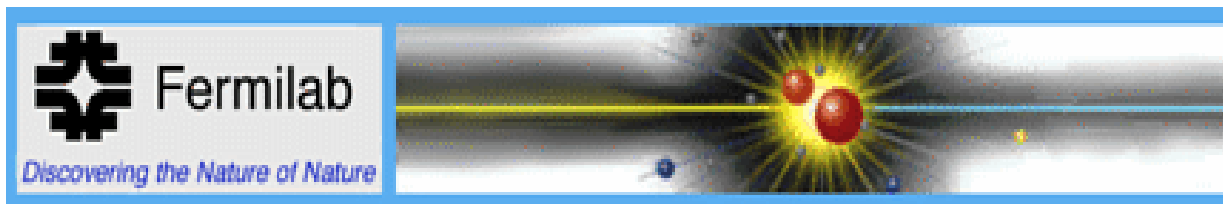
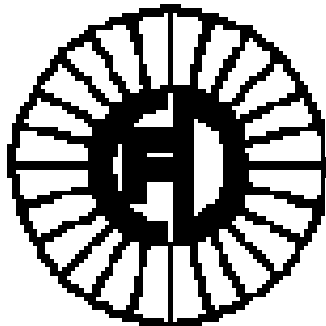


# L'esperimento CDF-II



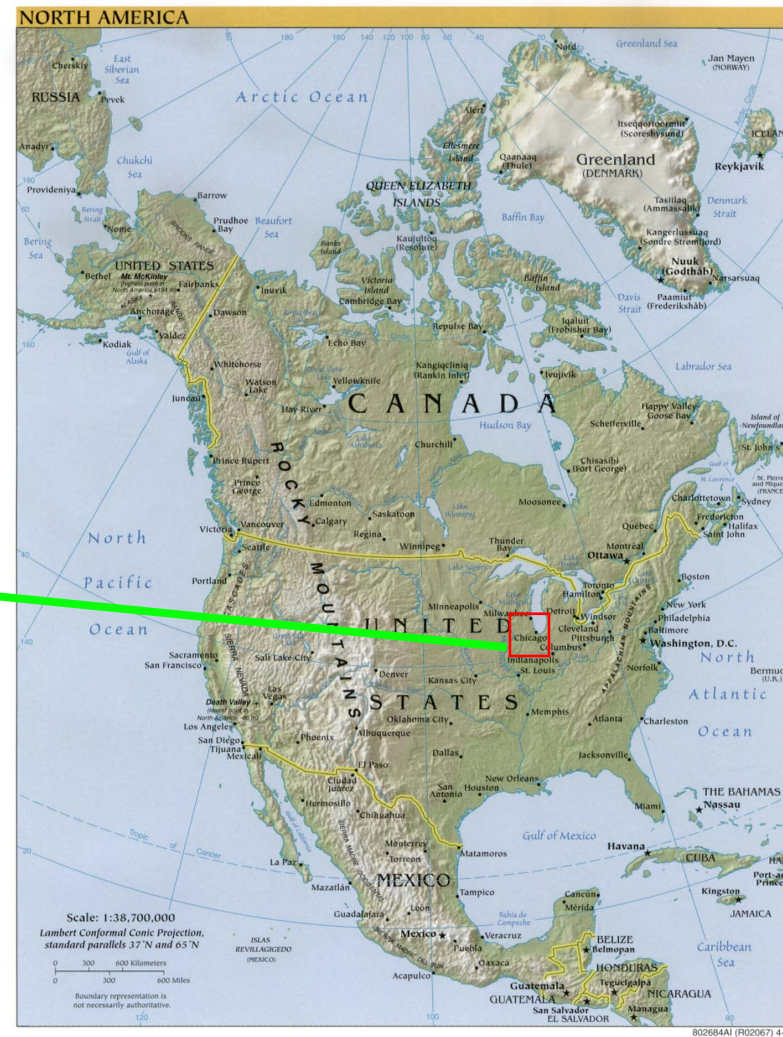
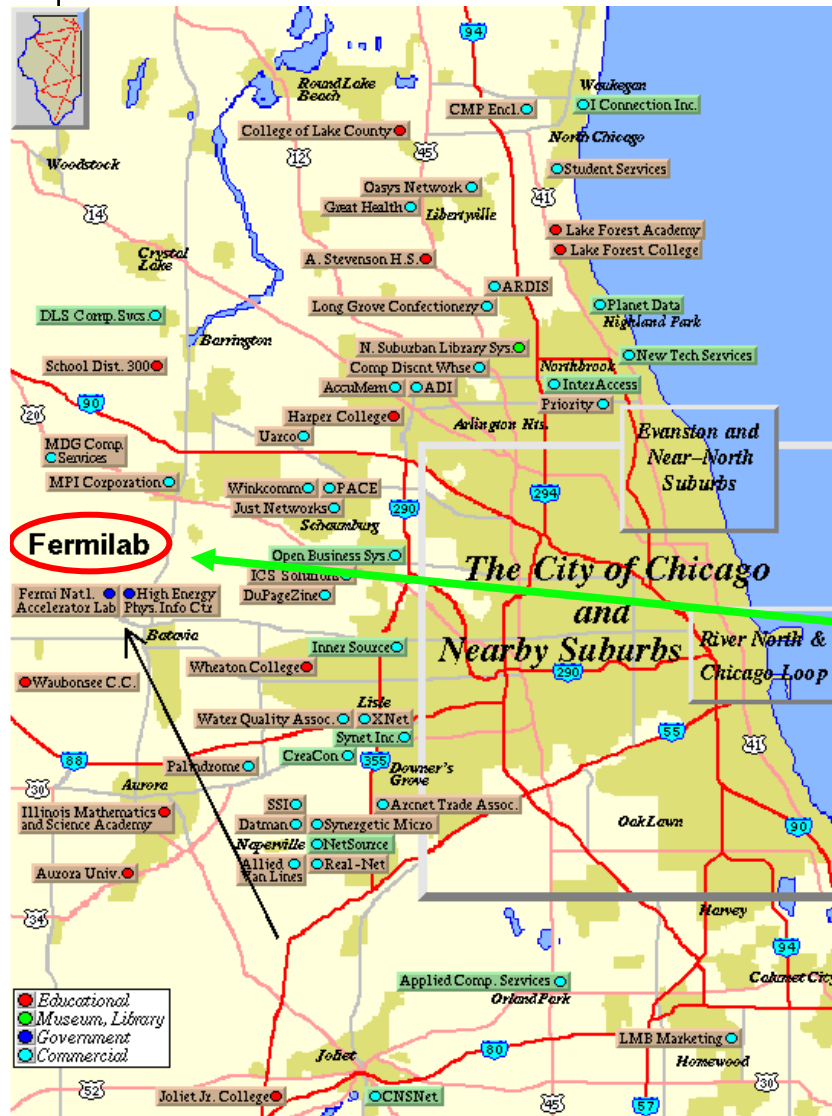
Giorgio Chiarelli  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
Sezione di Pisa



<http://www.pi.infn.it/~giorgio>

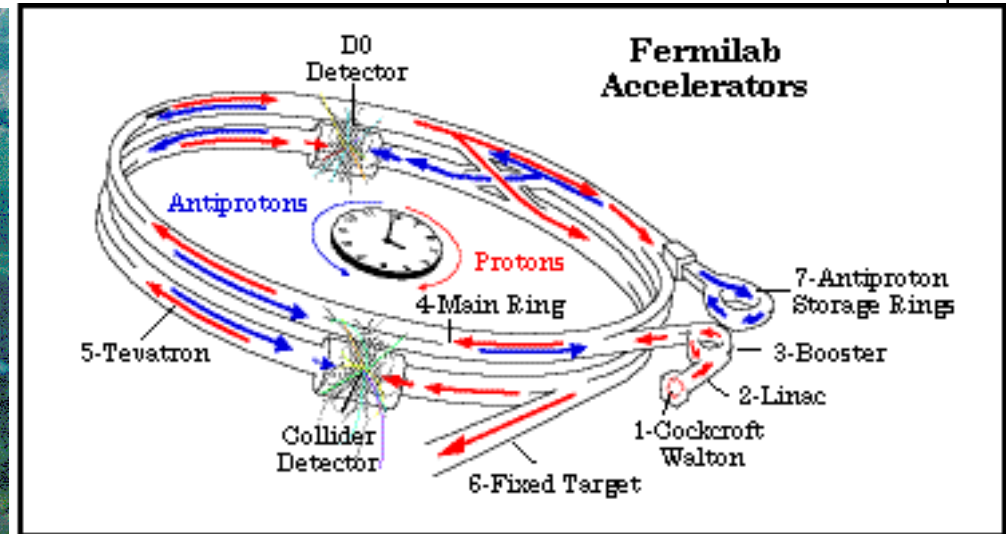
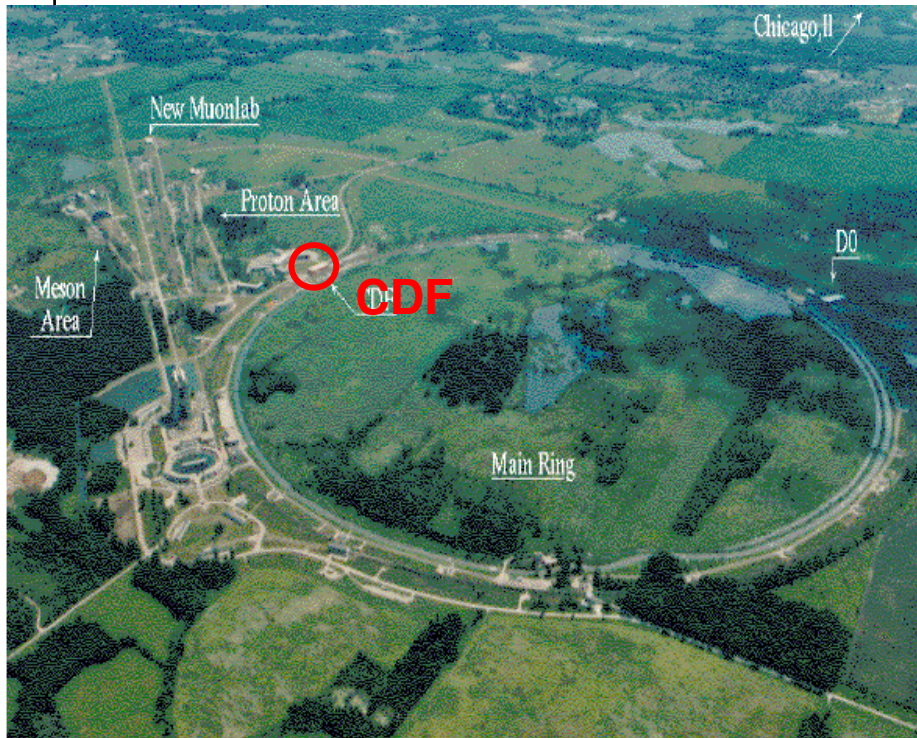


