDF

La risoluzione in tempo proprio di 0.4% e metodi multipli di b-tagging hanno permesso a CDF di misurare la frequenza di oscillazione del B_s :

$$\Delta m_s = 17.31 \pm (0.33/0.18)_{\text{stat}} \pm 0.07_{\text{syst}} \text{ ps}^{-1}$$

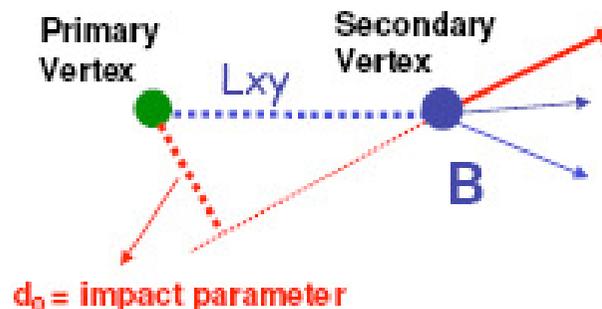


$$|V_{td}/V_{ts}| = 0.208 \pm 0.01/0.02$$

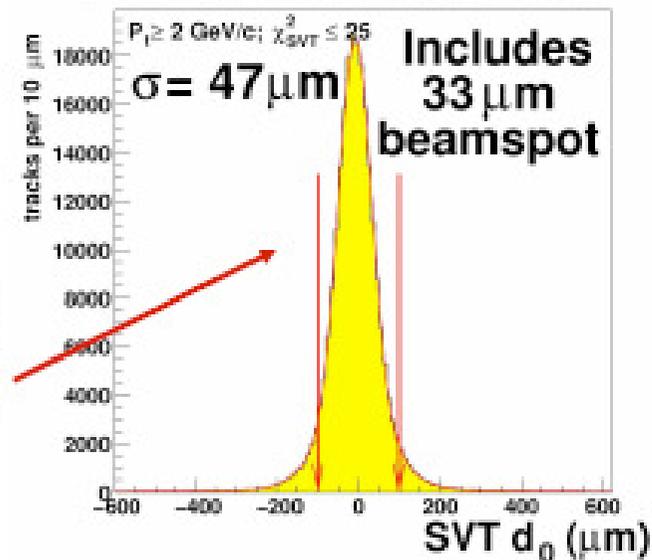


Triggering On Displaced Tracks

- trigger $B_s \rightarrow D_s^- \pi$, $B_s \rightarrow D_s^- l^+$



- trigger extracts 20 TB/sec
- “unusual” trigger requirement:
 - two displaced tracks:
($p_T > 2 \text{ GeV}/c$, $120 \mu\text{m} < |d_0| < 1 \text{ mm}$)
- requires precision tracking in SVX



IL PROGRAMMA DEL TEVATRON NEL RUN 2

Misura di precisione:

Sezioni d'urto a grandi momenti trasversi

Massa del top

Massa e larghezza del W

Frequenza di oscillazione del B_s

Studio delle proprietà:

Barioni contenenti il quark b

Coppie di bosoni (WW, WZ, ZZ)

Quark top (larghezza, carica, distribuzione angolare, massa top-antitop, decadimenti anomali, top singolo)

Scoperte?

lo Higgs e fenomeni oltre il modello standard

ITALIANI IN CDF NEL RUN 2

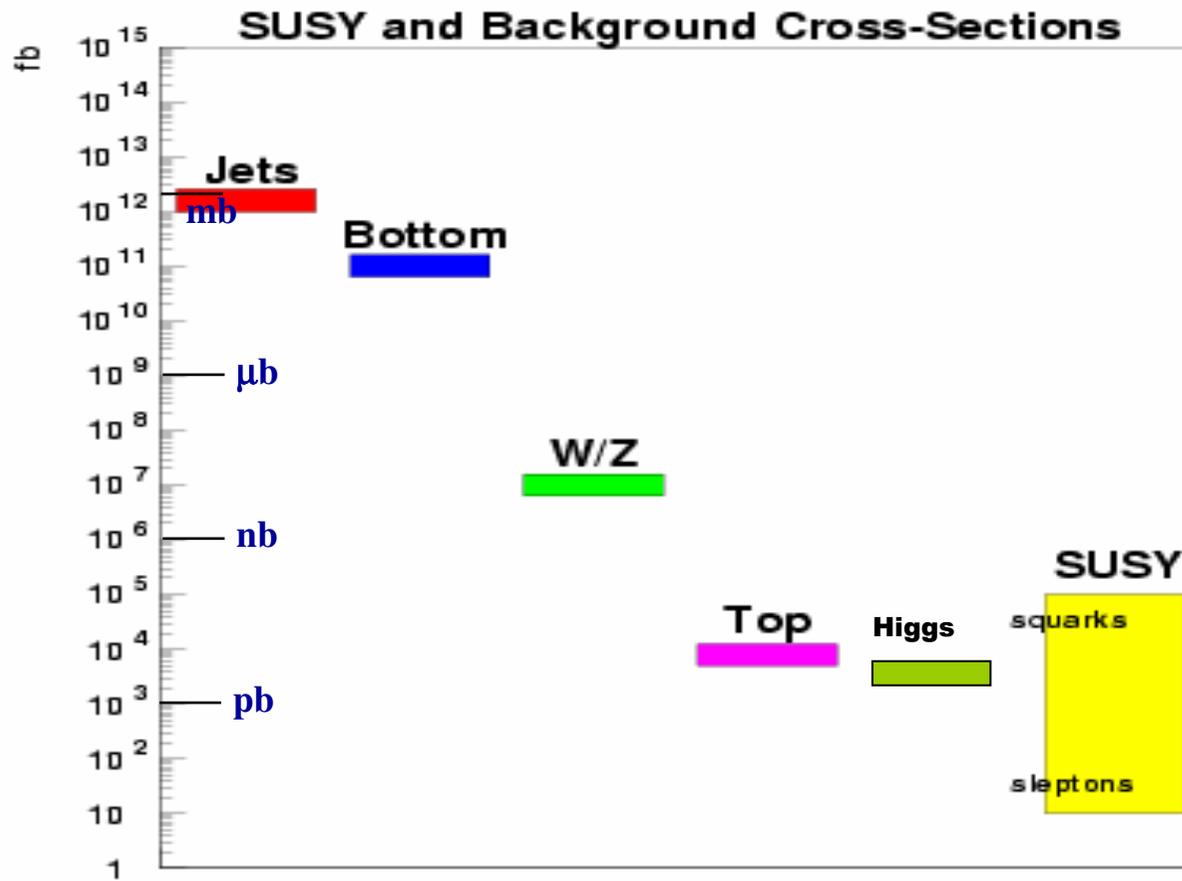
(aprile 2003)

53 gruppi di CDF, circa 650 fisici

6 gruppi italiani, 111 fisici

Gruppo di Bologna:	10 fisici
Gruppo di Frascati:	7
Gruppo di Padova:	22
Gruppo di Pisa:	37
Gruppo di Roma:	21
Gruppo di Trieste/Udine:	14

LE SEZIONI D'URTO AL TEVATRON



SI POTEVA SCOPRIRE LO HIGGS NEL RUN1?

A $\sqrt{s} = 1800 \text{ GeV}$ per $m_H \approx 120 \text{ GeV} \Rightarrow \sigma(WH) \approx 0.4 \text{ pb}$

$L_{\text{run1}} \approx 100 \text{ pb}^{-1}$

Eventi prodotti $N_{\text{eventi}} \approx 40$

Efficienza $\varepsilon_{\text{trigger+analisi}} \approx 2 \%$

Eventi attesi ≤ 1

Eventi di fondo $W+j_b+j_b \sim 3$

pertanto ne` il segnale ne` il rapporto S/B erano adeguati.

STUDIO DELLE PROPRIETA' DEL TOP NEL RUN2

Top Event Decays

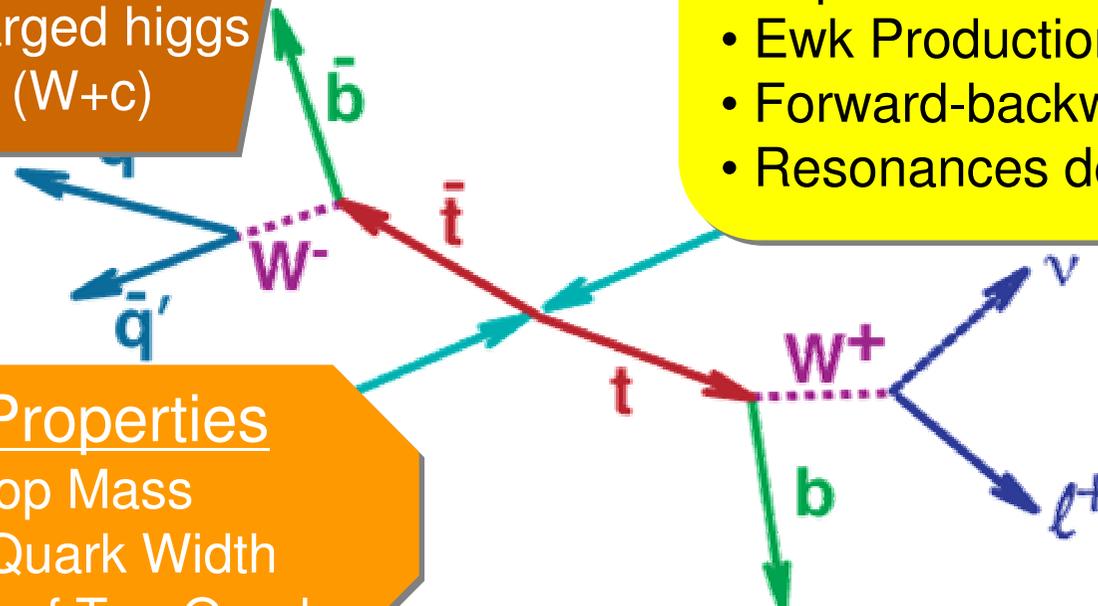
- W helicity (V-A)
- Branching ratios
- Top to charged higgs
- FCNC ($W+c$)

Top Quark Production

- Mechanism
- Top Pair Cross Section
- Ewk Production (single top)
- Forward-backward asymmetry
- Resonances decaying to top

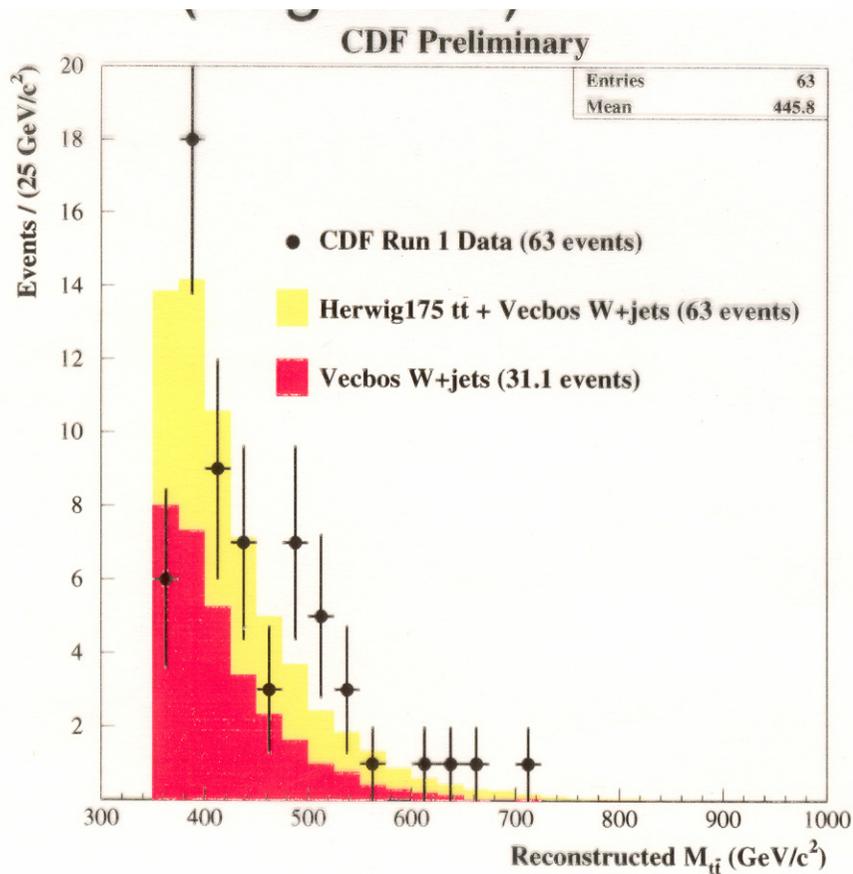
Top Properties

- Top Mass
- Top Quark Width
- Charge of Top Quark



CDF/D0 ALLA CACCIA DI FENOMENI ESOTICI

RUN1



SM Top Production + Z' Production

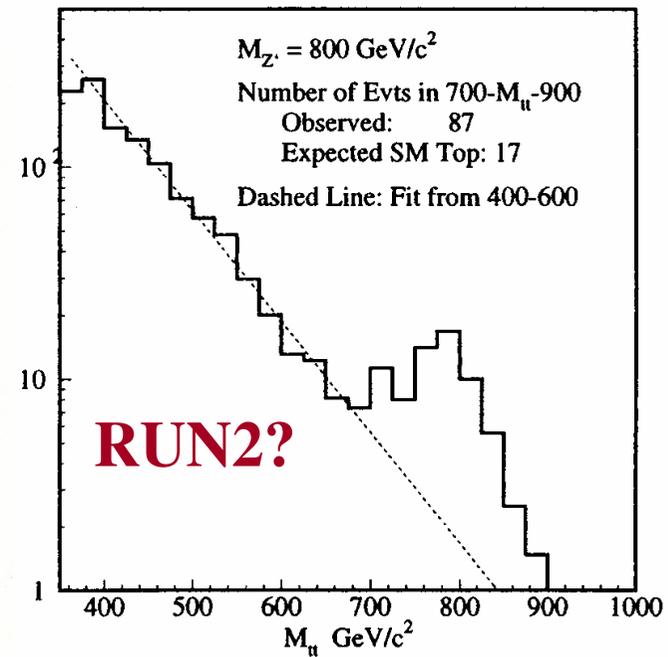
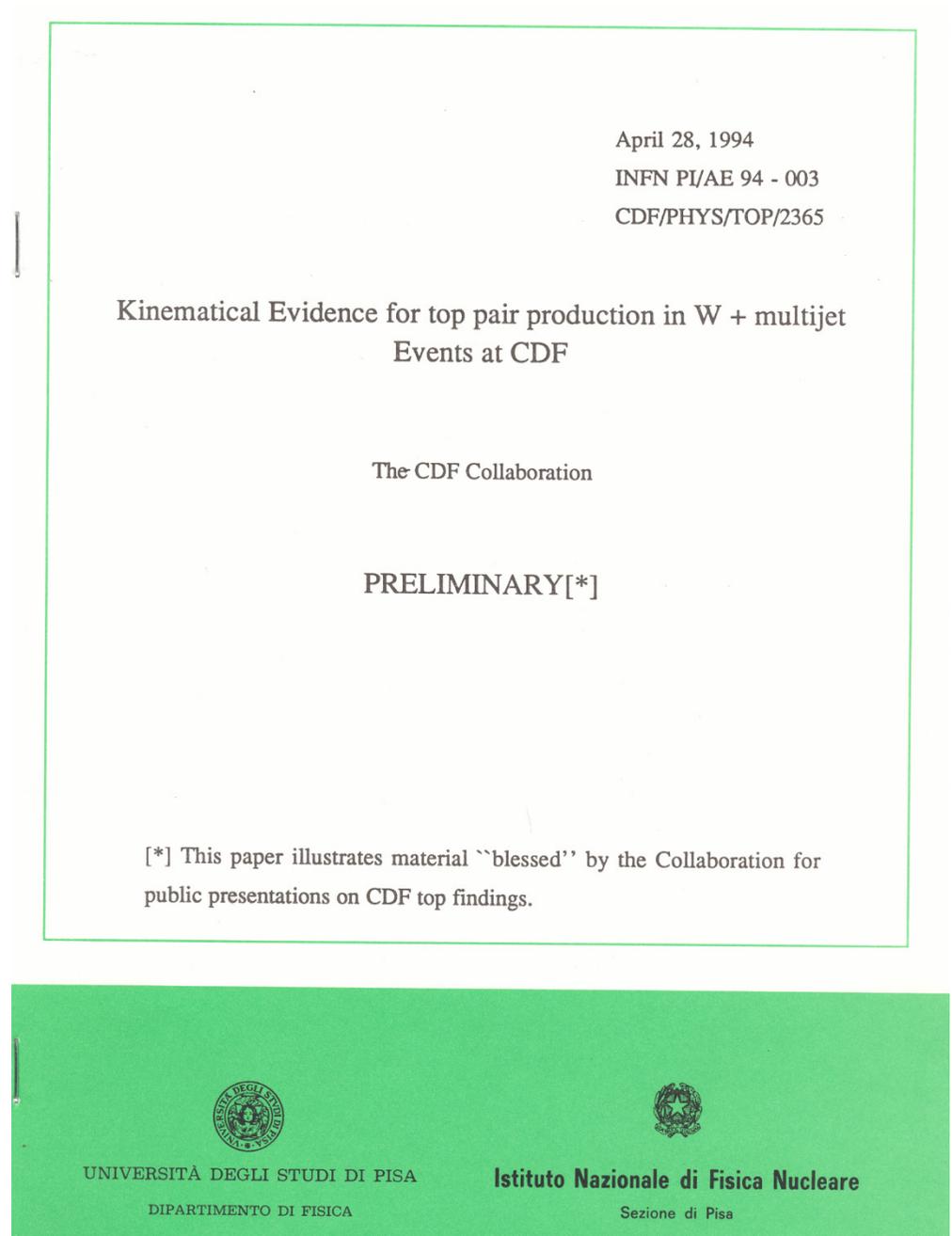