# Si trova a Fermilab...



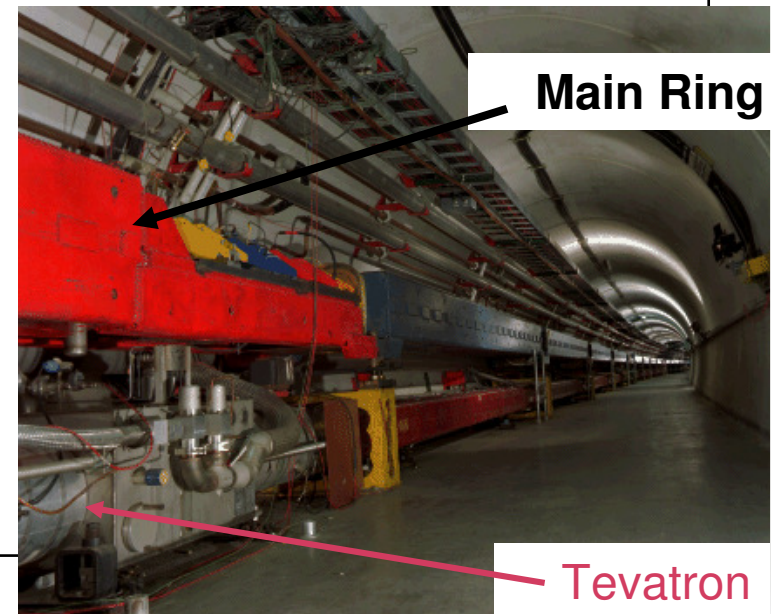


# Il Tevatron opera da >20 anni

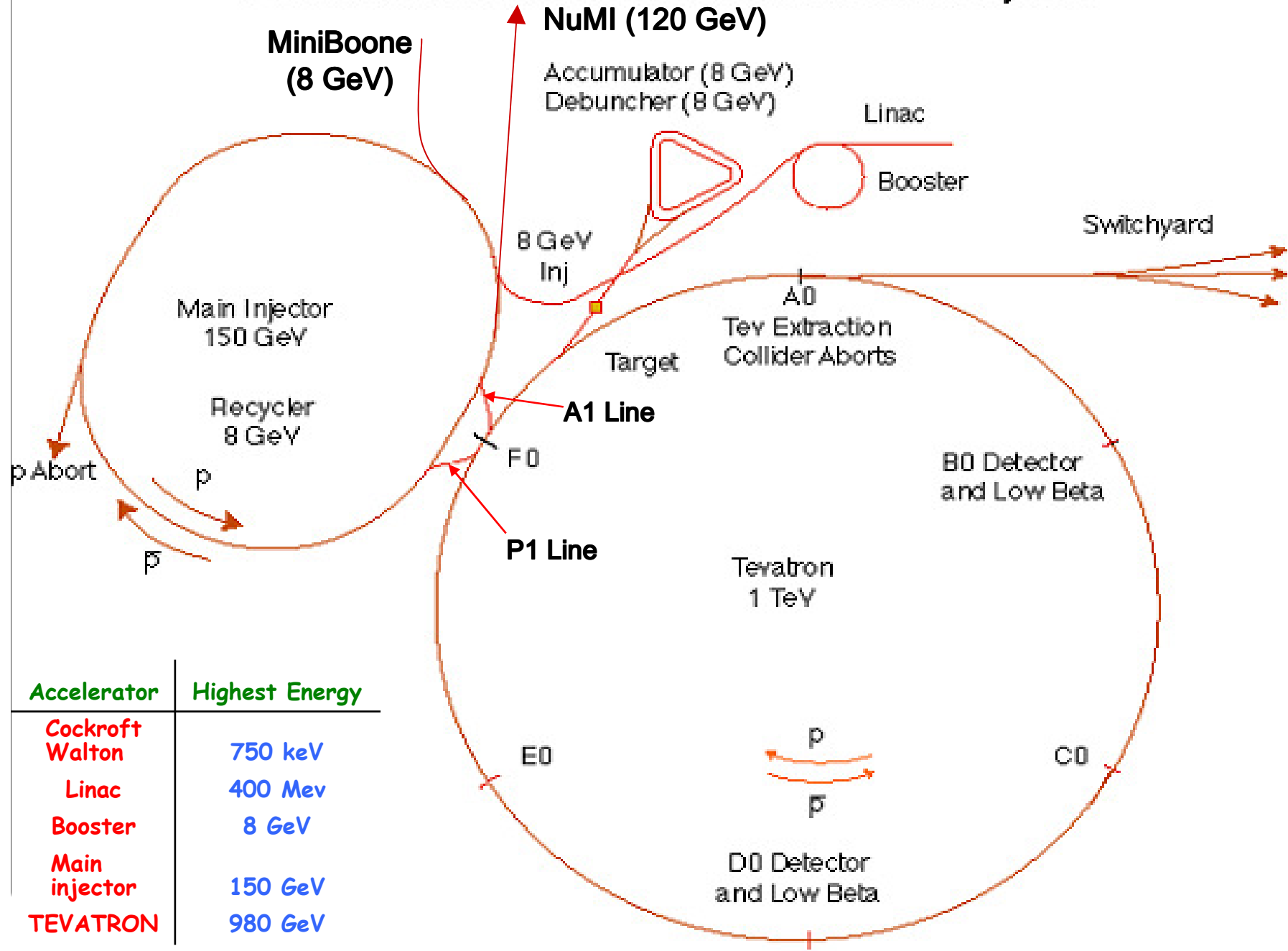


Anello superconduttore di  $2\pi$  Km, Proton - antiproton  
Energia cm 1800 GeV  
Lum.di disegno  $\sim 10^{30} - 10^{31}$   
2007:  $>2.5 \times 10^{32}$

*Fermilab, Agosto 2008*



# Fermilab Tevatron Accelerator With Main Injector





# Parametri fondamentali

Prodotti delle interazioni  
protone-antiprotone

- ☞ Sistema a fasci collidenti
  - ⇒ Ad angolo 0 (head on)
- ☞ 1 anello (p e pbar girano in versi opposti)

Parametri fondamentali  
 $E_{cm}(2E_{beam})$ , Lum:

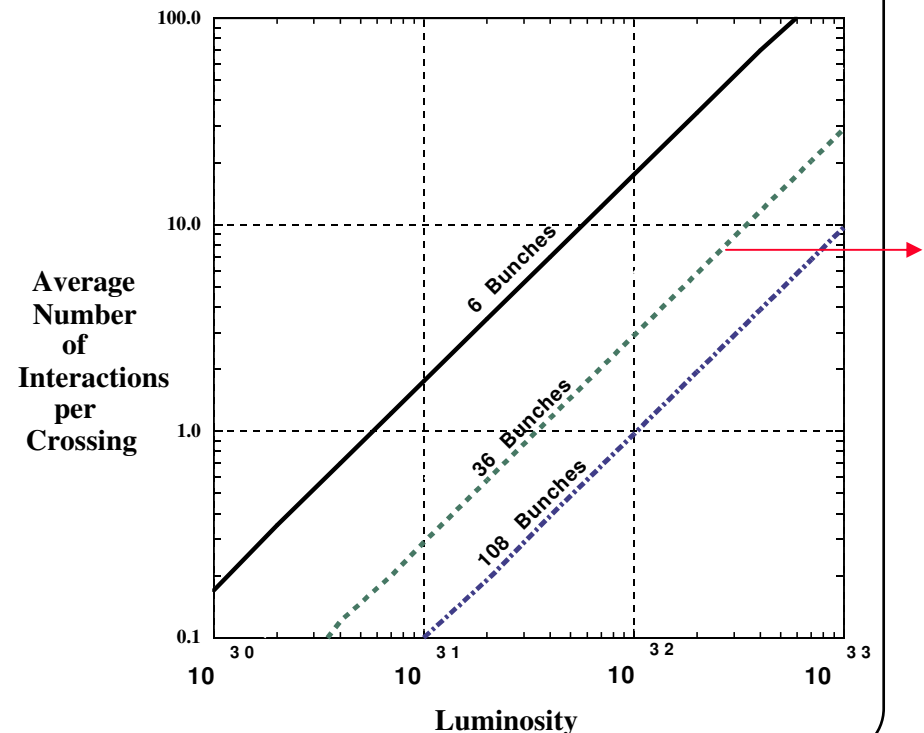
- ☞  $E_{beam}=900$  GeV (Run I),  
980 GeV (Run II)
- ☞ Luminosità istantanea=

$$L \propto \frac{N_p \cdot N_{p^-} \cdot B}{2\pi(\sigma_p^2 + \sigma_{p^-}^2)} f$$

- ☞ Parametri critici:  $b$ ,  $\epsilon_p$ ,  
 $\epsilon_{pbar}$ ,  $N_p$ ,  $N_{pbar}$
- ☞ Tipici valori

Il numero medio delle  
interazioni al secondo è dato  
da:

$$\langle n \rangle = L(\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}) \sigma(\text{cm}^2)$$



# Obiettivi e funzionamento

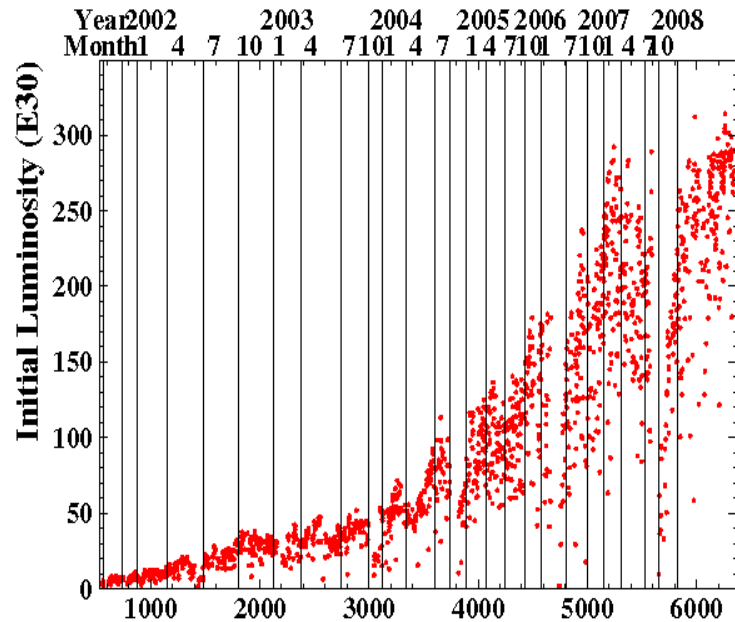
$$L = \frac{10^{-6} fBN_p N_{pb} (6\beta_r \gamma_r)}{2\pi\beta^* (\epsilon_p + \epsilon_{pb})} H(\sigma_l / \beta^*) (10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

	Now	Run 2a goals	units
Protons/bunch	200	270	$10^9$
Pbar/bunch	26	30	$10^9$
Total Pbar	900	1080	$10^9$
Peak Pbar prod. rate	130	200	$10^9/\text{hour}$
Pbar:AA $\rightarrow$ low $\beta$	0.60	0.81	
P emittance	20	20	$\pi$ mm-mr
Pbar emittance	18	15	$\pi$ mm-mr
Bunch length (p, rms)	0.61	0.37	m
Bunch length (pbar, rms)	0.54	0.37	m
Typical lum.	3.2	8.1	$10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Integrated L	5-6.7	16	$\text{pb}^{-1}/\text{week}$

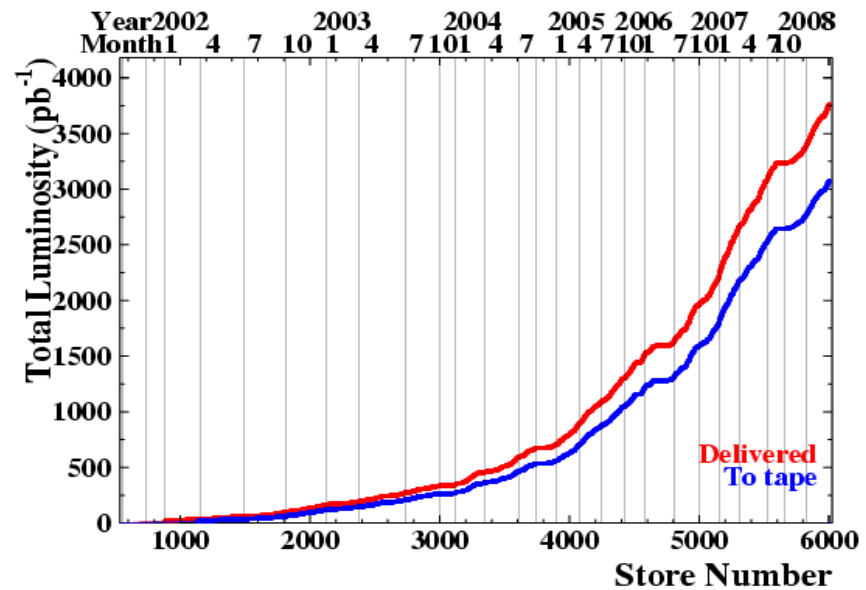
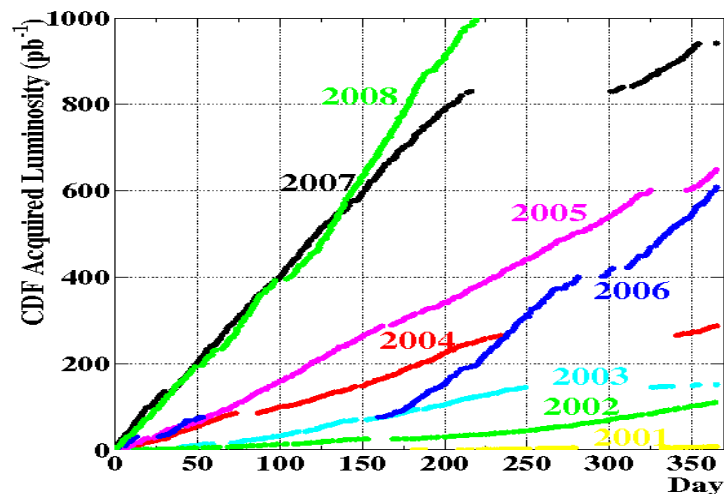
Running with 36x36 bunches