Figure 2.8: A hypothetical $m_{t\bar{t}}$ spectrum with an GeV/c^2 Z' topcolor boson. The rate is based on the theoretical predicted cross section for $t\bar{t}$ production and Z' production [31] with 2 fb^{-1} .

The twin “kinematical evidence” paper

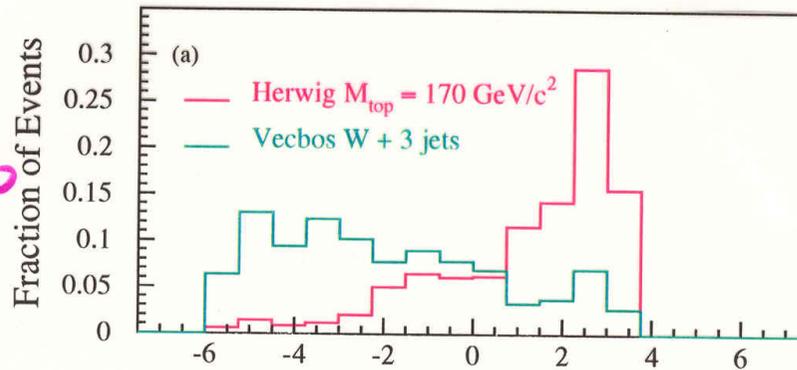
The jet E_t distributions in the single lepton top candidate sample was studied, and a “kinematical probability” for the $W+3,4$ jet sample to contain a top sub sample was worked out.



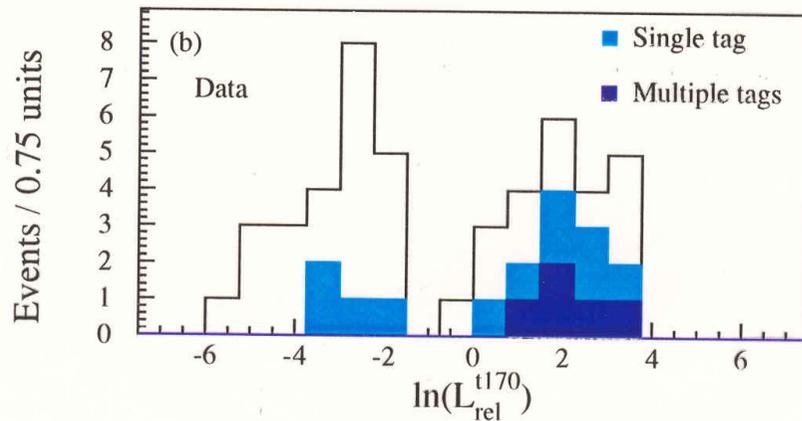
rL at the end of run1

Signal Sample

MONTECARLO



DATA



With the increased statistics, the findings of the relative likelihood study were fully confirmed.

Decay modes of a $t\bar{t}$ pair

The decay branching ratios of a $t\bar{t}$ pair are determined by the branching ratios of the two W 's in the event.

Decay mode	Branching ratio
$t\bar{t} \rightarrow (q\bar{q}b)(q\bar{q}\bar{b})$	36/81
$t\bar{t} \rightarrow (q\bar{q}b)(e\nu\bar{b})$	12/81
$t\bar{t} \rightarrow (q\bar{q}b)(\mu\nu\bar{b})$	12/81
$t\bar{t} \rightarrow (q\bar{q}b)(\tau\nu\bar{b})$	12/81
$t\bar{t} \rightarrow (e\nu b)(\mu\nu\bar{b})$	2/81
$t\bar{t} \rightarrow (e\nu b)(\tau\nu\bar{b})$	2/81
$t\bar{t} \rightarrow (\mu\nu b)(\tau\nu\bar{b})$	2/81
$t\bar{t} \rightarrow (e\nu b)(e\nu\bar{b})$	1/81
$t\bar{t} \rightarrow (\mu\nu b)(\mu\nu\bar{b})$	1/81
$t\bar{t} \rightarrow (\tau\nu b)(\tau\nu\bar{b})$	1/81

Table 5: Decay modes for a $t\bar{t}$ pair and their approximate branching ratios (to lowest order) assuming charged-current decays. The symbol q stands for a light quark.

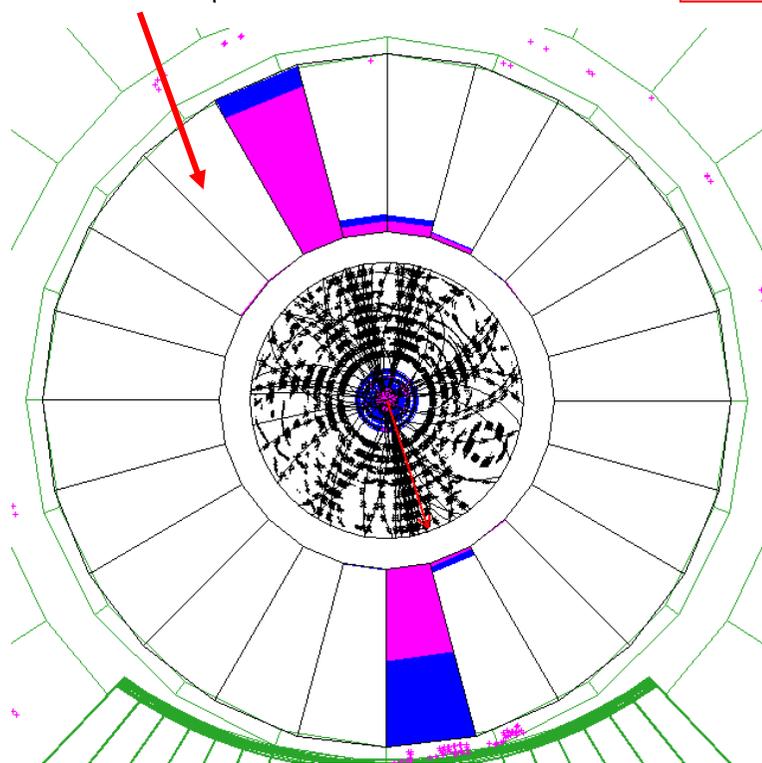
GETTI ADRONICI A CDF

I getti di massima E_T a CDF nel Run 2: $M_{jj} = 1364$ GeV

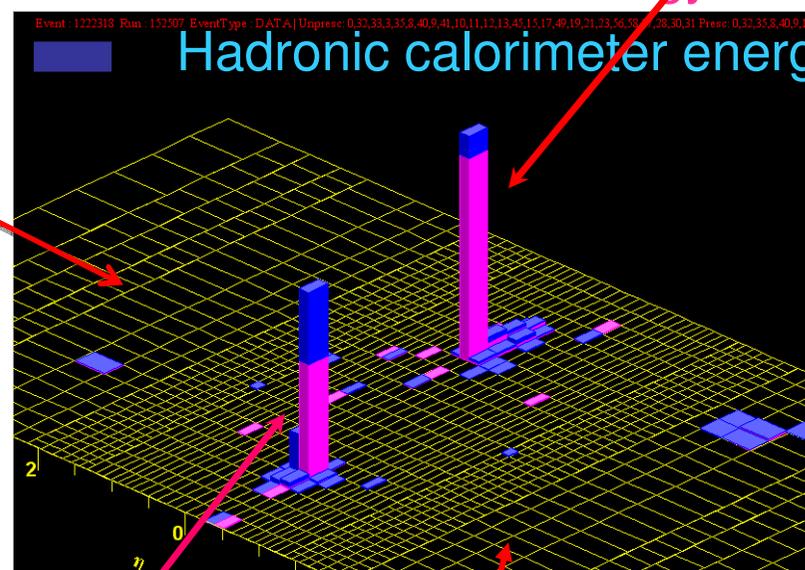
$E_T = 666$ GeV

EM calorimeter energy
Hadronic calorimeter energy

Vista R- ϕ



η vs. ϕ

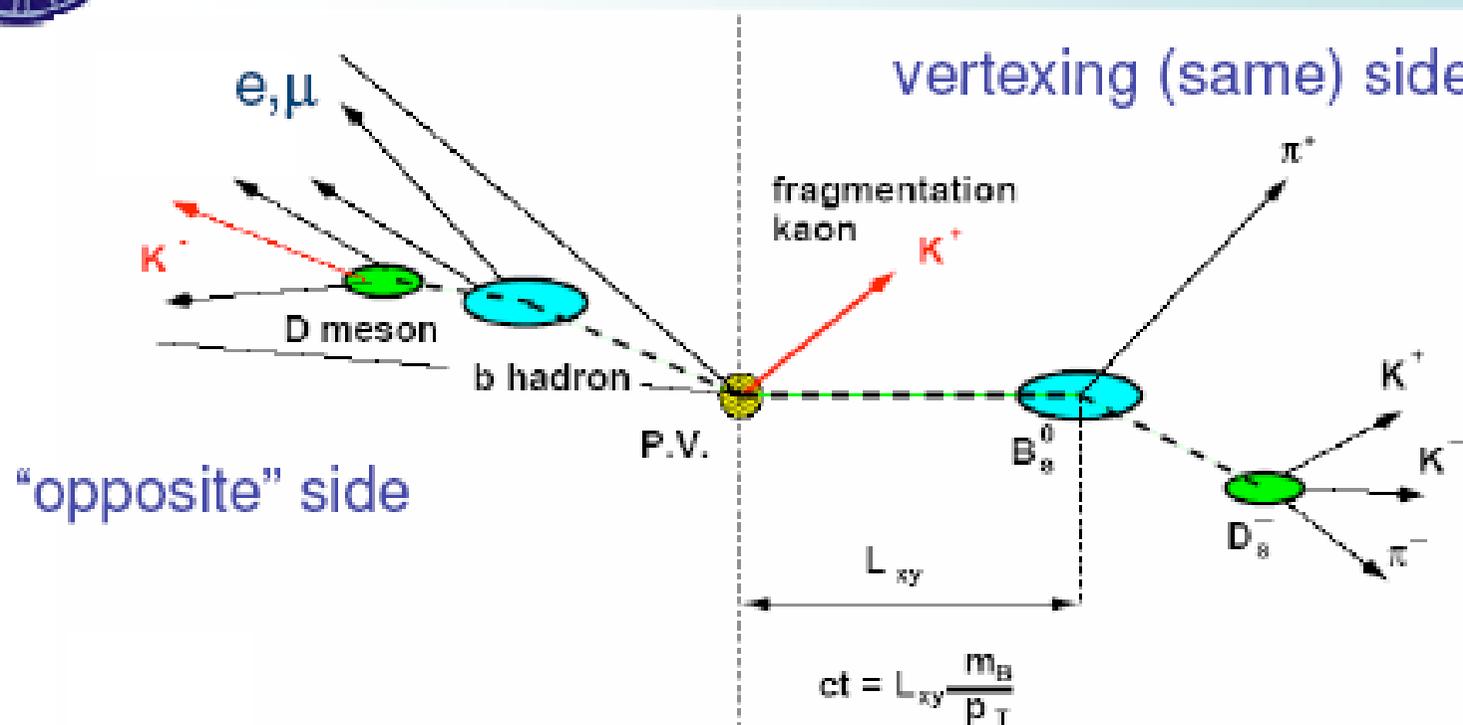


$E_T = 633$ GeV

Ciascuna cella è una torre calorimetrica



Tagging the B Production Flavor



- use a combined same side and opposite side tag!
- use muon, electron tagging, jet charge on opposite side
- jet selection algorithms: vertex, jet probability and highest p_T
- particle ID based kaon tag on same side

Italian group contributions to analysis

- *B/charm physics*

- **Topics:** B_s mixing, $B_s \rightarrow D_s \pi$, $B_s \rightarrow KK$ (lifetime, $\Delta\Gamma/\Gamma$), $B \rightarrow hh$ (A_{CP} , BR), $B_s \rightarrow \phi\phi$, $B_d \rightarrow \phi K^*$ (polarization), $B \rightarrow DK$.
- **Tools:** flavor-tagging development, particle identification TOF and dE/dx
- **Groups involved:** Padova, Pisa, Roma, Trieste, Siena

- *Minimum Bias physics*

- **Topic:** Study of distributions and correlations of charged particles in minimum bias events
- **Groups involved:** Bologna

- *High- p_T physics*

- **Topics:** $Z \rightarrow bb$, top physics (xsec and mass), top/higgs backgrounds (W/Z+jets), forward W's, SUSY searches.
- **Tools:** b-JES, high- P_T b-tagging development
- **Groups involved:** Bologna, Padova, Trento, Pisa, Roma

B-physics

Bs mixing is a CDF global result coming from the combined effort of lot of people from different institutions.