# Run II Luminosity

updated Aug. 11, 2008

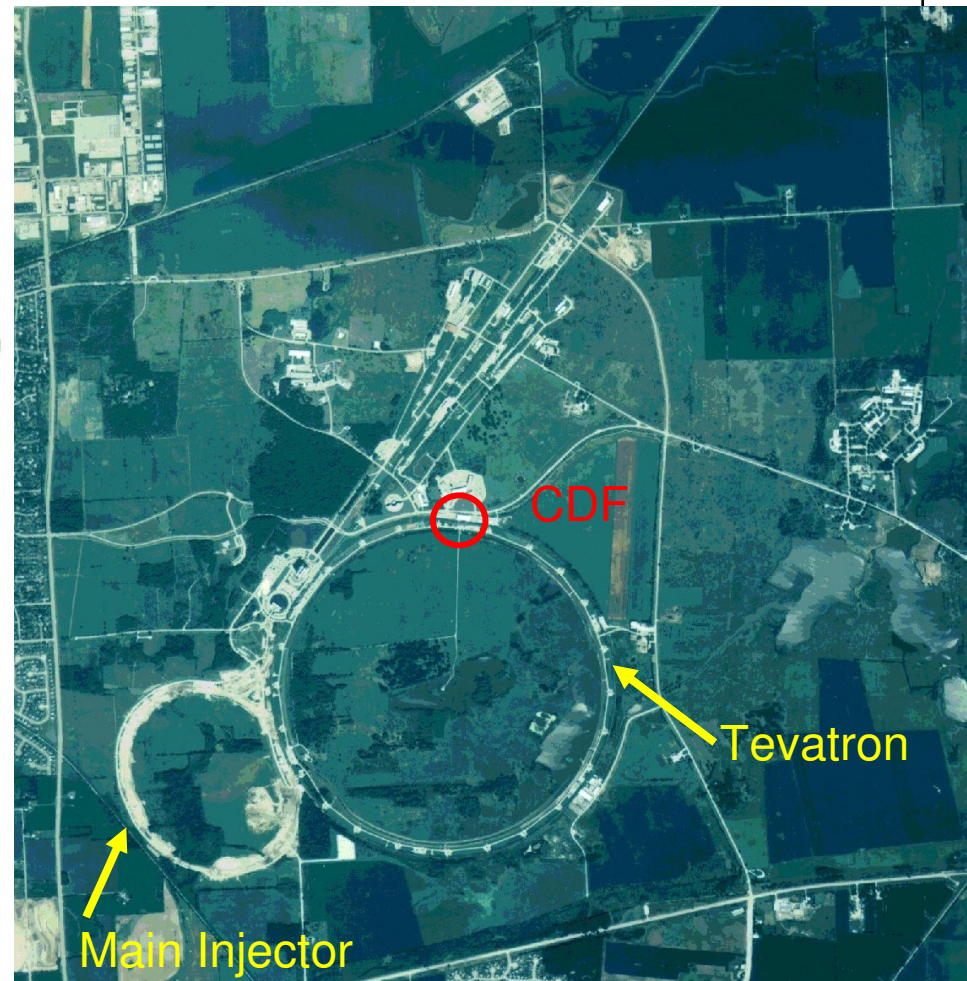
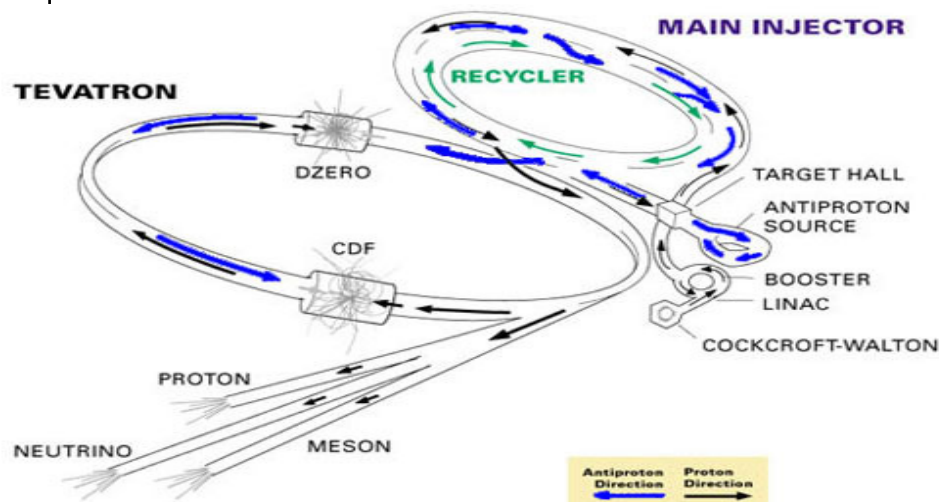


Highest initial Lum store:  $> 300e^{30}$





# Tevatron Upgrade



Nuovo Main Injector:

- ☞ Migliora la produzione ap

Recycler ring:

- ☞ Reuse p-bars!

Bunch x-ing:

- ☞ ~~396(132) ns~~

Questo non ha funzionato ma lo usiamo per immagazzinare ap

# Idea base CDF-I

## Costruire uno spettrometro

- ☞ Campo magnetico
- ☞ Ottima risoluzione in impulso

## Costruire un calorimetro

- ☞ Circa 1981...come sono fatti i jet?
  - ⇒ Torri proiettive per ricostruire i fiotti
  - Identificazione di flavour pesanti? Decadimento in leptoni?

## Identificare i leptoni

- ☞ Elettroni, mu, neutrini
- ⇒ E il tau? Boh, chi è?

## Particle Id?

- ☞ No way

## Tre livelli di trigger

- ☞ L1, L2 hardware, L3 versione semplificata dell'offline su farm di processori (primi cluster di VAX...)

## Secondary vertices

- ☞ Apparsi all'ultimo momento nel TDR (the few, the happy few...)

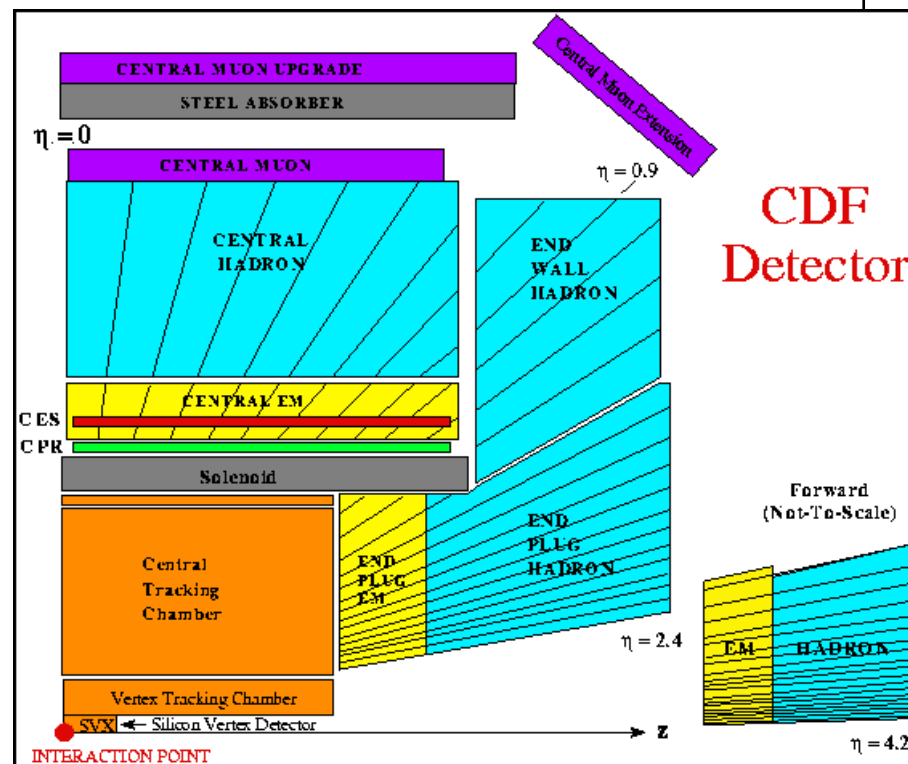
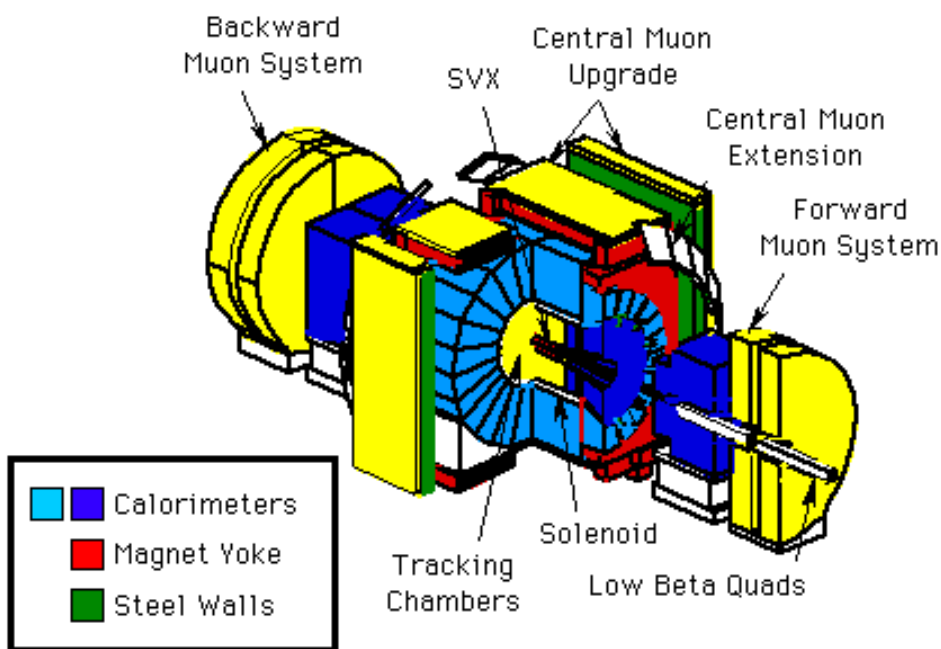
## Un esperimento di successo: 1985-1996

- ☞ >100 articoli, varie particelle scoperte, scoperta di un quark..

Oltre 25 anni fa

# CDF during Run I

## CDF Detector



- 4 layer Si strip detector: 60% acceptance,  $\sigma_D = 13 \mu\text{m}$
- CTC large drift chamber:  $B=1.4 \text{ T}$ ,  $N_{\text{axial}} = 60$ ,  $N_{\text{stereo}} = 24$ ,  $\Delta p_T/p_T < 0.001 p_T$
- Projective towers calorimeters:  $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.3$ , lead/steel-scintillator(PWC)
- Central muon chambers:  $|\eta| < 1$
- Forward calorimeters and muon up to  $\eta=4.2$



# CDF-II

## Partendo da forze e debolezze di CDF-I

- ☞ Ricostruito completamente il calorimetro in avanti
- ☞ Ricostruita la camera centrale (bellissima ma non piu' in grado di sopportare il rate di interazioni previsto)
- ☞ Ricostruito il minivertice di silicio
  - ⇒ aumentata la copertura, Double Sided (veri)
- ☞ Aggiunto un tracciatore intermedio (grande  $\eta$ )
- ☞ Implementazione trigger vertici secondari
- ☞ Ricostruita elettronica di FE (interbunch da  $3.5\mu\text{s}$  a  $132\text{ ns}$ ) (sic!)

## Sommario:

- ☞ Ricostruito il sistema di tracking
- ☞ Ricostruita l'elettronica di FE
- ☞ Ricostruito gran parte del trigger
- ☞ Ricostruito il calorimetro in avanti

## Quasi un nuovo esperimento

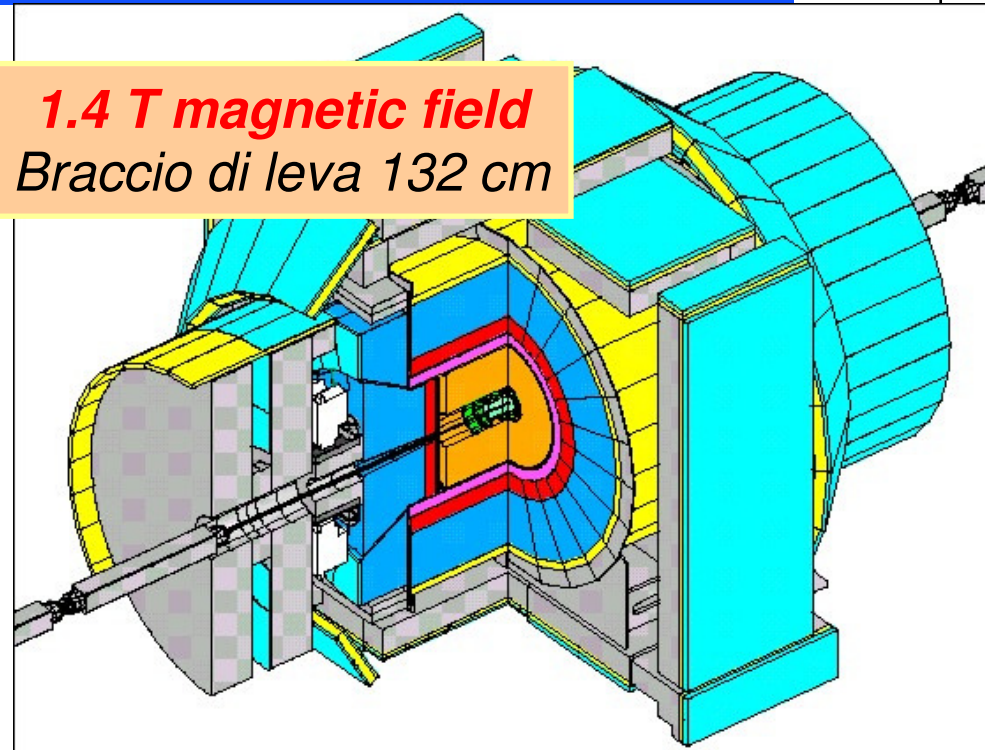
- ☞ Codice riscritto in C++...

# CDF II

## Elettronica FE, DAQ e trigger rifatti

- ☞ Nuovo track-trigger L1
- ☞ Nuovo trigger vert.secondari a L2
- ☞ Nuovo Time of Flight

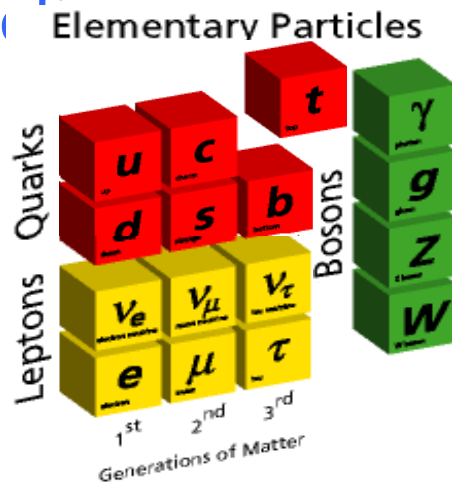
**1.4 T magnetic field**  
Braccio di leva 132 cm



- Nuovo sistema tracc.silicio 7(8)  $|\eta| < 2.8$  coverage
- Nuova camera a deriva COT  $N_{\text{axial}} = 48$ ,  $N_{\text{stereo}} = 48$ ,  $\Delta p_t/p_t < 0.001 p_t$
- Nuovo Plug calorimeter (maggiore copertura e uso dello scintillatore)
- Estensione copertura camere dei mu  $|\eta| < 1.5$  – alcune nuove
- Rimossi I calorimetri in avanti

# Quale è la fisica di CDF?

Il modello standard (SM) ha avuto un enorme successo nel descrivere le interazioni fondamentali.



Dobbiamo però ancora capire come funziona il meccanismo di rottura della simmetria:

- ☞ Il bosone di Higgs non ancora osservato
- ☞ Quale nuova fisica per stabilizzare il settore di Higgs?

CDF ha effettuato una serie di misure (e di scoperte) che hanno completato e rafforzato la nostra comprensione del modello standard

- 20 anni di fisica



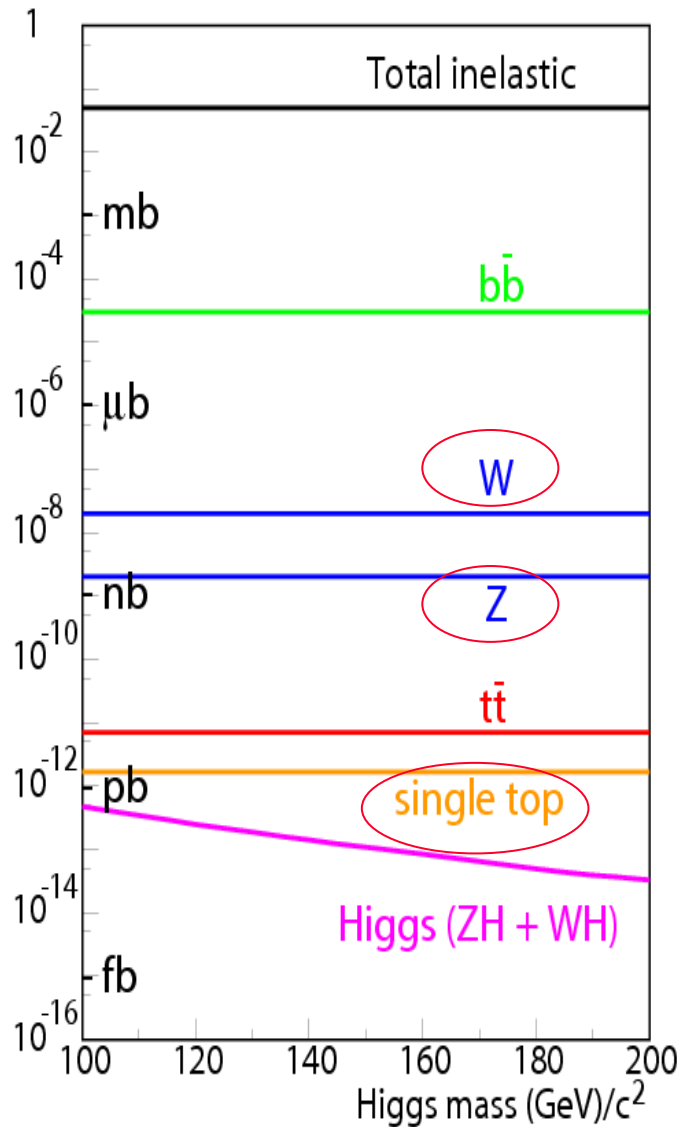
Ne toccherò solo alcune  
Concentrandomi sul rivelatore

- Un pò di fisica EWK
- Massa del W
- Higgs?



# Il contesto

Production cross-section (barns)



In  $1 \text{ fb}^{-1}$

$1 \times 10^{11}$

$6 \times 10^6$

$6 \times 10^5$

14,000

5,000

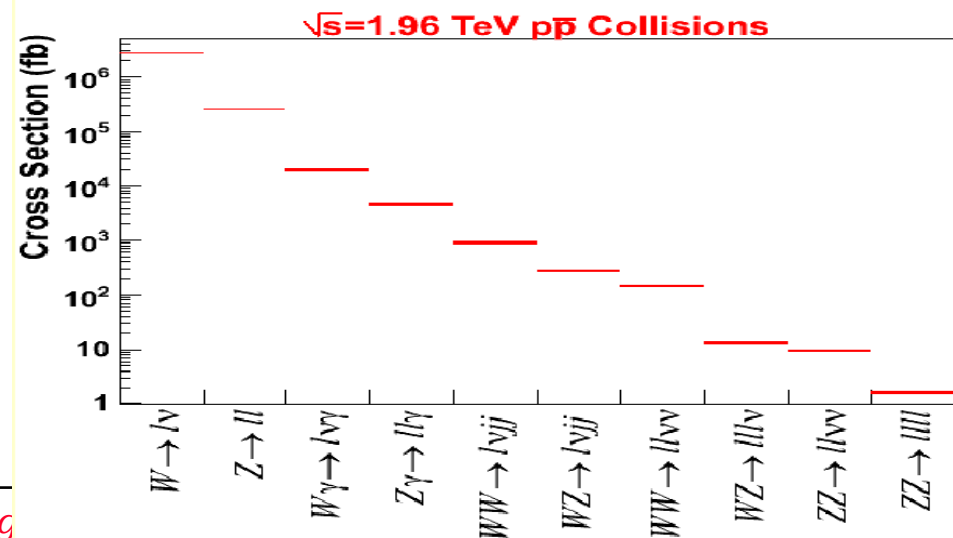
100 ~

10

Fermilab, Ag

La presa dati avviene a  $L=2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ... vuol dire

- Alcune interazioni per x-ing
- ⇒ Tough life
- ...si può scendere la scala a sinistra..
- ⇒ Se i nostri trigger sono in grado di selezionare l'ago nel pagliaio



# Physics at a hadron collider...

...Il trigger è tutto!"

Esamina tutte le collisioni  $pp$   
 Seleziona eventi interessanti (<70 Hz)  
 Mette da parte per analisi offline

High  $p_T$  lepton  
 High  $E_T$  jet, photon  
 High Missing  $E_T$  (MET)

Ne seleziona 1 su

25,000

Process	Cross-section	Event Rate
Inelastic $p\bar{p}$	60 mb	6 MHz
$p\bar{p} \rightarrow b\bar{b}$ ( $b$ $p_T > 6$ GeV, $ \eta  < 1$ )	10 $\mu$ b	1 kHz
$p\bar{p} \rightarrow WX \rightarrow \ell\nu X$	5 nb	0.4 Hz
$p\bar{p} \rightarrow ZX \rightarrow \ell\ell X$	0.5 nb	0.04 Hz
$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t} \rightarrow WWbb \rightarrow \ell\nu bb X$	2 pb	0.0002 Hz
$p\bar{p} \rightarrow WH \rightarrow \ell\nu bb$ (if $M_H = 120$ GeV)	15 fb	0.0000015 Hz

Si assume  $L = 100 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,  $\ell = \text{elettrone or muone}$

La tipica luminosità iniziale oggi:  $200\text{-}280 \times 10^{30}$

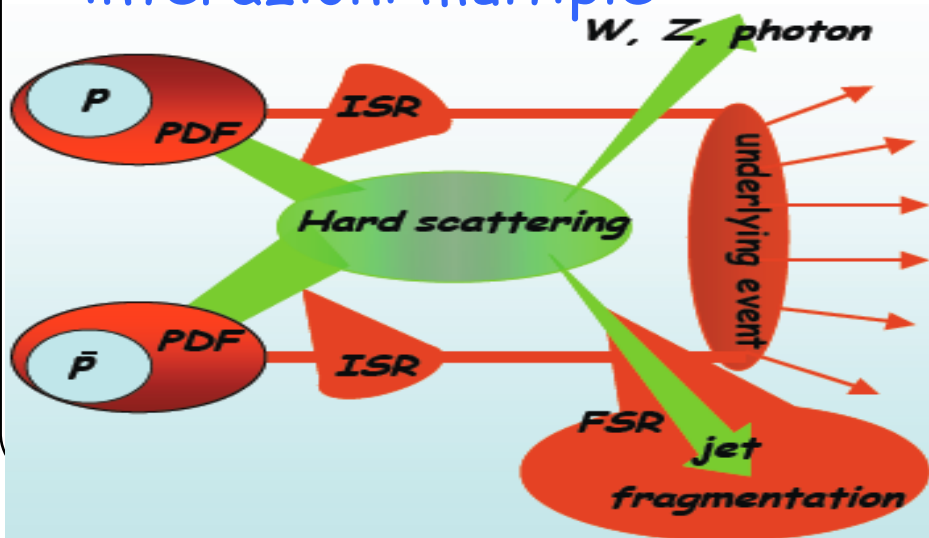
# Parte II

# Gli urti al Tevatron

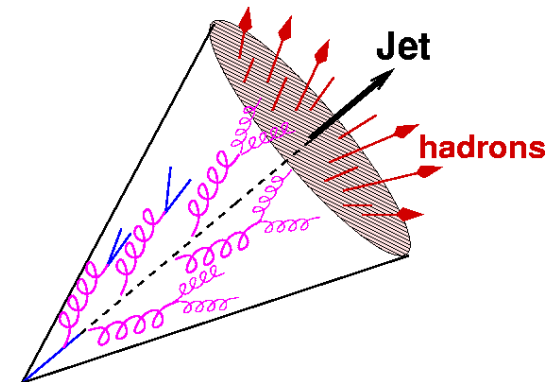
L'hard scattering non è tutto!