Italian contributions can be found in:

- **Sample Selection**
- **Lifetime measurements**
- **Tagging development**
- **Analysis coordination**
- **PID development and maintenance**
 - **TOF HV + data validation**
 - **dE/dx calibration**

Italian group is also focused on other hot topics:

- **$B \rightarrow hh$**
- **$B \rightarrow VV$ polarization**
- **B^+ production cross section**

$B_d/B_s \rightarrow h^+h^-$ modes, 1fb^{-1}

Charmless B decays are effective probes for CKM and New Physics primary $L_{\text{int}} = 1\text{fb}^{-1}$

- Up for blessing at CDF tomorrow 7/9/06
- **World's largest sample** of $B^0 \rightarrow K^+\pi^-$ (4000 events, and counting...)
- Progress in reconstruction \Rightarrow better S/B
- Results blind, but resolutions from the *actual measurements* are available:

✓ $\text{ACP}(B^0 \rightarrow K^+\pi^-) = xxx \pm 2.3\% \pm 1\%$
 (= Babar @ICHEP06)

[INFN milestone: 3% by 31/12/2006]

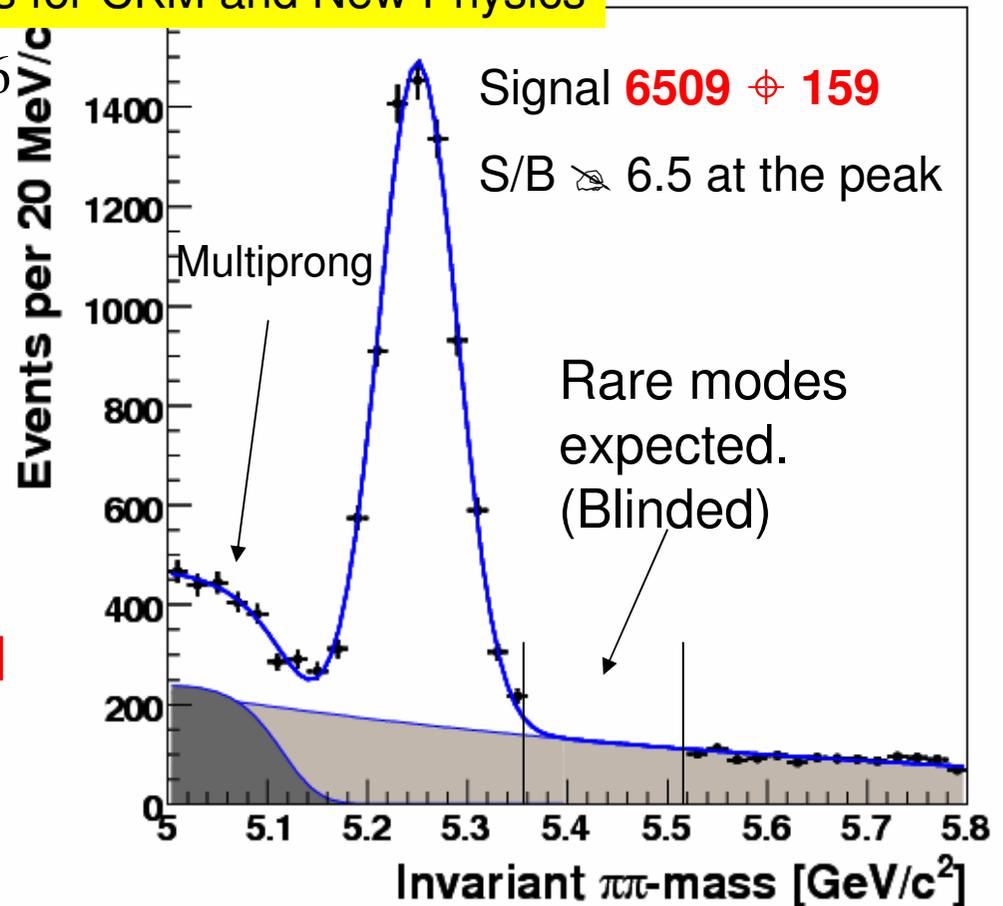
CDF previous result (3/06): $-0.058 \pm 0.039 \pm 0.007$

✓ $(f_s/f_d)BR(B_s \rightarrow K^+K^-)/BR(B^0 \rightarrow K^+\pi^-) = xxx \pm 0.018 \pm 0.05$

(= 11% resolution according to previous measured value of 0.45)

[INFN milestone: 10% by 31/12/2006]

(Plan further improvement before end of year)



Need to separate the (at least) 4 signals superimposed in an unresolved mass peak. Fit the composition of the $B^0 \rightarrow h^+h^-$ signal with a Likelihood that combines the invariant mass ($M_{\square\square}$), the momenta and PID information (dE/dx) 132

$B_d/B_s \rightarrow h^+h^-$ modes, 1fb^{-1}

Not yet observed

CDF Run II Monte Carlo

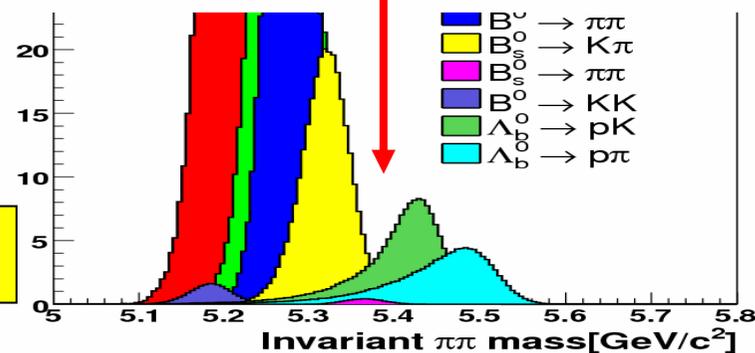
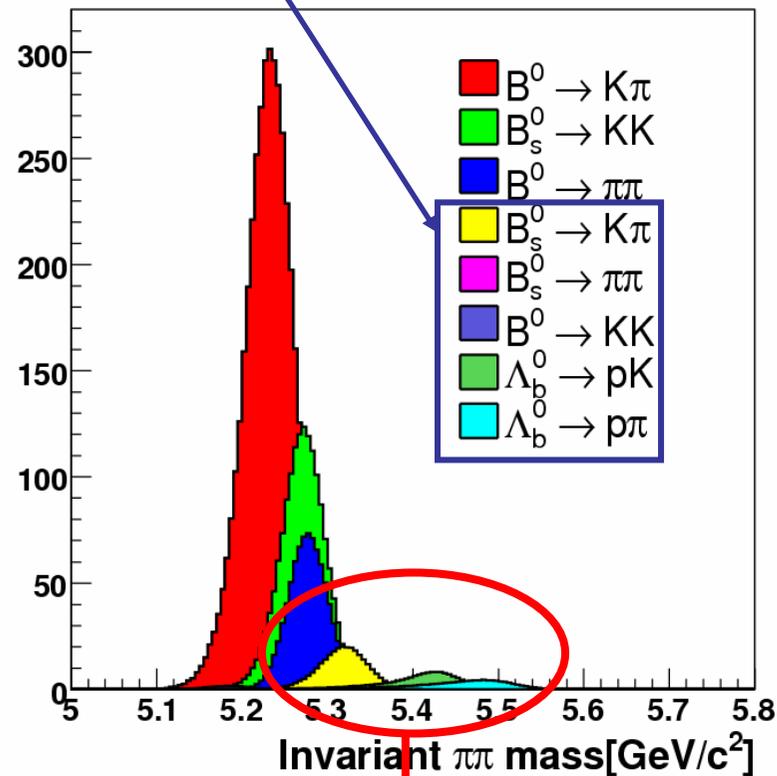
✓ $BR(B_s \rightarrow K^- \pi^+) = (xxx \pm 0.8) \cdot 10^{-6}$
 Predicted $5 \cdot 10^{-6}$ - sensitive to *angle γ*
 Observe it or it is a major surprise !

✓ $A_{CP}(B_s \rightarrow K^- \pi^+)$: $\sigma \sim 15\%$ if standard BR
 SM predicts $\sim 40\%$!!

Crucial test of SM source of CP violation
 [Phys. Lett. B621:126 (2005)]

✓ Possible surprises in rare modes:

- $B^0 \rightarrow K^+ K^-$, $B_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$
 (measure large annihilation ?)
- Charmless barion modes: Λ_b

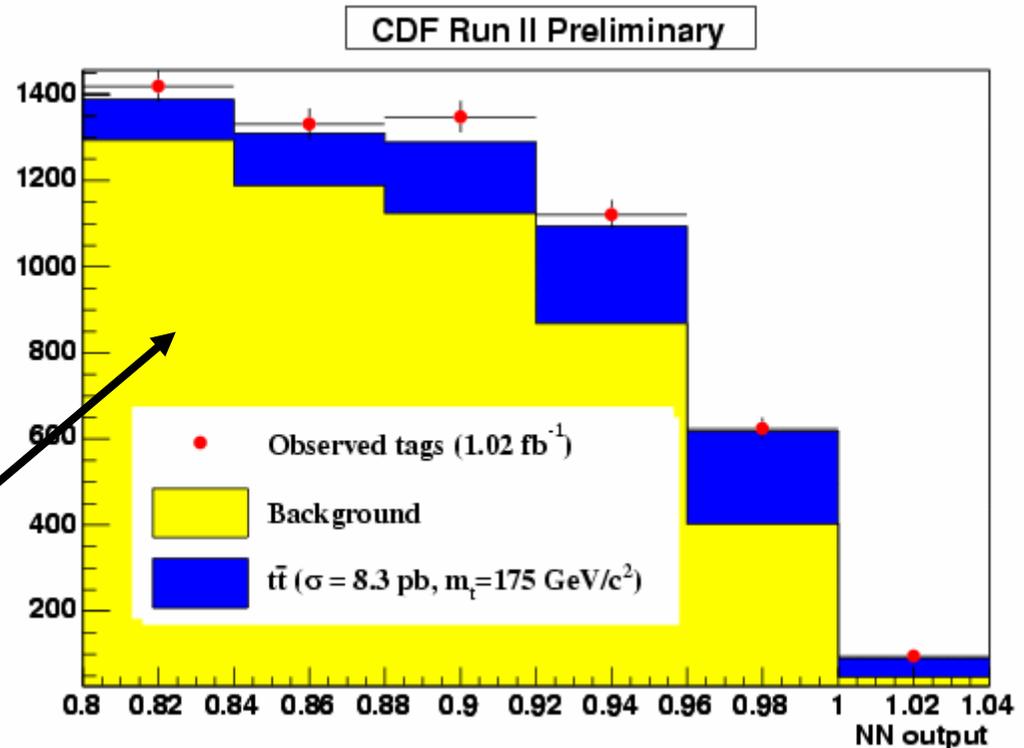
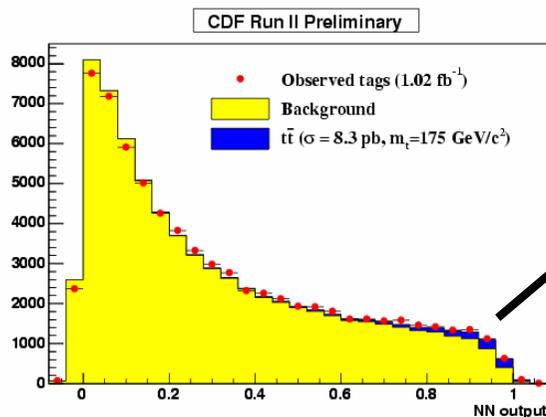
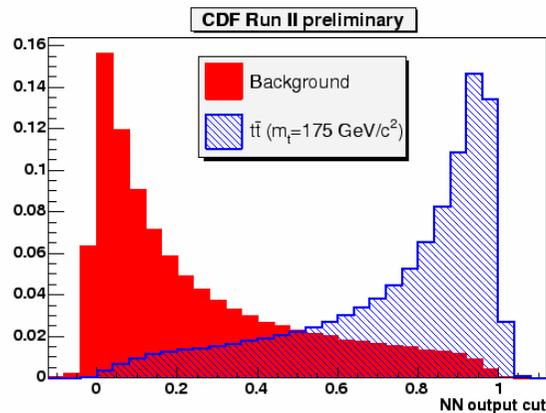


Will be very hot topics with full runII statistics

All-had x-sec

Neural Net Kinematical selection
11 Input variables+ 2 hidden nodes (20 and 10 nodes):

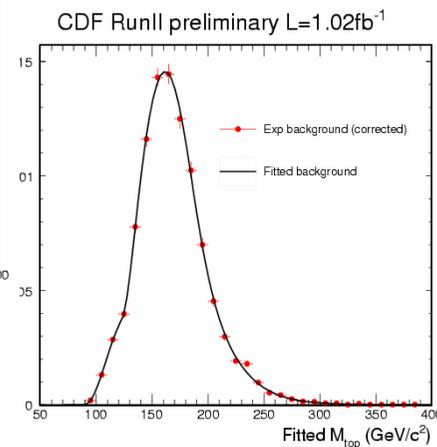
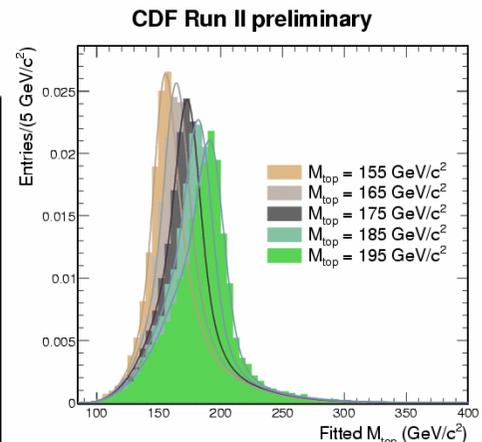
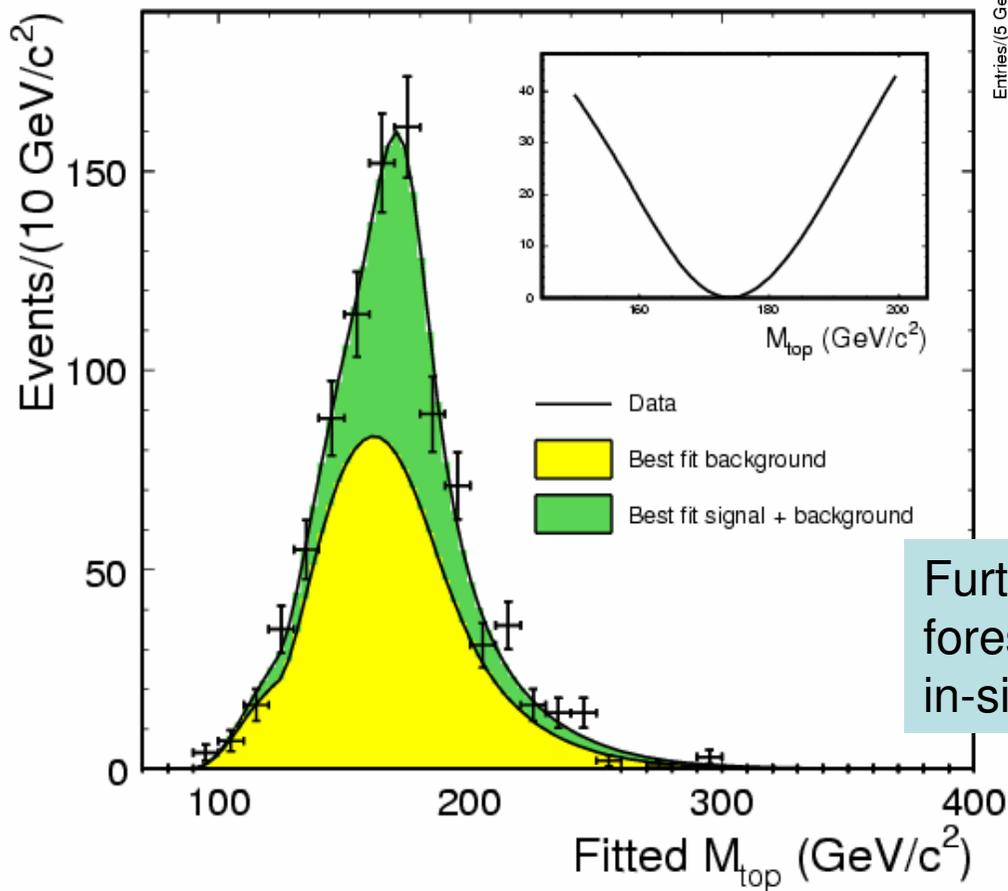
- 1) SumEt; 2) SumEt3; 3) Aplanarity 4) Centrality; 5) M2jMin; 6) M2jMax; 7) M3jMin; 8) M3jMax; 9) Et1Star(=Et*sin^2(theta^*)); 10) Et2Star; 11) <EtStar>3N(geometric average over the 3rd-4th...Nth jets);



$\sigma(t\bar{t}) = 8.3 \pm 1.0 \text{ (stat)} \pm 0.5 \text{ (lum)} +2.0 - 1.5 \text{ (syst)} = 8.3 +2.3 -1.9 \text{ pb}$ 134

All-had: mass TMT

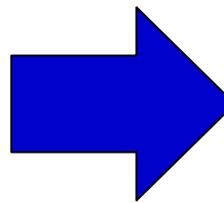
CDF RunII preliminary L=1.02 fb⁻¹



Further improvements foreseen by using in-situ W calibrations

$m_{top} = 174.0 \pm 2.2 \text{ (stat)} \pm 4.8 \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2$

Contribute to 10% to the world average!