Parton Distribution Functions (PDF): frazione (anti)proton portata dai partoni entranti.

Underlying Event (UE): il resto, prodotto dagli spettatori o dalle interazioni multiple



- ☞ Initial and Final State Radiation (ISR, FSR): gluoni extra emessi da partoni nello stato iniziale/finale.
- ☞ Jets: frammentazioni di quark/gluons e ricombinazione in adroni ricostruiti in un cono.



Tutti questi processi (ed altro ancora) influenzano le nostre misure



# Cosa dobbiamo fare?

## Fisica del b

- ☞ Identificare tracce di basso Pt (separate dal vertice), vertici secondari

## Fisica dei getti

- ☞ Ricostruire fiotti di particelle (misure integrate e differenziali)

## Fisica EWK

- ☞ Identificazione di leptoni isolati, ricostruzione con ottima risoluzione

## Fisica top

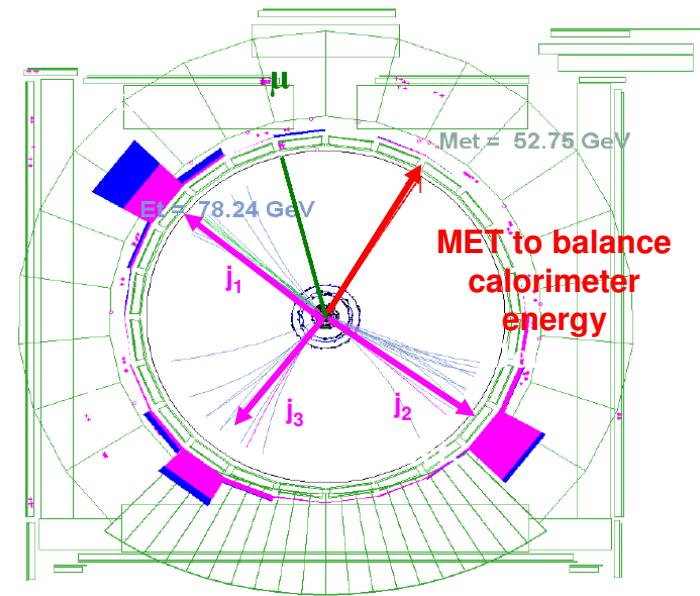
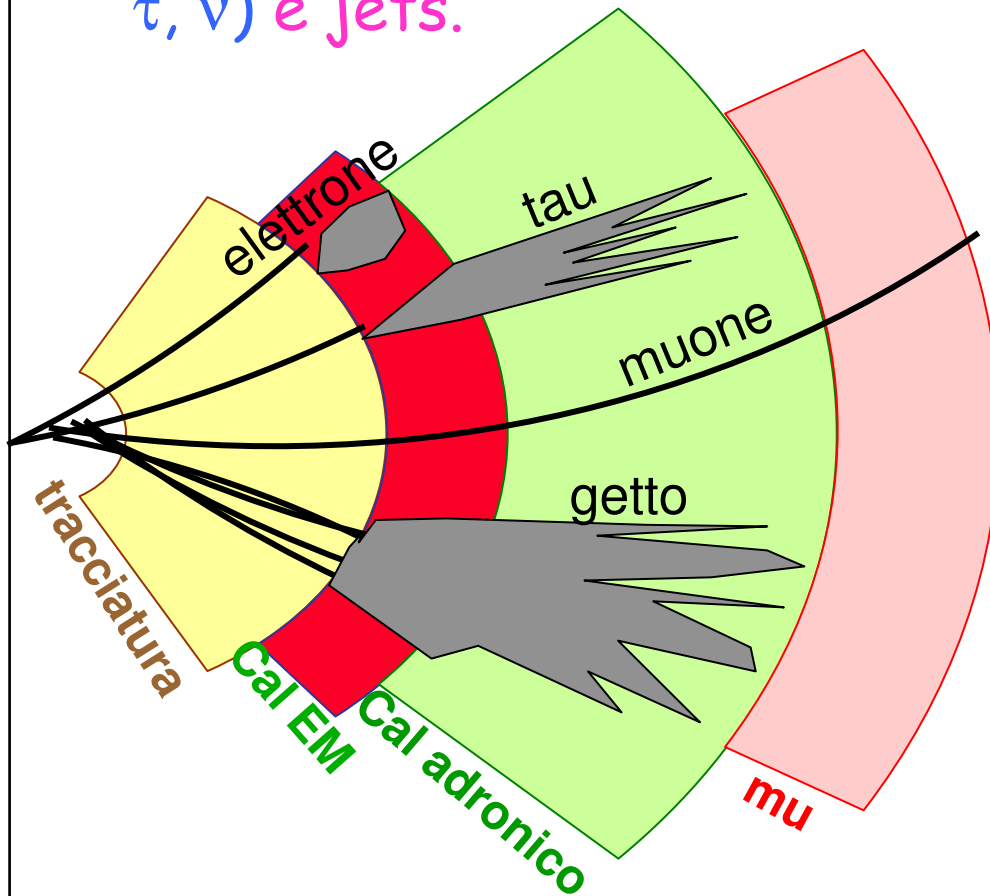
- ☞ Tutto quello sopra scritto

## Beyond

- ☞ Tutto più essere pronti per l'imprevisto (flessibilità)

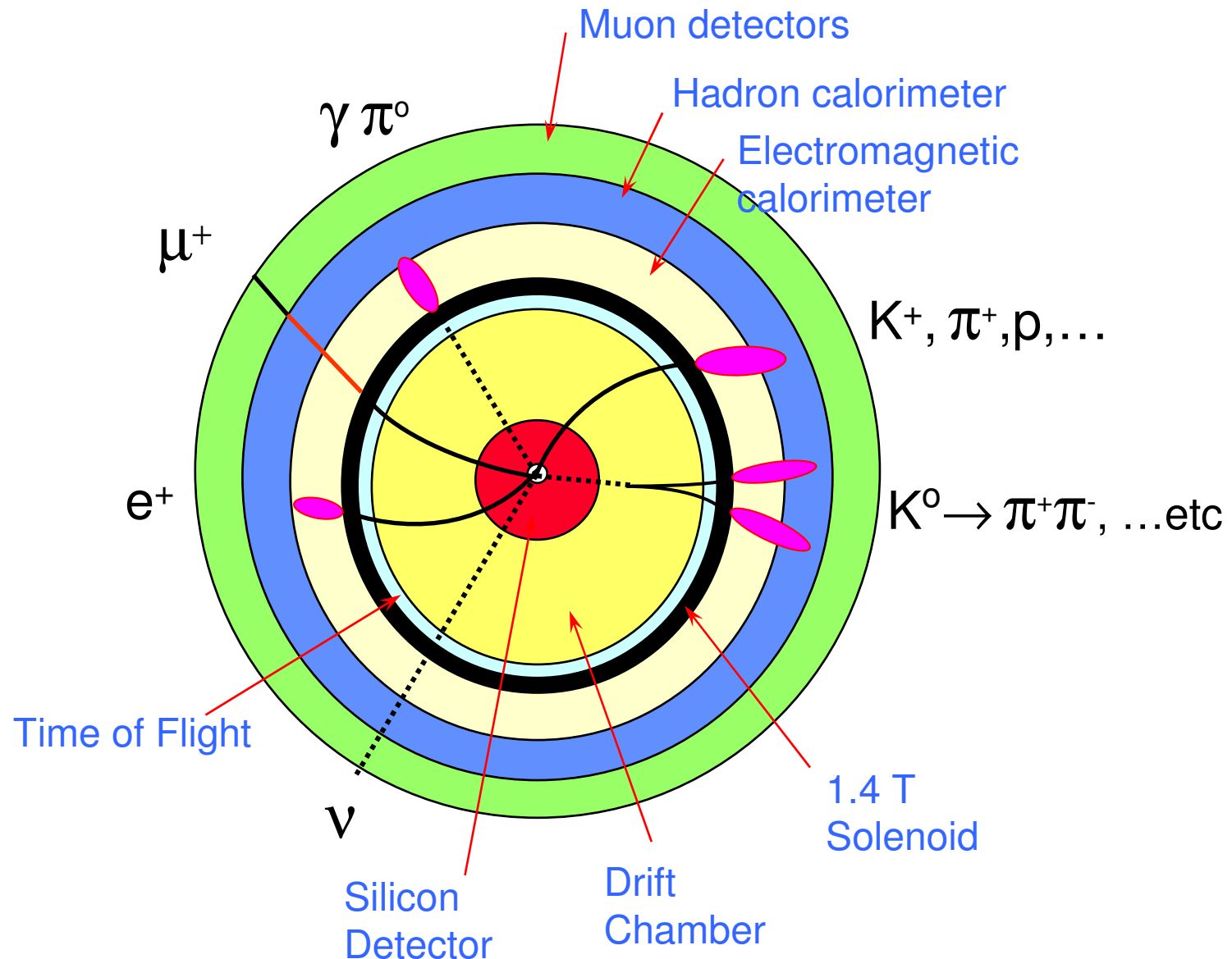
# Tevatron Experimental Signatures

Fisica EWK e Top  
Physics è fatta per lo più  
con **high  $p_T$  leptons** (e,  $\mu$ ,  
 $\tau$ ,  $\nu$ ) e **jets**.



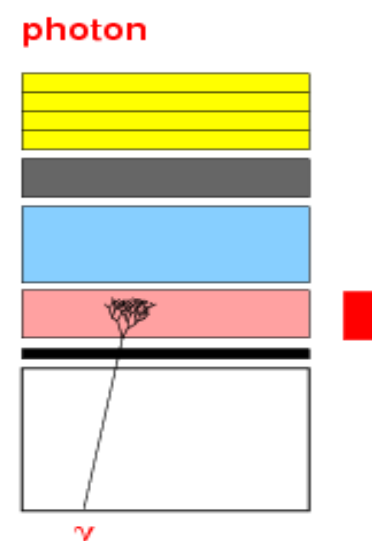
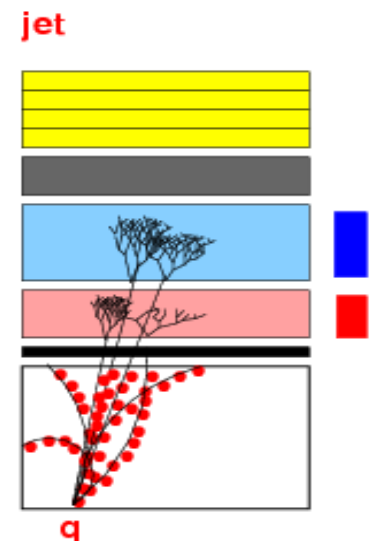
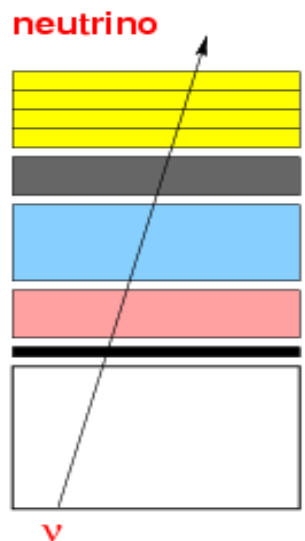
La presenza di neutrini è  
segnalata da **Missing  
Transverse Energy  
(MET)** nel calorimetro

# De-costruzione di un esperimento



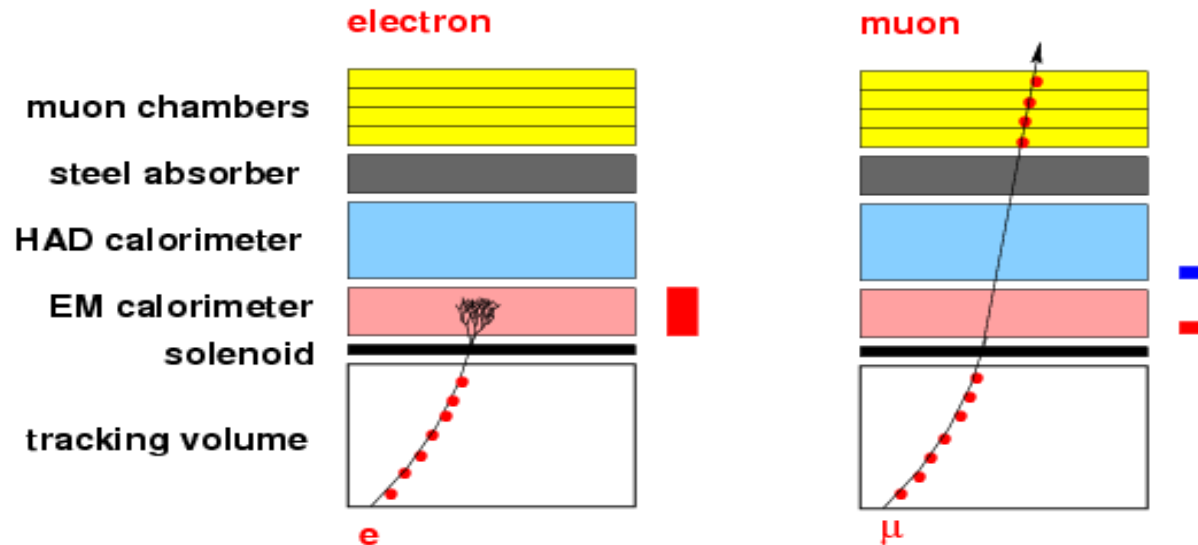
# Principi del PID

Neutrino:	Jet:	Fotone:
Nessuna interazione nel rivelatore	Energia rilasciata nel compartimento EM e HAD del calorimetro	Energia depositata in compartimento EM del calorimetro
Missing Transverse energy: $\vec{E}_T = \sum_i E_{Ti} \cdot \vec{n}_i$ $\cancel{\vec{E}_T} = -\vec{E}_T$	Geometria proiettiva, Algoritmo a cono fisso in $\eta-\phi$ , $\Delta R = 0.4$	Nessuna traccia associata





# PID II



**Elettroni: ( $|\eta| < 2.8$ )**

**Muoni: ( $|\eta| < 1$ )**

Traccia nella COT (offline anche nel sistema COT-SVX)

Una traccia nella COT

Energia ricostruita nella sezione EM, piccola Had/EM  
Forma dello sciame consistente con un elettrone

Deposito di energia: MIP

Traccia estrapolata si combina con lo stub nelle camere dei mu

# Cosa è un muone?

## Misure:

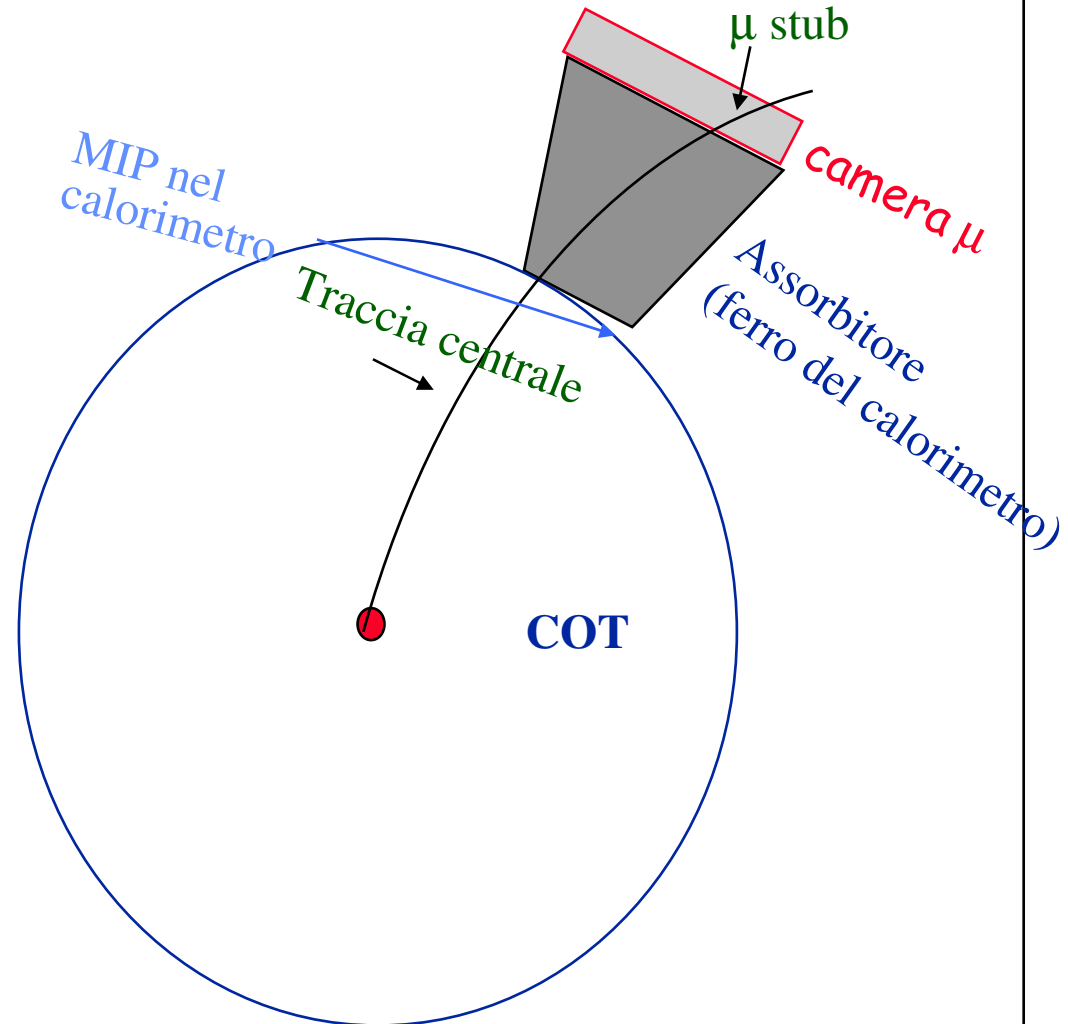
- ☞ Camera di tracciatura centrale:
  - ⇒ Traiettoria, impulso
- ☞ Calorimetro
  - ⇒ Energia (m.i.p.)
- ☞ Camere dei mu
  - ⇒ Traiettoria (stub)

## Richiedere:

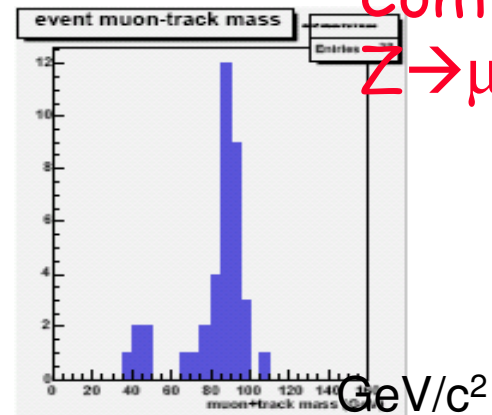
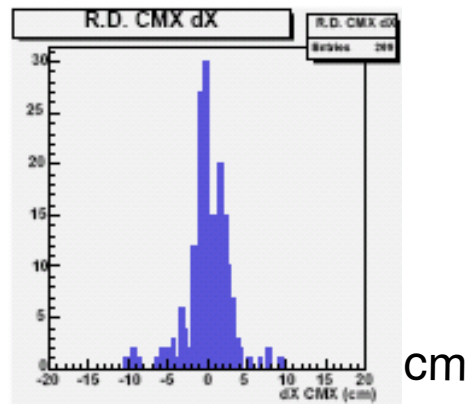
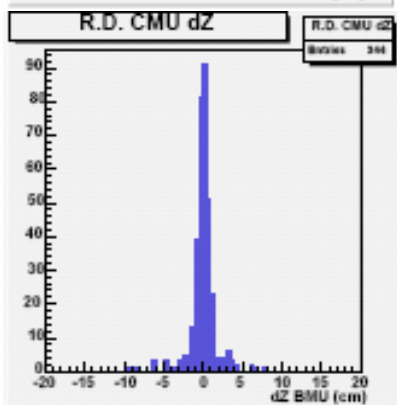
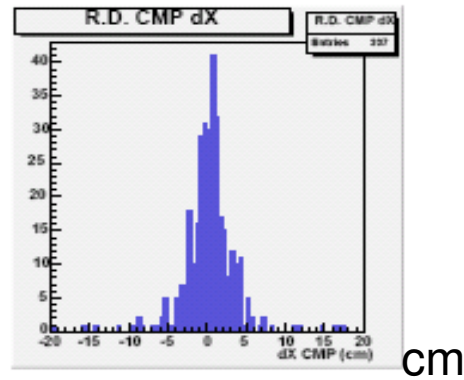
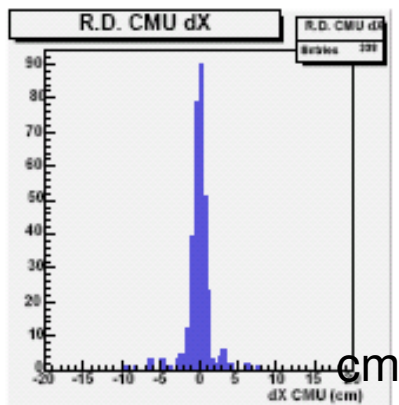
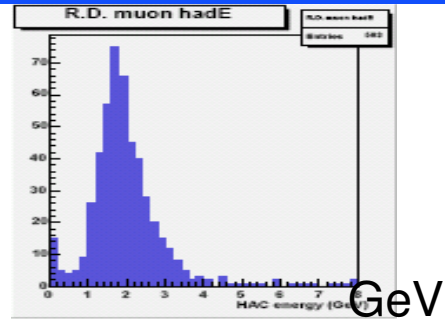
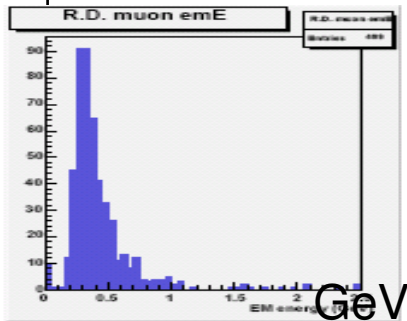
- ☞ MIP nelle torri del calorimetro cui punta la traccia
- ☞ Angolo e posizione della traccia matching con lo stub

## Fondi:

- ☞ Decadimenti in volo, non-interacting particles (K,  $\pi$  a.k.a. punch-through)