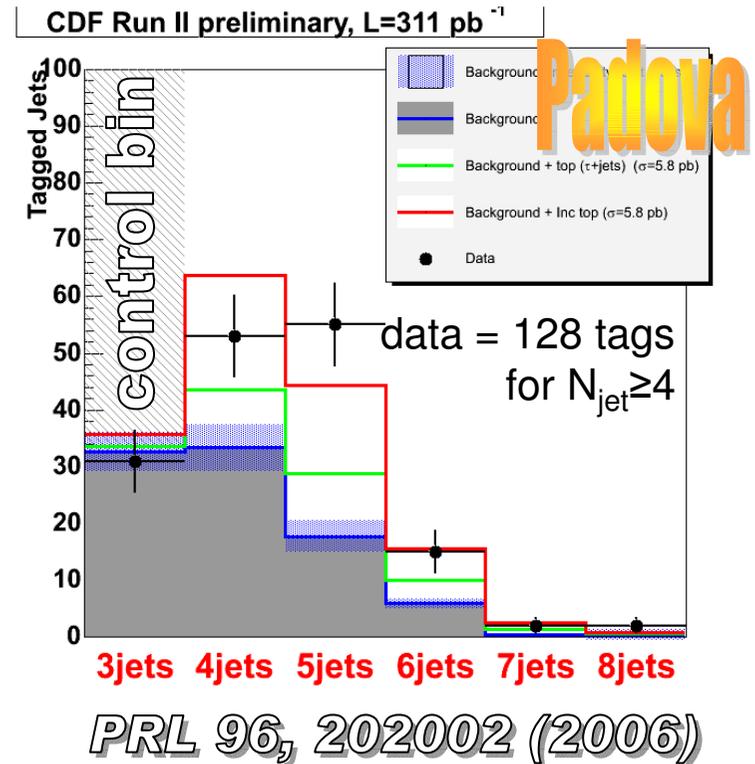
Best Tevatron Run II (*Preliminary)	
*D0 Dilepton (L= 370 pb ⁻¹)	178.1 ± 6.7 ± 4.8
*D0 Lepton+Jets (L= 370 pb ⁻¹)	170.3 ± 2.5 ± 3.8
*CDF Dilepton (L=1030 pb ⁻¹)	164.5 ± 3.9 ± 3.9
*CDF Lepton+Jets (L= 940 pb ⁻¹)	170.9 ± 1.6 ± 2.0
*CDF All hadronic (L=1020 pb ⁻¹)	174.0 ± 2.2 ± 4.8
*Tevatron July'06 (CDF+D0 Run I+II Average)	171.4 ± 1.2 ± 1.8 (stat) ± (syst)

Top Quark Mass (GeV/c²)

MET+jets x-sec

The **MET + jets** analysis is focused on event signatures characterized by **high and significant missing E_T** rather than on events with well-identified leptons. In this way

- ➔ it is sensitive to leptonic W decays regardless of the lepton type
- ➔ has large acceptance with respect to $W \rightarrow \tau\nu$ decays. (1/3 of total)

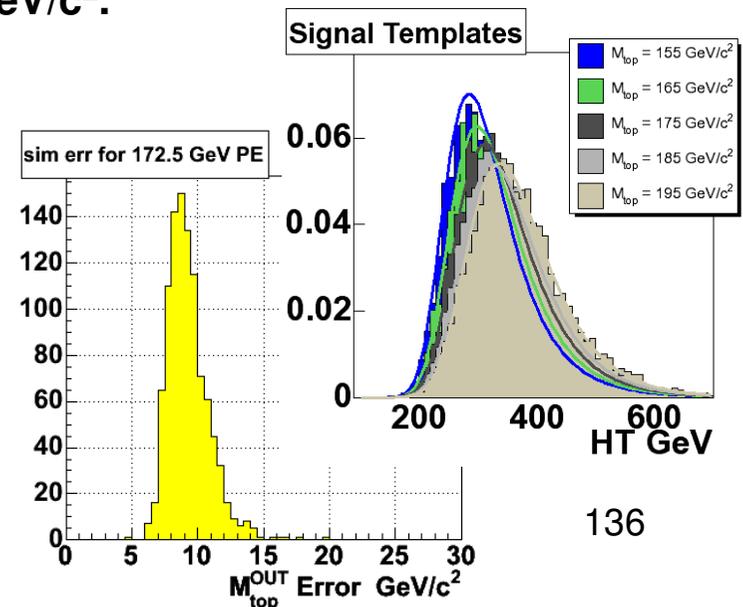


$$\sigma(t\bar{t}) = 6.0 \pm 1.2 \text{ (stat)}_{-0.7}^{+0.9} \text{ (syst) pb for } m_{top} = 175 \text{ GeV}/c^2.$$

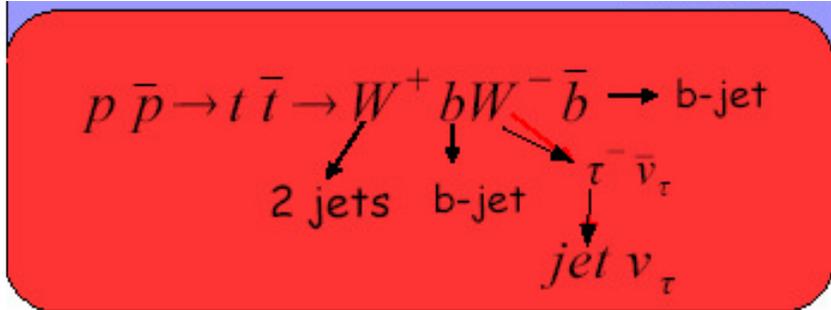
MET+jets top mass:

Mass analysis using HT template method is under blessing....
No results on data yet...

Expected: ~9 GeV stat + ~10 GeV syst uncertainties.



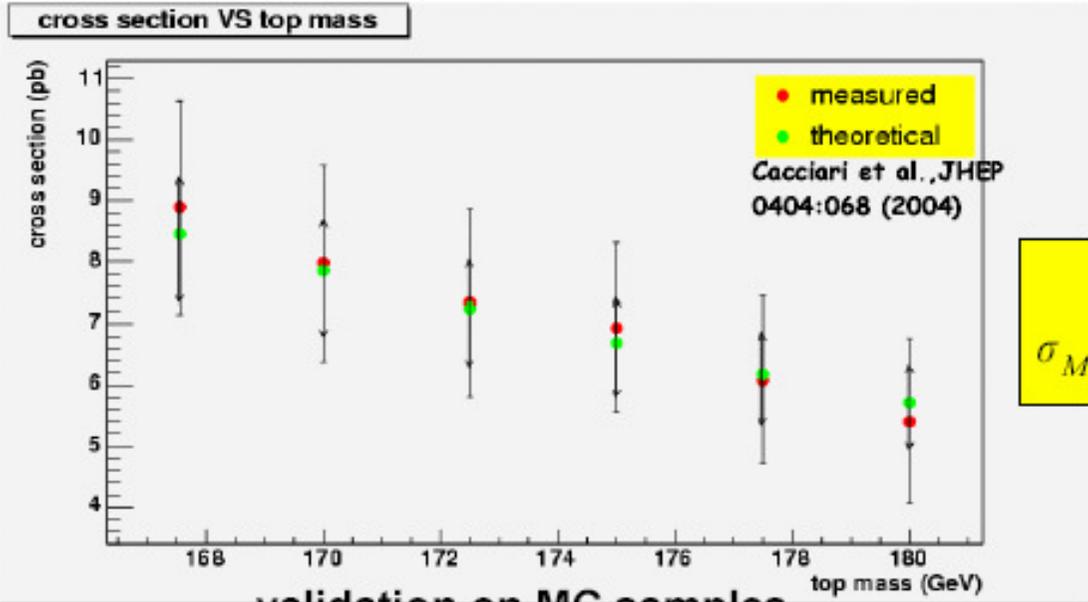
Tau+jets x-sec



311 pb⁻¹
trigger TOP_MULTIJET
tau ID

Technique :

- > NN1 (trained with global variables)
- > cut on NN1 output
- > NN2 (trained with tau specific variables)
- > fit on NN2 output to extract the number of signal and bgnd events



measurement on data

For BestCut = 960:
 $\sigma_{M_{top}=175 GeV} = 7.1 \pm 2.3(stat) \pm 0.9(syst) pb$

soon going for blessing

Top Mass, L+J, 3 best χ^2

Analysis with the TEMPLATE METHOD (1D)

Pretag sample: 24 possible reconstructions of the same event due to different jet-to-parton assignments and neutrino p_z solutions

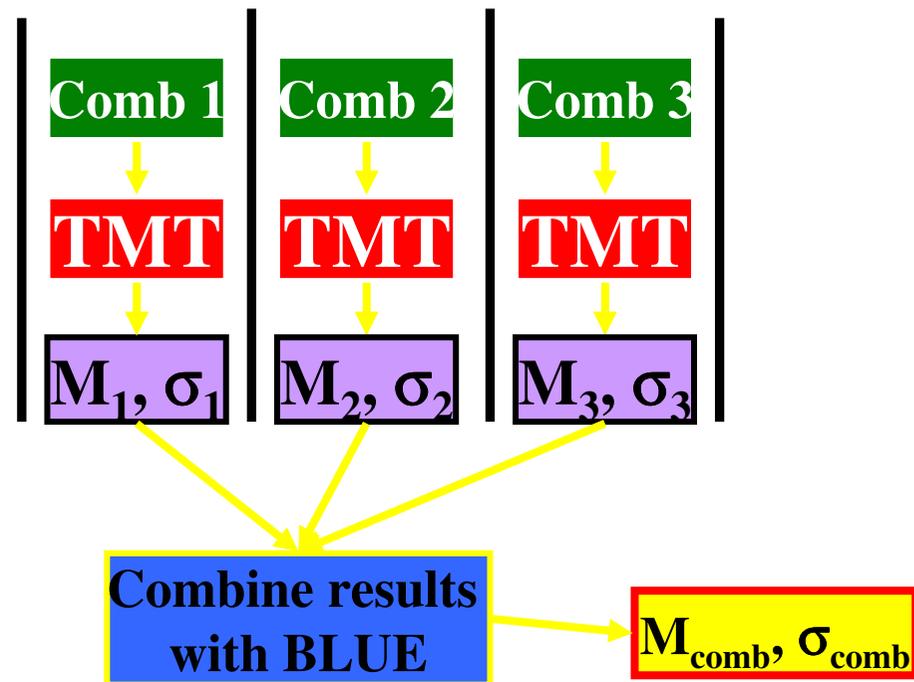
1 SECVTX b-tag: 12 combinations

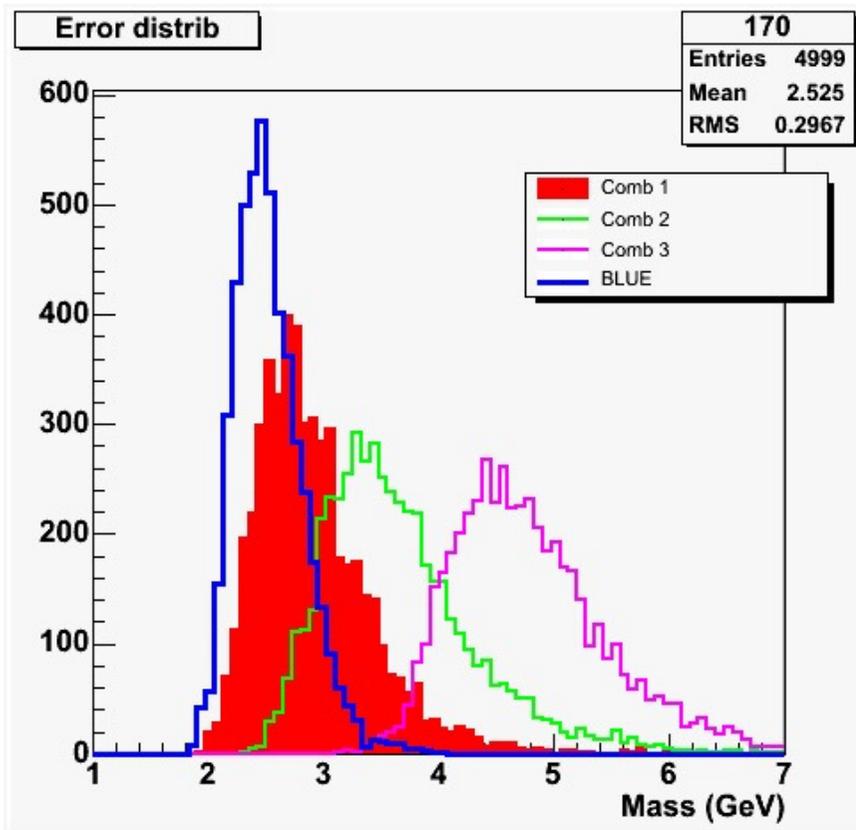
2 SECVTX b-tag: 4 combinations

Standard procedure: order the 24 reconstructions by increasing kinematic χ^2 , use ONLY the best for the mass.

While in principle any number of combinations (up to 24) could be used, using the three best ones seems a fair compromise.

FIRST COMB: ~50% correct jet-to parton assignments
3 BEST: ~ 85% correct assignments





The standard error distribution for the first combination is the solid red line, BLUE is the blue line. The distributions for the second and third combinations are the green and violet histograms.

The simulation predicts that the statistical error on the top mass should decrease by about 10%.

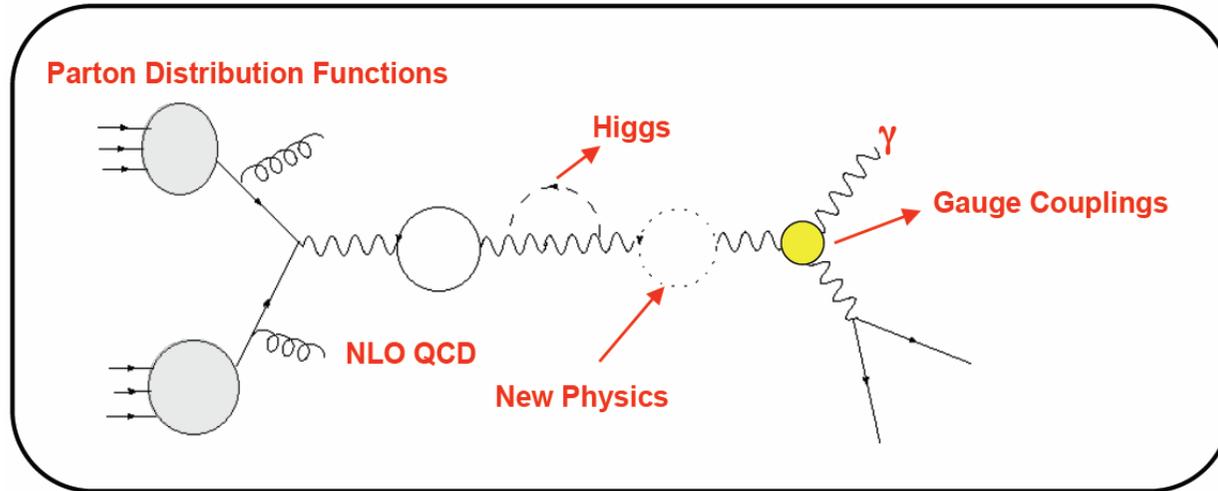
Example on MC $M_{tot}=170$ GeV:

1	170.37	2.86
2	169.80	3.57
3	170.11	4.73
BLUE	170.02	2.51

-12% stat error

The 1fb-1 sample is under study. We plan to apply BLUE to pretag and tagged samples and to integrate it in the TMT-2D analysis ASAP.

W and Z Physics at Tevatron



W mass

W width (world average: $60 \rightarrow 47$ MeV)

Z Boson invisible width $\sim 10\%$ meas.

Tri-linear gauge bosons

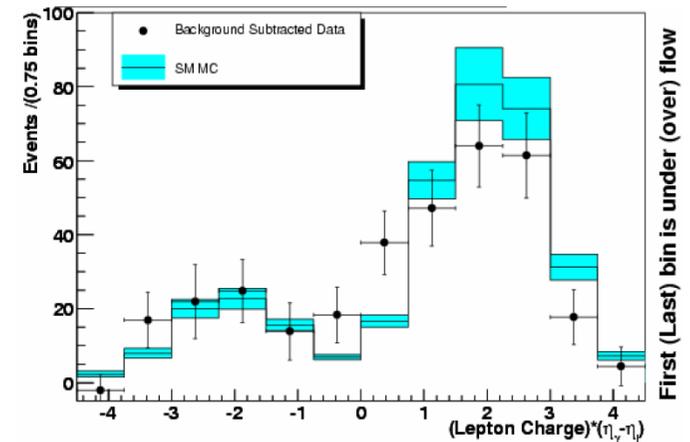
Best limits to date on WWZ coupling

Radiation zero

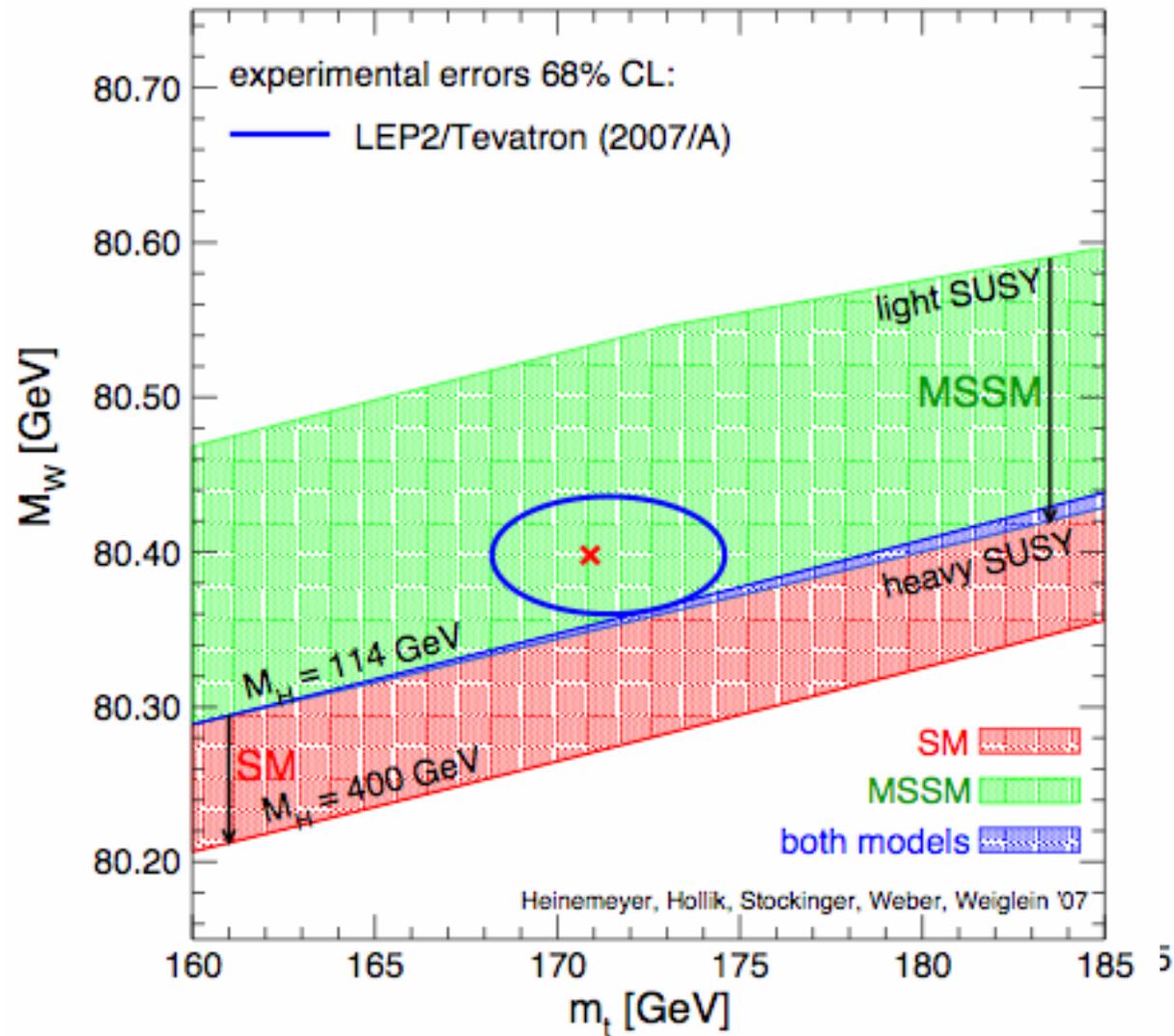
W Charge asymmetry

Z rapidity

.....



W and Top Mass in MSSM



CDF2 paragonato a D02

- CDF2 è un rivelatore che massimizza il ruolo del tracciatore:
 - Miglior risoluzione delle tracce e più strati di misura
 - Parziale separazione π/K col dE/dx e col TOF
 - Maggiore frequenza accettata dal trigger di livello 1
 - Trigger sui vertici secondari
- DØ massimizza il ruolo del calorimetro:
 - Più completa copertura calorimetrica, migliore risoluzione in $E_{t, mancante}$
 - Copertura più completa del rivelatore dei muoni
- Gli esperimenti hanno prestazioni simili in
 - Risoluzione del calorimetro e.m.
 - D02 ha ora un tracciatore in campo magnetico e si accinge (2005) ad installare un trigger di vertici secondari.

Flashback on the Italians in CDF

Giorgio Bellettini

CDF Collaboration Meeting
Sitges, May 30, 2005

The first steps

In September 1979 Paolo Giromini and GB heard of the new Tevatron Collider project at the Lepton-Photon conference at Fermilab.

In december 1979 G.B. agreed with Alvin Tollestrup and Bob Diebold to create an italian group to collaborate with US-Japan to design and operate a magnetic detector.

Early in 1980 a strong group comprising Franco Bedeschi, Sergio Bertolucci, Aldo Menzione, Luciano Ristori was quickly born.

Italian proposals for CDF1 detector

Preserve the event symmetry as in the R801 experiment at the ISR. Split the calorimeter in projective towers.

Approved.

Adopt plastic scintillator towers also in the plug and forward calorimeters.

Not approved.

Install a vertex detector with layers of thin silicon wafers around the beam pipe.

Approved in 1989 for run1b.

IL PROGETTO ITALIANO DI SVX

February 15, 1986
INFN PI/AE 86-4

A SILICON VERTEX DETECTOR FOR CDF

F.Bedeschi^{a)}, S.Belforte^{b)}, G.Bellettini, L.Bosisio, F.Cervelli,
G.Chiarelli^{c)}, R.Del Fabbro, M.Dell'Orso^{a)}, A.Di Virgilio,
E.Focardi, P.Giannetti, M.Giorgi, A.Menzione, L.Ristori,
A.Scribano, P.Sestini^{a)}, A.Stefanini, G.Tonelli, F.Zetti

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Pisa, Italy

Presented by F.Bedeschi

at the IEEE Nuclear Science Symposium
San Francisco, October 1985

U.S.A. {
a) Now at Fermi National Accelerator Laboratory.
b) INFN and Rockefeller University.
c) Now at Rockefeller University.

La proposta di un rivelatore di vertice al silicio fu inclusa nel "CDF Design Proposal" del 1981 per insistenza del gruppo di Pisa.

Dopo 11 anni di studi e di perplessita` da parte della Collaborazione lo SVX fu inserito in CDF nel 1992.

Top mass reconstruction in the CDF “evidence”

In order to be fitted as a t - \bar{t} state, a $l+v$ +jet event must contain at least four jets. Seven b tagged, four jet events were found in the 1995 data and fitted as:

$$pp \rightarrow t_1 + t_2 + X$$

$$t_1 \rightarrow W_1 + b_1$$

$$t_2 \rightarrow W_2 + b_2$$

$$W_1 \rightarrow l + \nu$$

$$W_2 \rightarrow q_1 + q_2$$

The tagged jet was assumed to be a b jet. All possible other jet to parton assignments were tried. The mass of the assignment with the best χ^2 was entered into a distribution. A maximum likelihood fit was made to this distribution in terms of a background and of a mass dependent top template. The mass template that best fit the data indicates the top mass .

Uno spicchio del calorimetro centrale



Central Calorimeter
module with Light
Guide 9/28/82

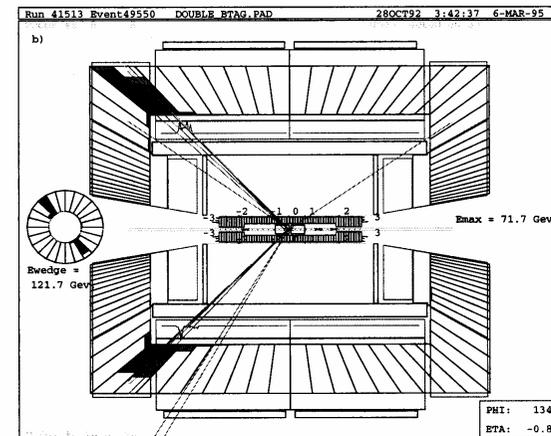
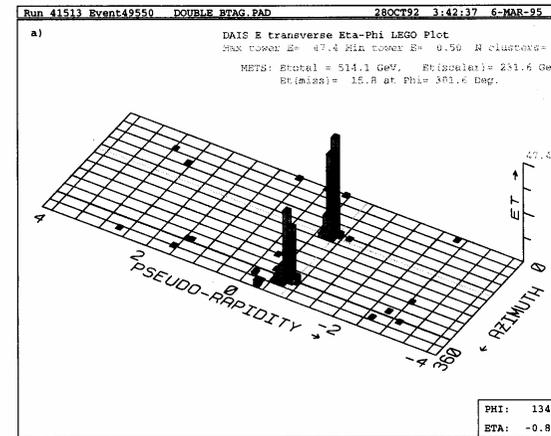


Figure 3.1: A typical dijet event at CDF. a) Lego plot of the energy deposited in the calorimeter. b) Side view of the same event.

The main Italian contributions to CDF2

The secondary vertex tracker

The Intermediate Silicon Layers

The control system of the scintillator plug calorimeter

The extended muon scintillation detector

Italian contributions to the top analysis

The first algorithm to tag the beauty jets

Participate in the search for dilepton events

The kinematical “Relative Likelihood” analysis of the single lepton events

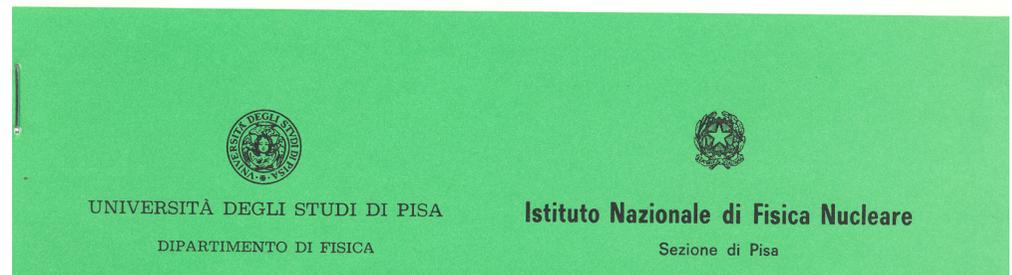
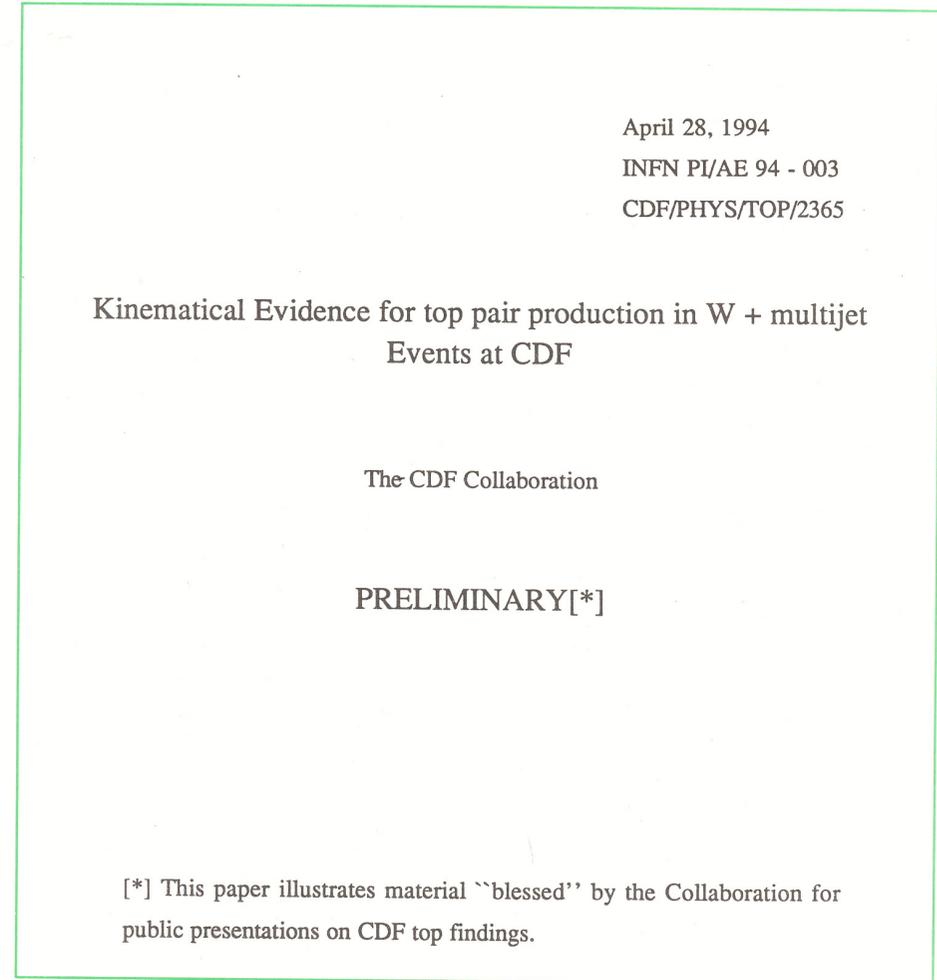
Participate in the measurement of the mass in the single lepton sample.

The twin “kinematical evidence” paper

The leading jet E_t distributions in the single lepton top candidate sample were studied, and a “kinematical probability” for the $W+3,4$ jet sample to contain a top sub sample was worked out.

The Collaboration would not agree to include the findings in the Evidence paper.

A compromise was found by reporting it at the same time as a Pisa INFN report.



The excess tag rates of the CDF “evidence”

In 1994 CDF had 15 top- tags by combining b tagged single lepton events and dilepton events (considered to be equivalent to single lepton b tagged events). The expected background was 5.9 tags. D0 had 5,9 events and an expected background of 4,7 events

Search Category	Expect m=160	Background	Observed
D0 SEARCHES			
Dilepton	0.83	0.98	1
Kinematic	2.8	1.6	3
Soft lepton tag	1.6	2.1	3
D0 SUM	5.4 ± 0.9	4.7 ± 1.0	7
CDF SEARCHES			
Dilepton	1.3	0.56	2
Soft lepton tag	1.9	3.1	7
Silicon vertex tag	2.7	2.3	6
CDF SUM	5.9	5.9	15 (12 events)

Table 6: D0 and CDF Top Searches at a Glance.

**Can it be a
background
fluctuation?**

STATISTICAL SIGNIFICANCE

Is this a background fluctuation?

Consider the 3 searches, 1st individually, then combined.

Individual:

What is the probability that the background fluctuated to the number of events observed or more?

<u>Search</u>	<u>P</u>
Dilepton	12%
Secondary vertex	3.2%
Soft Lepton	3.8%

Overall probability of a statistical fluctuation

Follow method 1, assume dominant direct W +jet production, compute tag rates in the single lepton sample by applying tagging efficiency and mistag probability. Add additional background from minor sources (direct $b\bar{b}$, $Z\rightarrow\tau\tau$, WW).

Add dilepton background computed in the same way.

Find average total background and compute its fluctuation probability:

$$P(>15 \text{ counts}) = 2,6 \times 10^{-3}$$

For a gaussian distribution, $P = 0,26\% \Rightarrow 2,8\sigma$

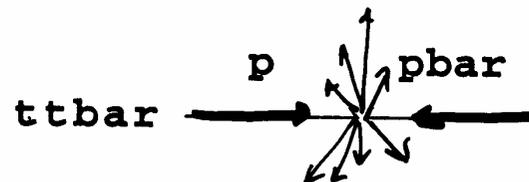
Kinematical likelihood approach

The heavier the top, the greater the excess of large E_t jets relative to $W + \text{jet}$ events with the same jet multiplicity.

SUMMER 1994

THE "EVENT STRUCTURE EXPERIMENT"

1) LARGE ANGLE ENERGETIC JETS IN $t\bar{t}$



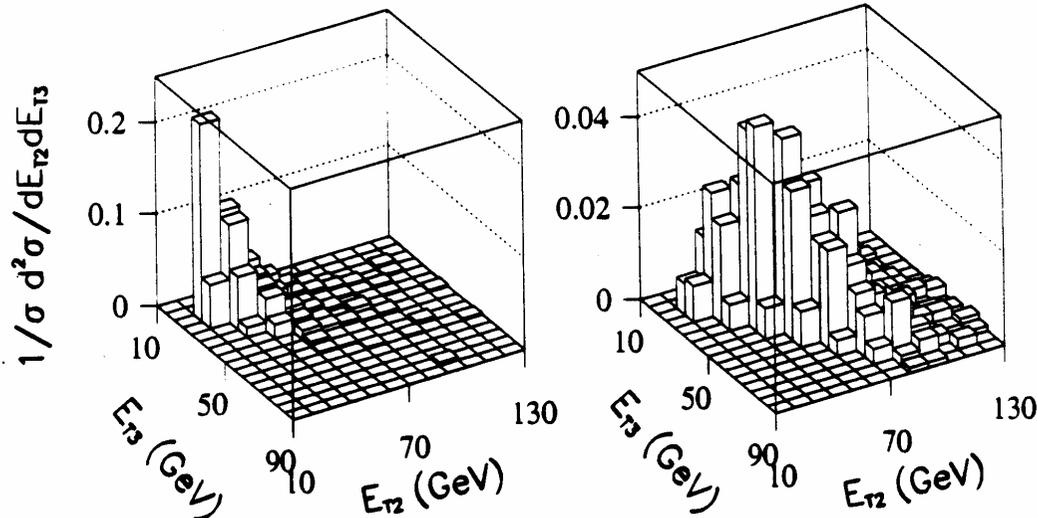
2. MORE FORWARD JETS IN QCD GLUON BREMMS



Simulated jet E_t spectra

W+3 jets (Vecbos)

Top (170 GeV) (Herwig)



E_{T2} and E_{T3} sensitive to difference between $t\bar{t}$ and W+ QCD jets.

Define a relative likelihood:

$$L_{rel} = \frac{\left(\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma^{t\bar{t}}}{dE_{T2}}\right) \times \left(\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma^{t\bar{t}}}{dE_{T3}}\right)}{\left(\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma^{QCD}}{dE_{T2}}\right) \times \left(\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma^{QCD}}{dE_{T3}}\right)}$$

where each cross section term is normalized to 1 (shape analysis)

- $\ln(L_{rel}) < 0$ more likely to be QCD
- $\ln(L_{rel}) > 0$ more likely to be $t\bar{t}$

The E_t spectra of jets in W+jet events were computed in NLO QCD.

Similarly, the E_t spectra of jets in $t\bar{t}$ events was calculated for a set of assumed top masses.

QCD jets were predicted to be much softer at large angles than jets in the decay of a large mass top.

The Relative Likelihood evidence

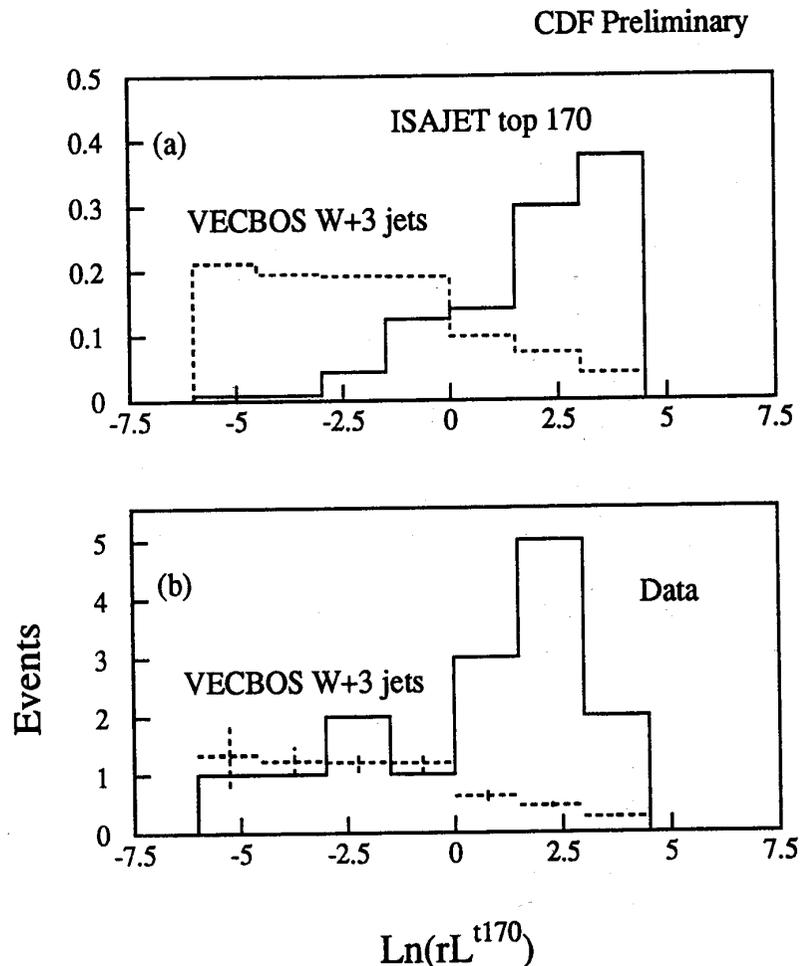


Figure 8: $\text{Ln}(rL)$ for QCD VECBOS, top ISAJET and data events for $W+3$ central jet events (signal enriched sample). (a): $W+\geq 3$ jet VECBOS (dotted histogram) and top(170 GeV) ISAJET (solid histogram), normalized to 1. (b): data (solid histogram) and VECBOS (dotted histogram). VECBOS is normalized to data in the region $\ln(rL) < 0$. The indicated errors are statistical only.

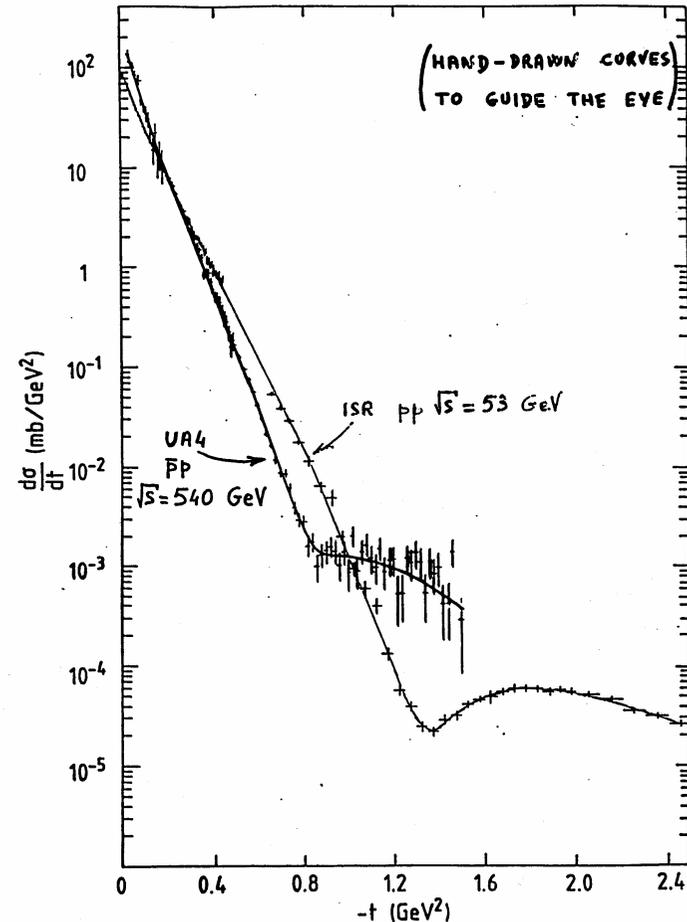
The distribution in Relative Likelihood showed a peak at positive $\ln(rL)$ as expected for a heavy top.

The data could be fitted as a sum of a top and a W +jet template.

SCATTERING ELASTICO AL SPS

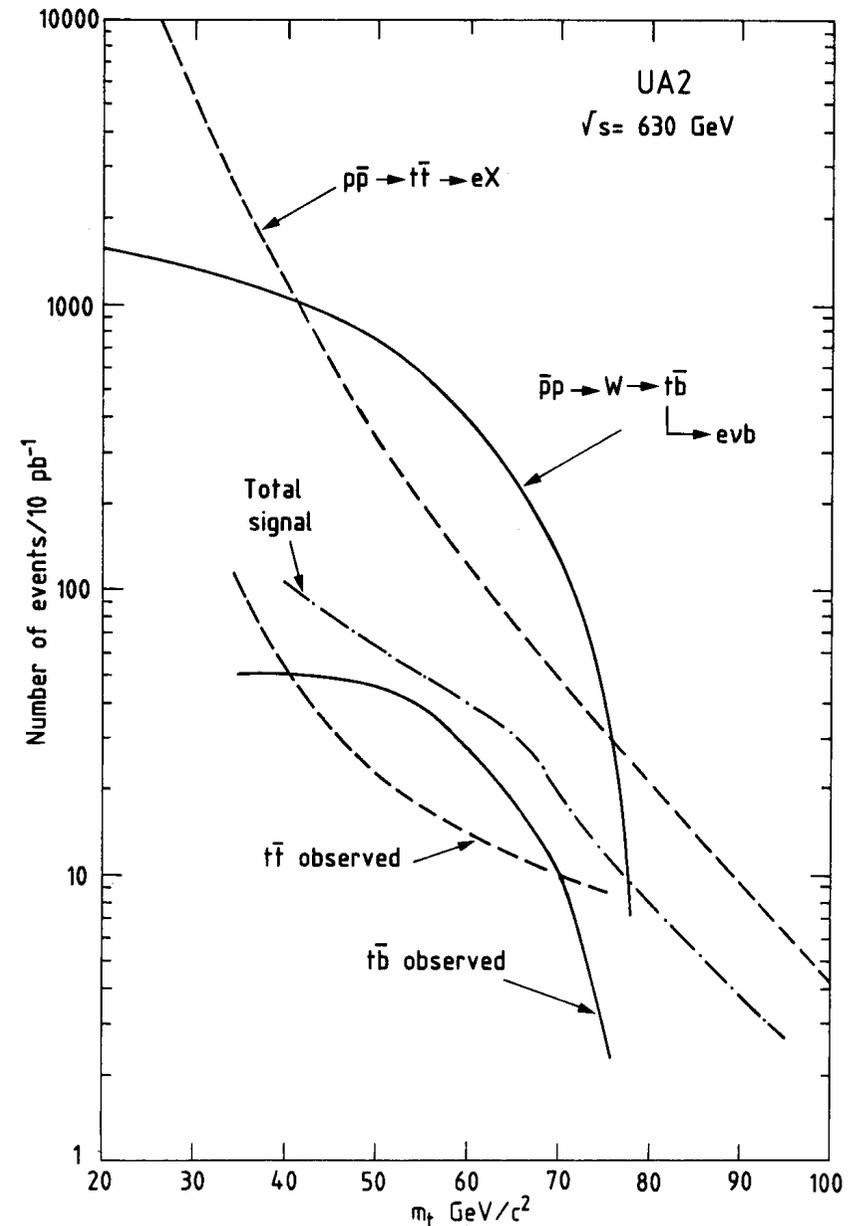
Al SpS la dipendenza da t dello scattering elastico mostrò in avanti una struttura di assorbimento simile a quella osservata agli ISR. Sorprendentemente il massimo secondario era meno evidente.

Il paragone con gli ISR fece ipotizzare che in $p\bar{p}$ lo scattering di potenziale fosse più importante che in $p p$, dando origine ad una più grande parte reale dell'ampiezza di scattering in avanti.



SINGLE vs. PAIR TOP PRODUCTION

The $\sigma(ttX)$ cross section could be estimated in QCD. For $40 < m_t < 75$ GeV top pair production was expected to be several times smaller than single production.



A FAKE UA1 TOP SIGNAL AT $M_{\text{TOP}} \sim 40 \text{ GeV}$

A $W \rightarrow tb$ decay would be followed by $t \rightarrow W^*b$ and by $W^* \rightarrow l\nu$. The event would feature 2 b jets, one electron or muon and large missing E_t . The total 4 body mass would be the W mass, while a sub system mass would have the mass of the top quark.

UA1 got some early indication for such events with $m_t \sim 40 \text{ GeV}$. However, it was later understood that the events were background, probably from bb +jet production.

TOP KINEMATICAL LIKELYHOOD

In addition to isolation, three kinematical parameters of the events were used to assign an overall probability that an event would look like top or like background.

1) $P_T(\mu)$,

2) E_T^{miss}

tend to be higher in top than in background events;

3) $\Delta\phi(\mu, \text{jet}_1)$,

the azimuthal separation between the muon and the highest energy jet tend to be larger in background bb, cc events.

DISTRIBUTION OF KINEMATICAL PARAMETERS

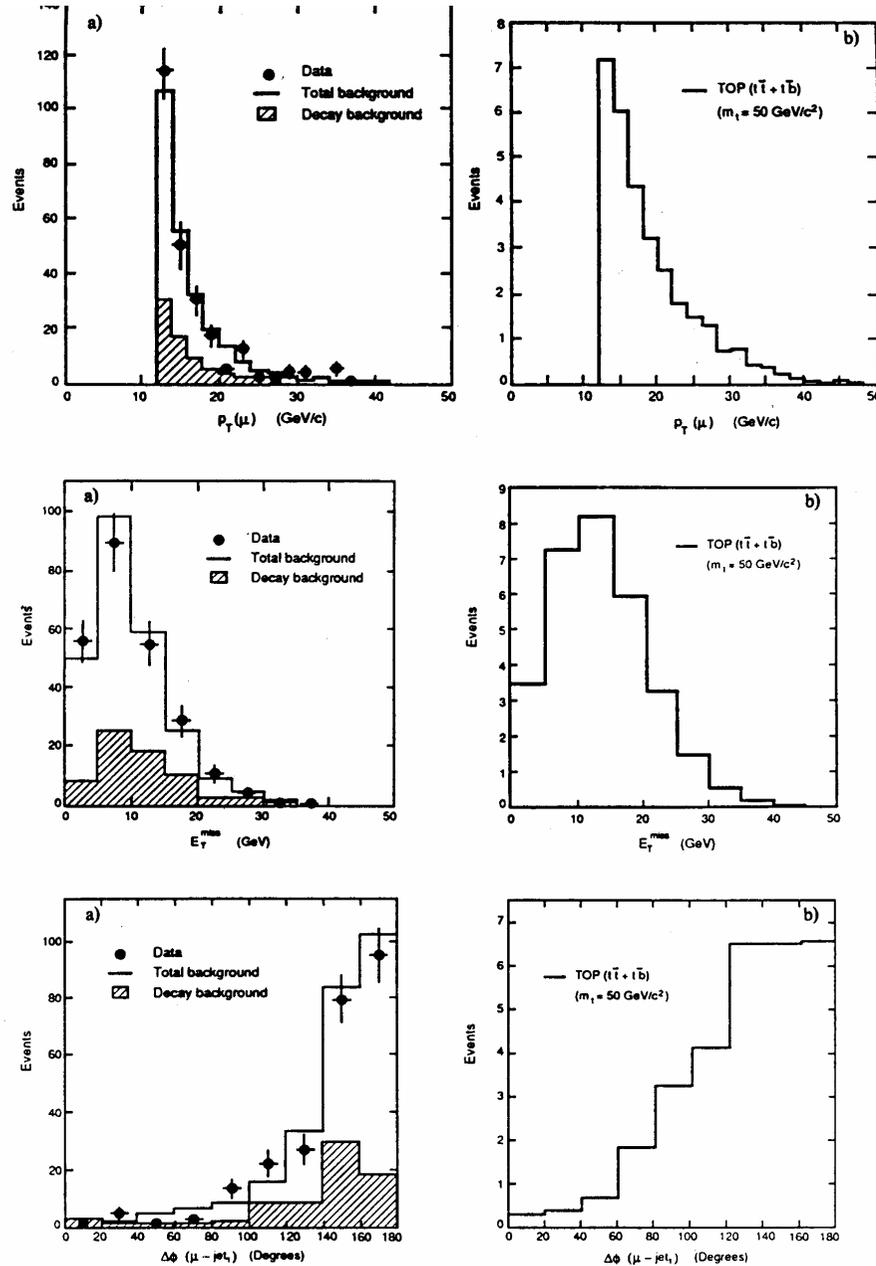


Fig. 4: Distributions of the three additional variables used to differentiate t -quark events from background: a) for the background and data; b) for a t -quark expectation.

The distribution of the three parameters were simulated and compared with data. The data were fitted well by background only.

GLI SPETTROMETRI CON I “POZZETTI ROMANI”

Per sfruttare il minor spessore dei fasci nella direzione verticale ($\sim 0,7\text{mm}$) i rivelatori furono collocati sopra e sotto il piano della macchina arrivando a coprire angoli piccoli fino a ~ 1 mr.

Questo tuttavia non fu sufficiente per studiare l'interferenza coulombiana, per la misura della quale fu necessario modificare l'ottica della macchina per ottenere fasci piu' paralleli ed allontanarsi dal punto di interazione.

36

R. Battiston et al. / The “Roman pot” spectrometer

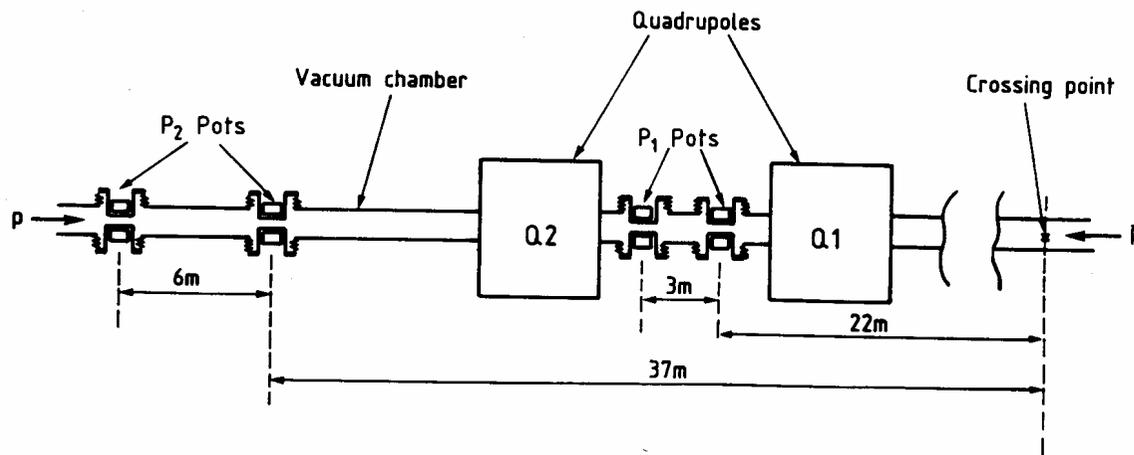
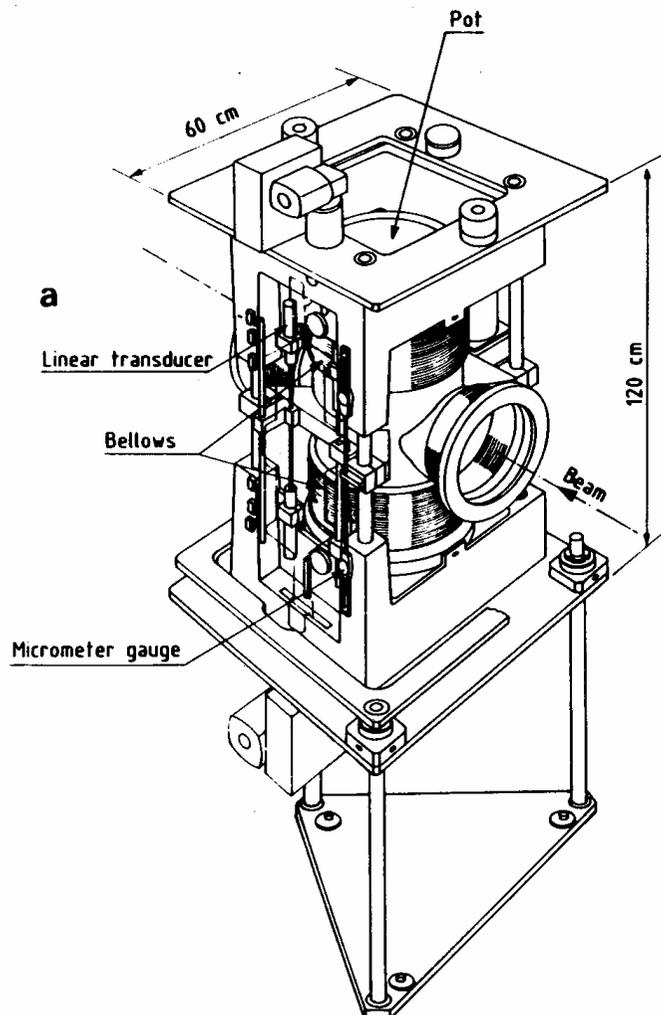


Fig. 1. Layout of the “Roman pot” spectrometer. Only the left (\bar{p}) side is shown, the other side is symmetric with respect to the interaction point. Q_1 and Q_2 represent two pairs of machine quadrupoles. The detectors are placed inside the pots, arranged in telescopes P_1 and P_2 .

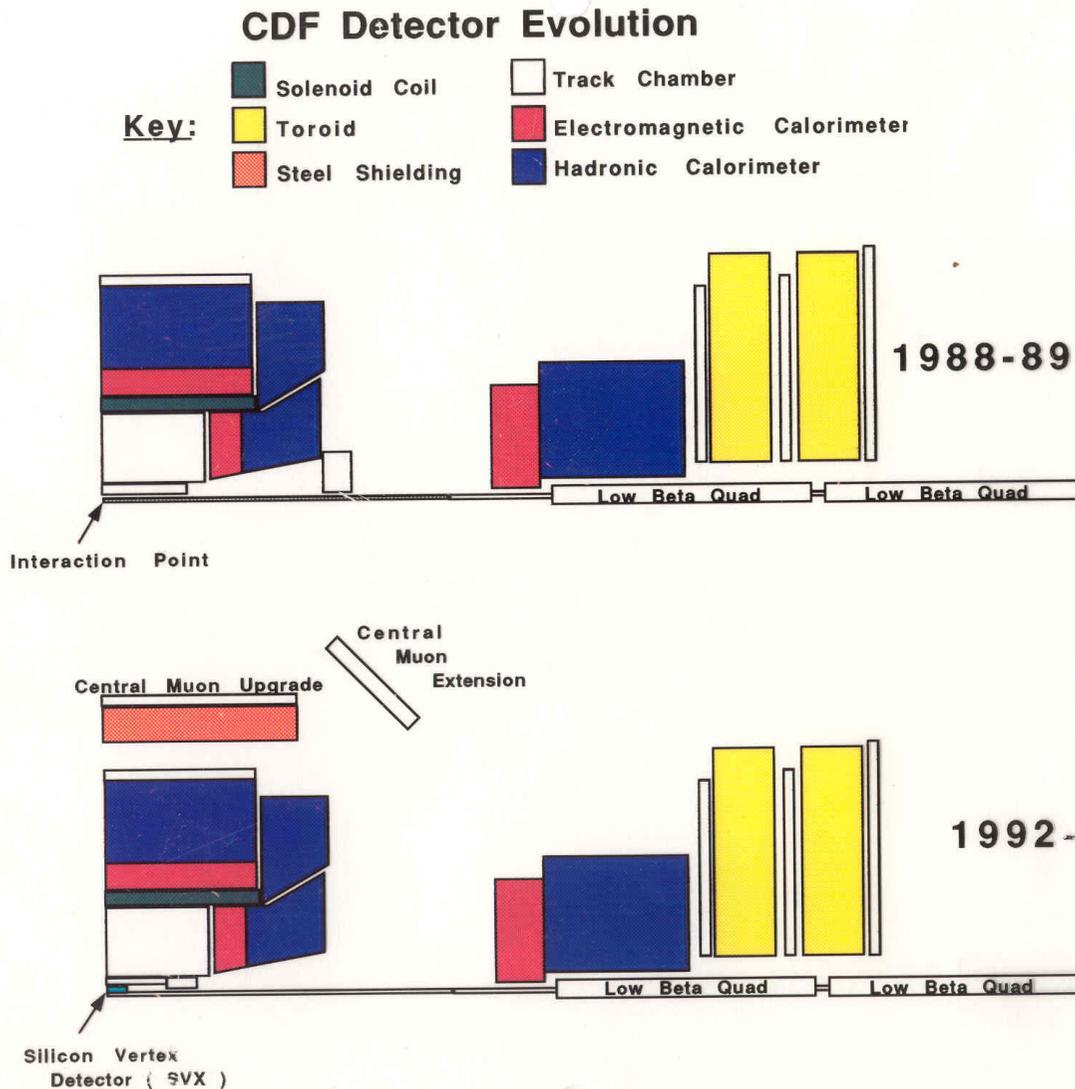
MECCANICA DI UN POZZETTO ROMANO



I pozzetti furono costruiti in coppie sopra sotto, con tubi corrugati per permettere di variare la distanza dei rivelatori dai fasci. Le pareti che dovevano attraversare le particelle scatterate erano spesse 0,1 mm.

Per permettere ai fasci di utilizzare la completa apertura della macchina, all'inizio del ciclo di accelerazione il fondo dei pozzetti era allontanato fino ad essere del tutto fuori dal tubo dei fasci. Viceversa durante la misura il fondo veniva avvicinato il più possibile ai fasci, con una precisione di posizionamento di $\sim 50 \mu\text{m}$.

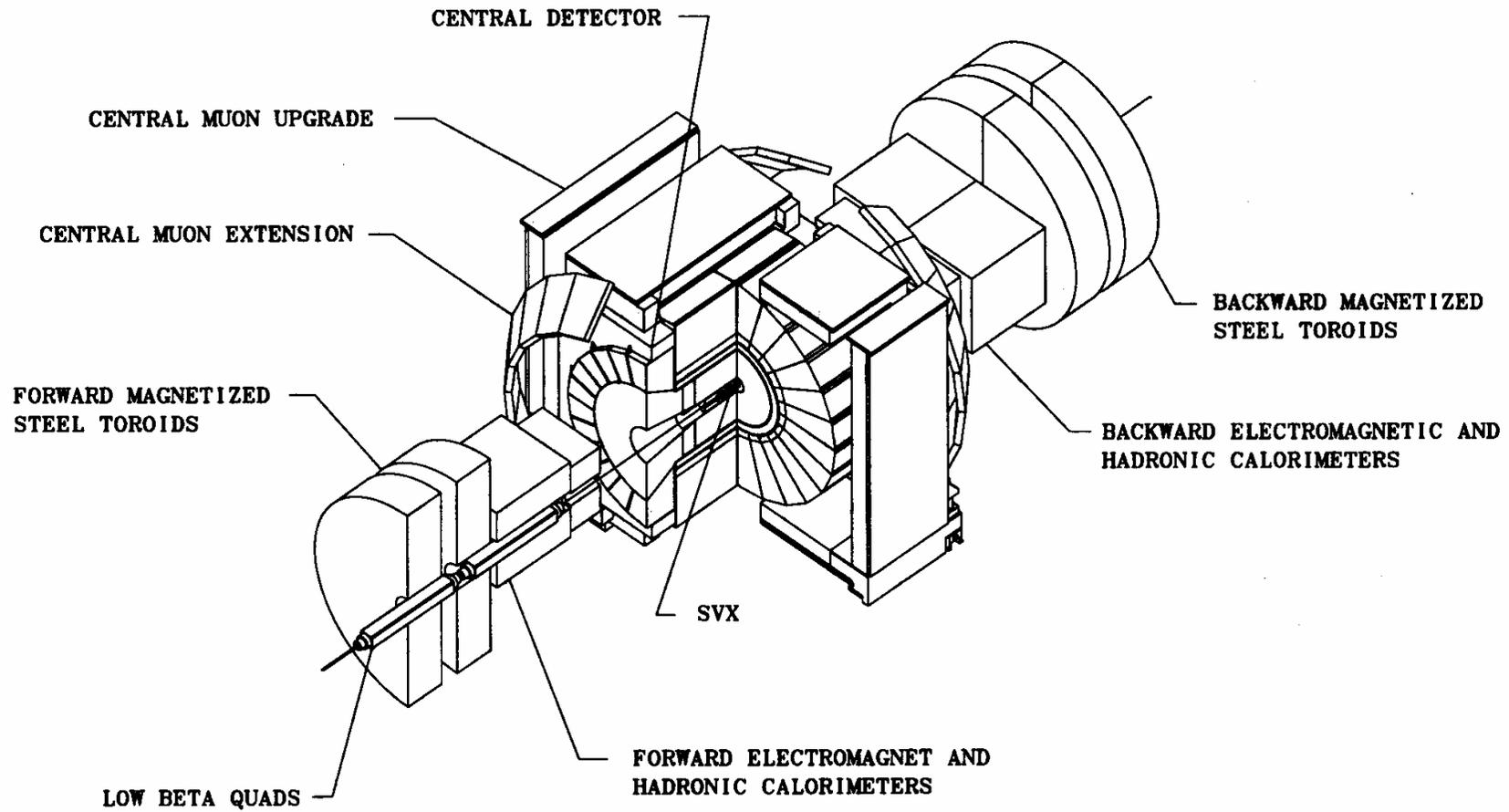
Progressi di CDF1 dal 1988 al 1992



Miglioramenti durante il Run1 (1992-1995):

- Camere per muoni aggiunte dietro assorbitori a grandi angoli
- La copertura dei muoni estesa ad angoli intermedi. cover extended at intermediate angles
- a silicon vertex detector added.

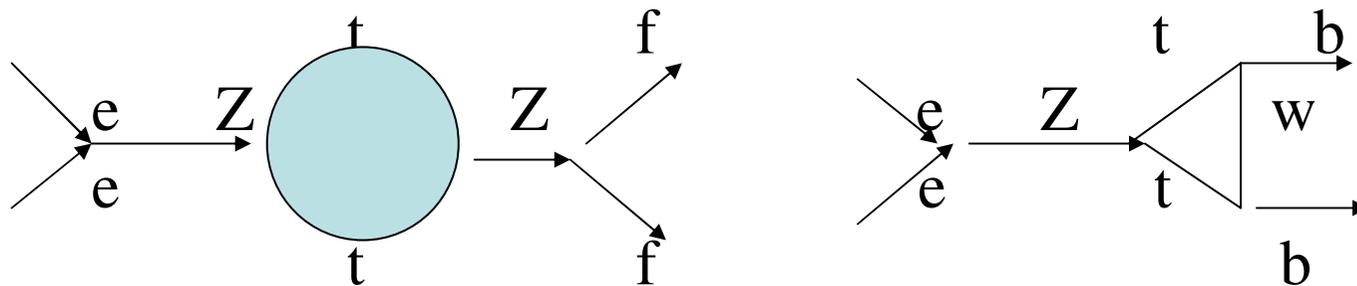
DISEGNO ARTISTICO DI CDF NEL RUN 1



INDICAZIONI SULLA MASSA DEL QUARK TOP

Scambi virtuali del quark top modificano molte osservabili elettrodeboli, (Γ_Z , M_W , M_Z , $\sin\theta_W$)

Per es. Γ_Z



Alla fine degli anni `70 fits globali indicavano

$$M_t = 178 \pm 11 \pm 19 \text{ GeV}/c^2.$$

I PRINCIPALI CONTRIBUTI ITALIANI A CDF I

Scintillatori, guide di luce, fototubi, alimentatori, calibratore laser del **calorimetro adronico centrale** e delle pareti (costruito in collaborazione con Fermilab e Purdue)

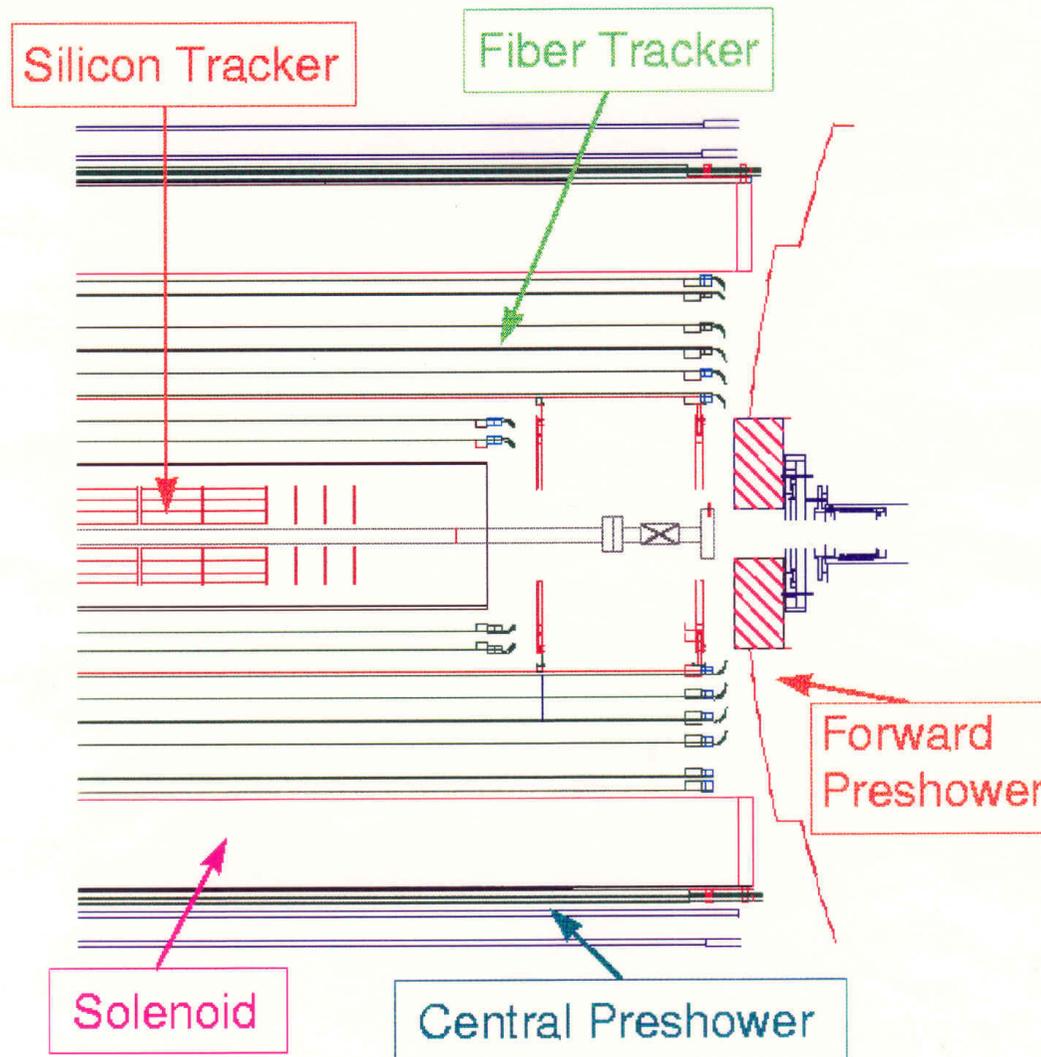
Rivelatore di vertice **SVX** (costruito in collaborazione con Fermilab e LBL)

Parte della **elettronica di trigger**

Spettrometri per lo scattering elastico in avanti (costruiti in collaborazione con Rockefeller e Tsukuba)

Contatori a scintillazione per il trigger dei μ

Tracciatore centrale di D02



In tracciatore interno di D02 è formato da piani e dischi di rivelatori di silicio seguiti da piani longitudinali di fibre scintillanti. Il tracciatore è immerso in un campo magnetico solenoideale di 2T.

OBSERVED KINEMATICAL LIKELYHOOD

The probability ratio L_1 for each event to be signal or background was built up using four experimental values x_1, x_2, x_3, x_4 (isolation and the 3 kinematical variables) and computing the probabilities of that observation in the top and in the background hypothesis. The L_1 distribution was consistent with background only.

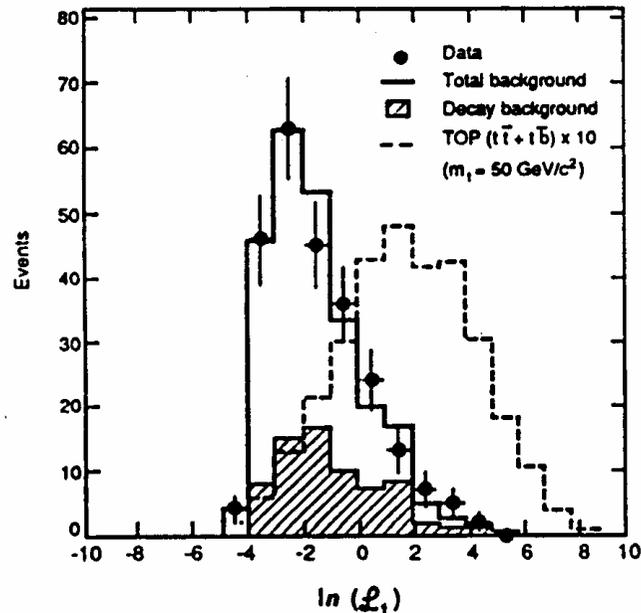
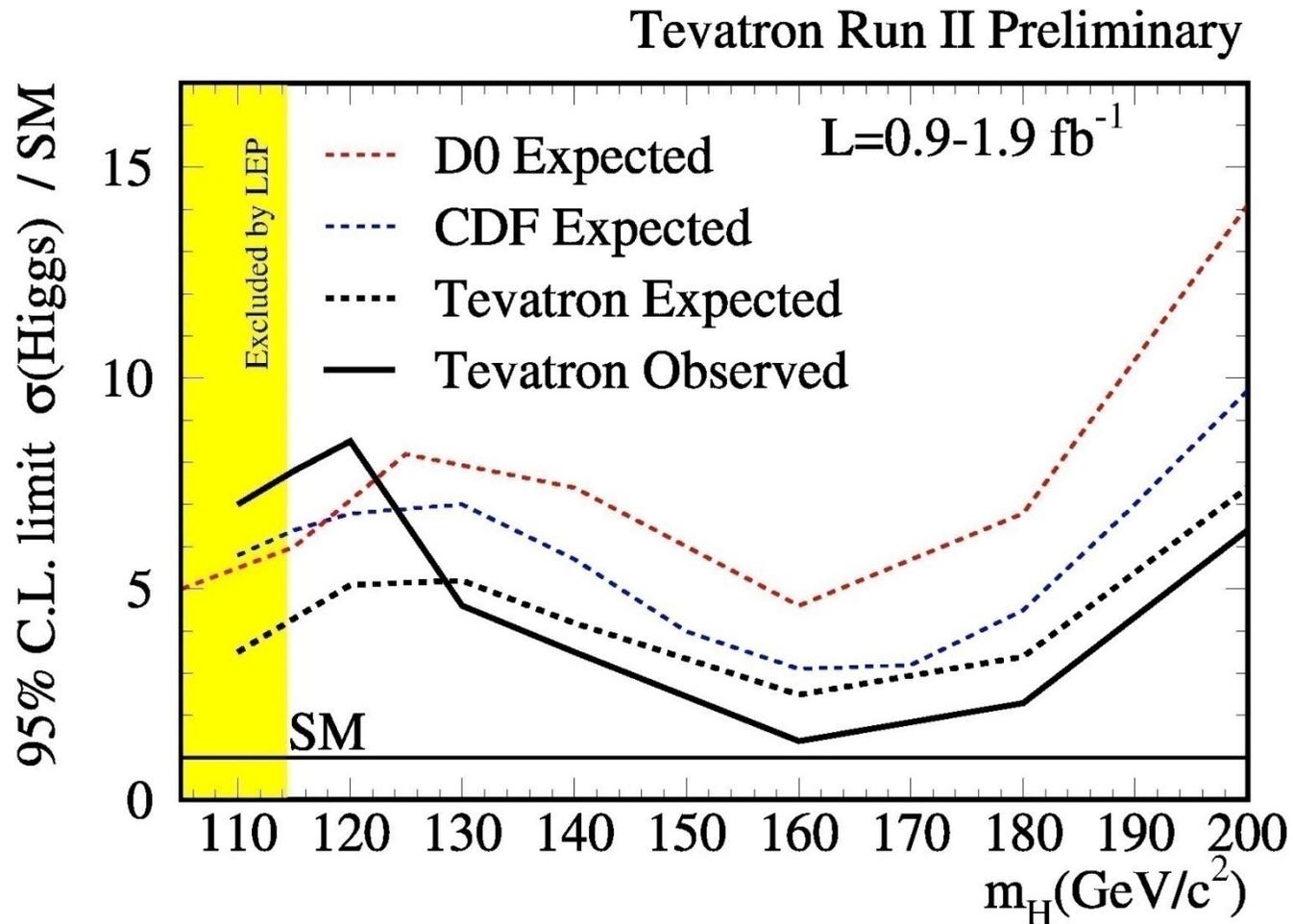


Fig. 5: Distribution of the separation variable $\ln \mathcal{L}_1$.

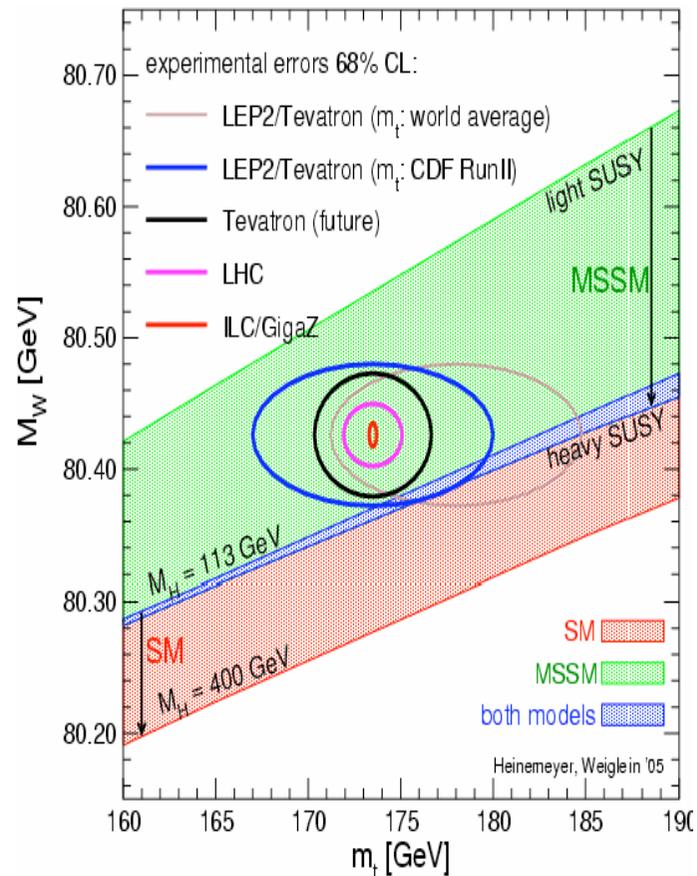
$$L_1 = \frac{\prod_{i=1}^4 P_{top,i}(x_i)}{\prod_{i=1}^4 P_{bkd,i}(x_i)}$$

LIMITI DEL TEVATRON A $\sigma(\text{Higgs})$ (anno 2007)



FORSE LO HIGGS E' SUPERSIMMETRICO?

Si deve sospettare che lo Higgs sia supersimmetrico?



Heinemeyer, Weiglein '05

GLI ESPERIMENTI DI LHC

- **CMS, ATLAS:** rivelatori ermetici a copertura completa, per lo studio di processi a molti corpi e di grande energia:
Higgs?
Particelle supersimmetriche?
Nuove interazioni?
- **ALICE,** rivelatore a copertura angolare completa, per lo studio delle interazioni protone-ione pesante:
Plasma di gluoni e quarks?
- **LHCb,** spettrometro in avanti per misure di precisione di fisica del quark b:
Violazioni di simmetria nei decadimenti?
Frequenze anomale?

LA CAVERNA DI ATLAS



I quattro esperimenti di LHC sono alloggiati in profonde caverne

SCOPRIRE LO HIGGS A LHC

~ 1 anno se $M_H \sim 165$ GeV
 ~ 5 anni se $M_H \sim 115$ GeV

∫ Ldt (fb⁻¹) per esperimento

$H \rightarrow WW \rightarrow 2\mu 2\nu$