# $\mu$ definition cuts



Controllo:  
 $Z \rightarrow \mu + \text{track}$

# L'elettrone

## Misure:

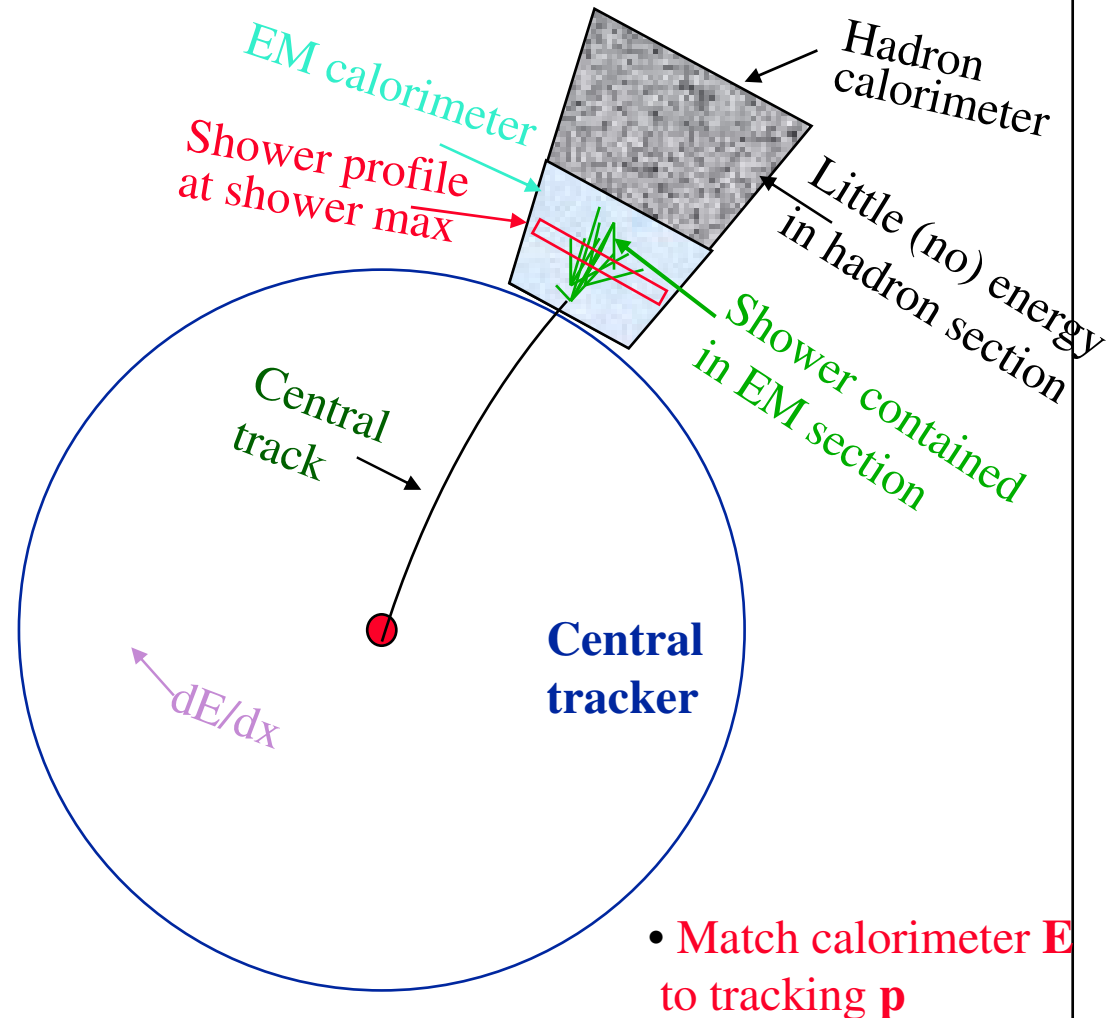
- ☞ Tracciatura centrale:
  - ⇒ Impulso
  - ⇒ Traiettoria
  - ⇒  $dE/dx$
- ☞ Calorimetro:
  - ⇒ Energia nella sezione EM e HAD (EM/HAD)
- ☞ Shower max chambers:
  - ⇒ Profilo dello sciame

## Richiede:

- ☞ Cluster EM
- ☞ Poca energia in sezione H
- ☞ Traccia-cluster match
- ☞ Match energia-impulso
- ☞  $dE/dx$  e profilo sciame

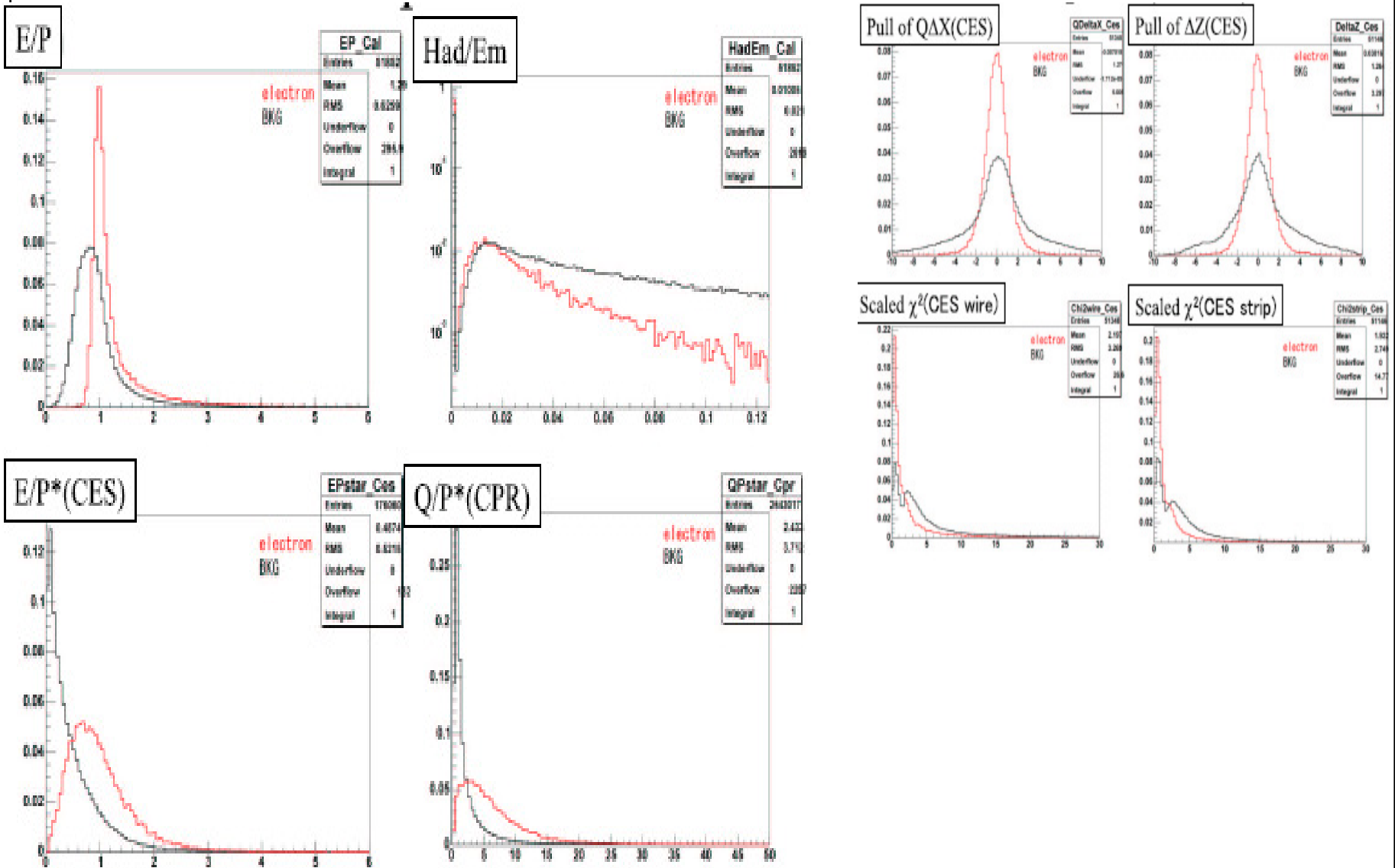
## Fondi:

- ☞  $\pi_0$ , adroni inter. presto, conversioni  $\gamma$

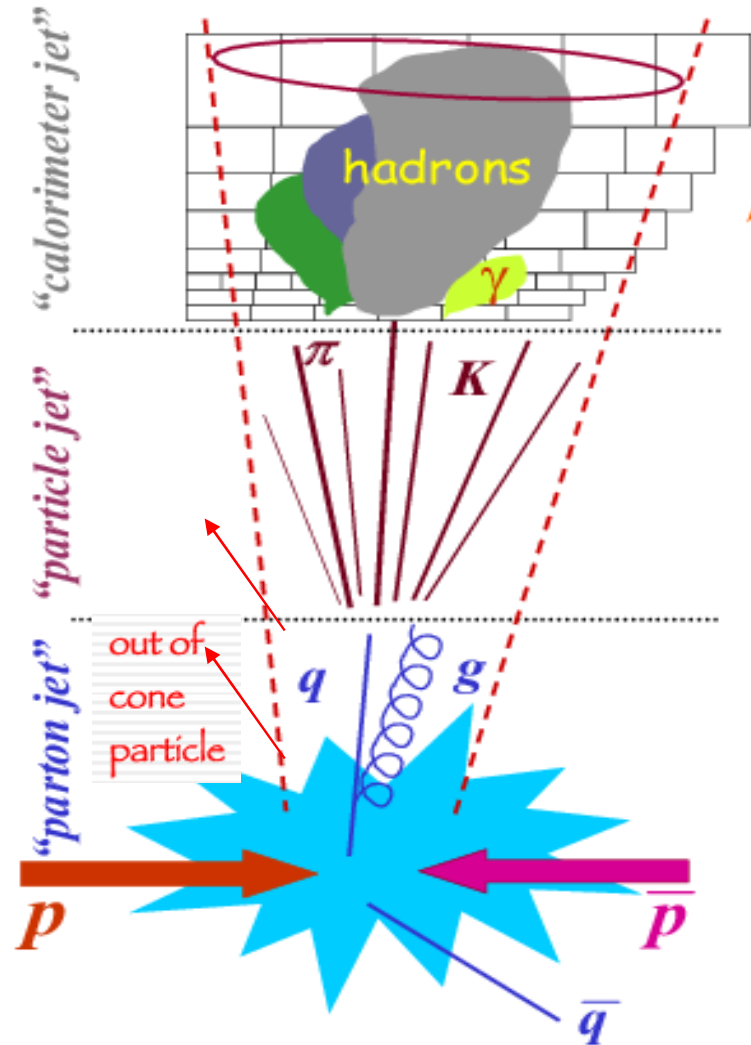




# $e^\pm$ definition cuts



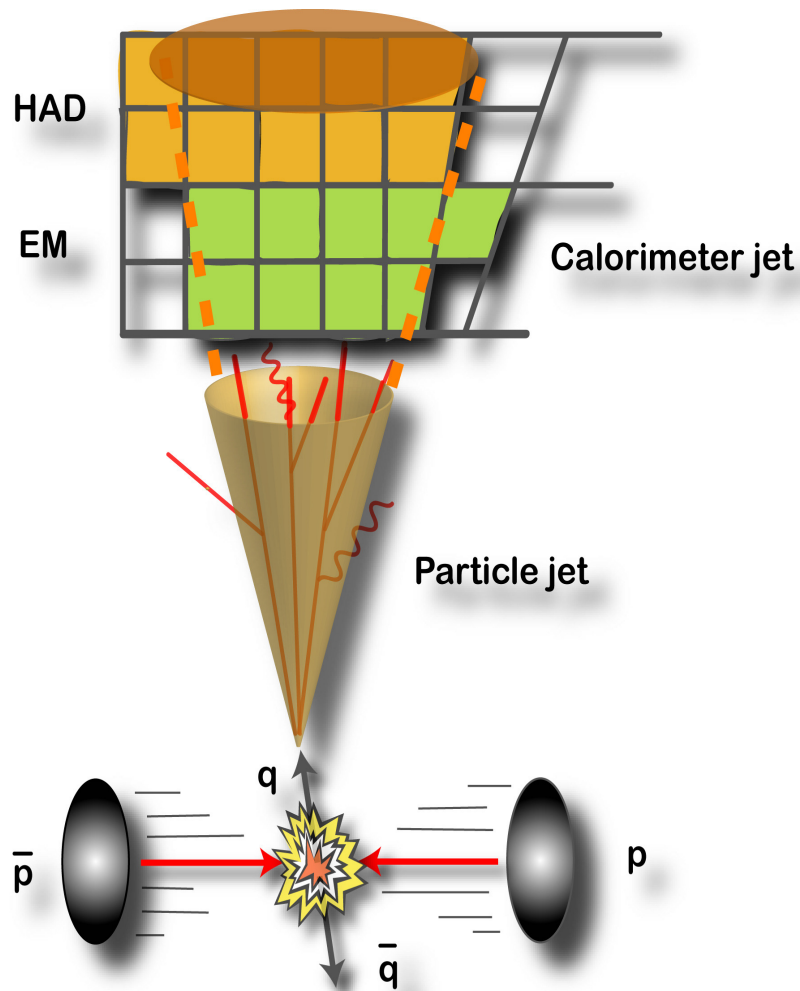
# Ricostruire i quark -I



Un jet è un oggetto complicato:

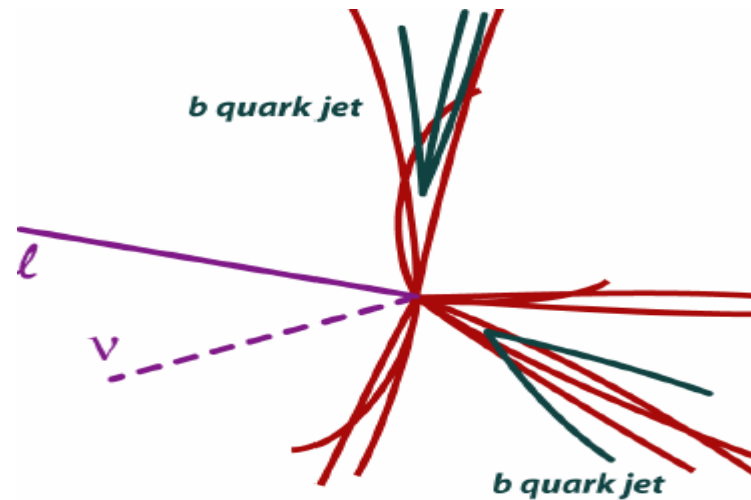
- Misurato da: torri calorimetriche
- Definito da un algoritmo di clustering
- Fare analisi con i jet implica che l'energia del jet sia convertita all'energia del partone genitore
- Per andare da **jet energies** a **parton energies** dobbiamo correggere:
  - Effetti strumentali
  - Effetti di fisica
  - Effetti da Jet Algorithm
- Dubbed: **Jet Energy Scale (JES)**

# Ricostruire i quark -II



C'è bisogno delle correzioni alla **Jet Energy Scale (JES)** per ricostruire l'energia del partone iniziale

**b-jets** sono di eccezionale valore: si utilizza il **vertex tracker** per ricostruire i vertici secondari



# Cosa è un jet a CDF?

## Misure:

- ☞ Energia ricostruita nel calorimetro

## Richiedere

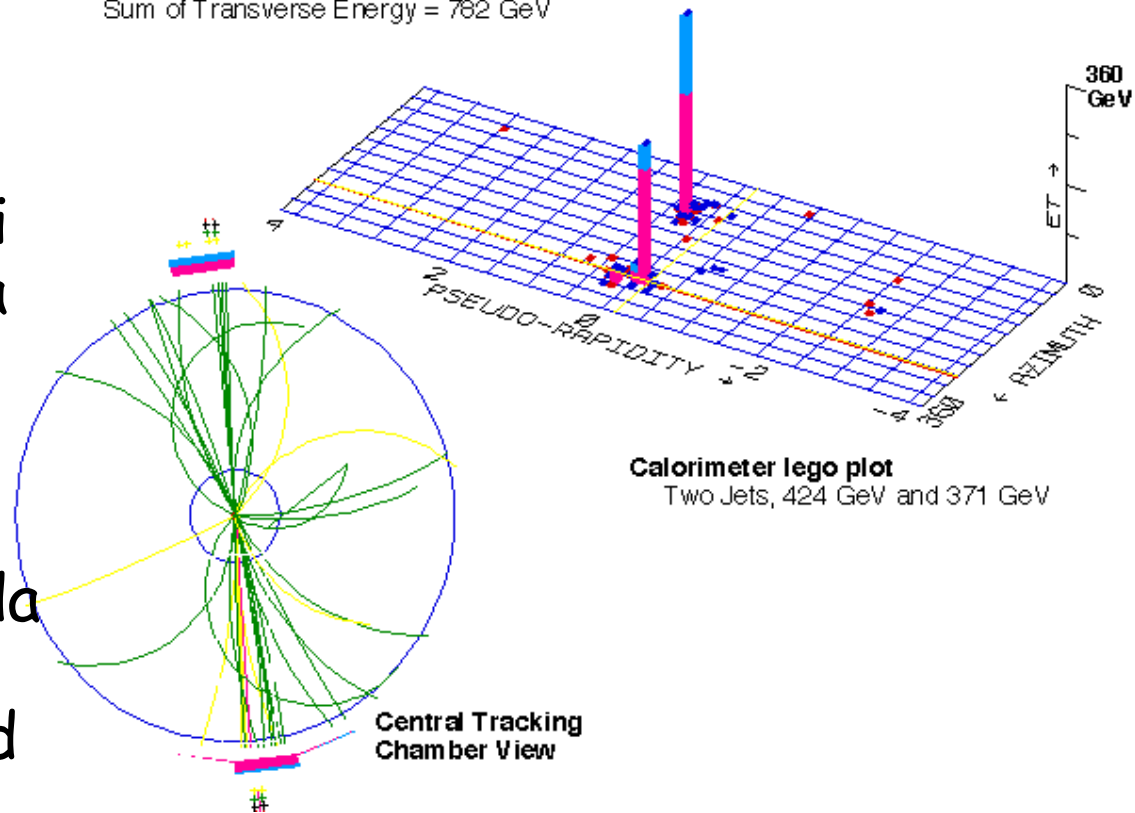
- ☞ Cluster di torri adiacenti sopra soglia

## Fondi:

- ☞ Problemi di ricostruzione da jet vicini e (soprattutto ad alta lum.) *underlying event*

## CDF: Highest Transverse Energy Event from the 1988-89 Collider Run

Sum of Transverse Energy = 762 GeV





# Definizione di neutrini

## Misure:

- ☞ Energia da ciascuna torre calorimetria

## Richiesa:

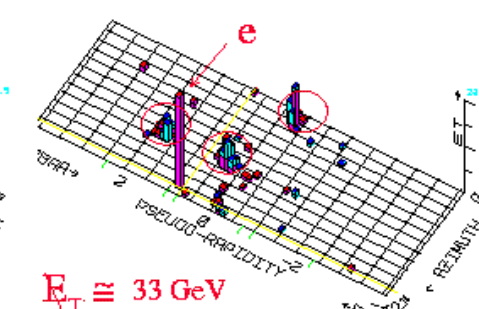
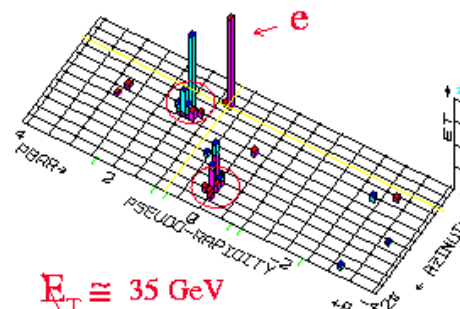
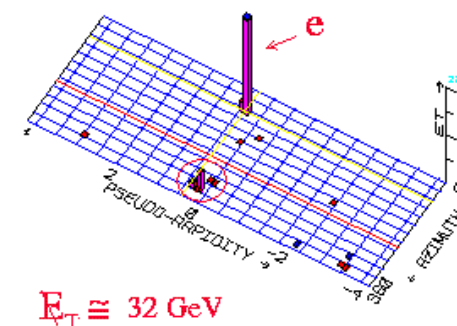
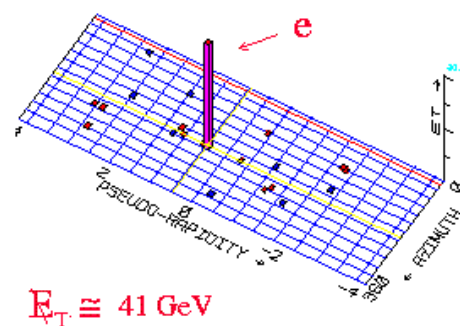
- ☞ Sbilanciamento dell'energia trasversa sopra soglia
  - ⇒ **Calcolo vettoriale dell'energia nelle torri**

## Fondi:

- ☞ Perdite in zone non strumentate (*cracks*)
- ☞ Raggi cosmici
- ☞ Problemi di funzionamento

CDF:

W + 0,1,2,3 jet(s) Events



# Vertici secondari

## Misure:

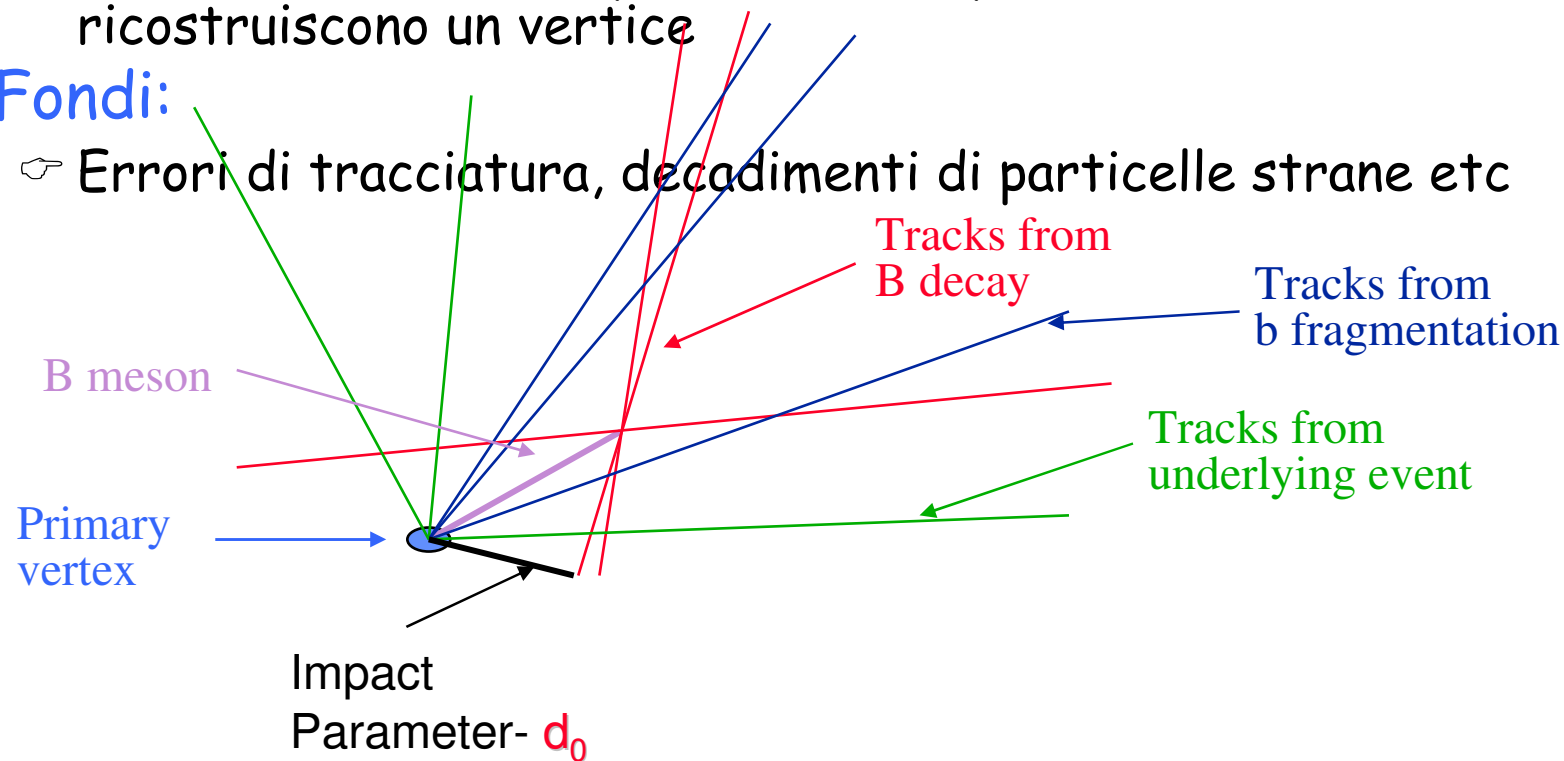
- ☞ Misurare il parametro d'impatto delle tracce con grande accuratezza

## Richieste:

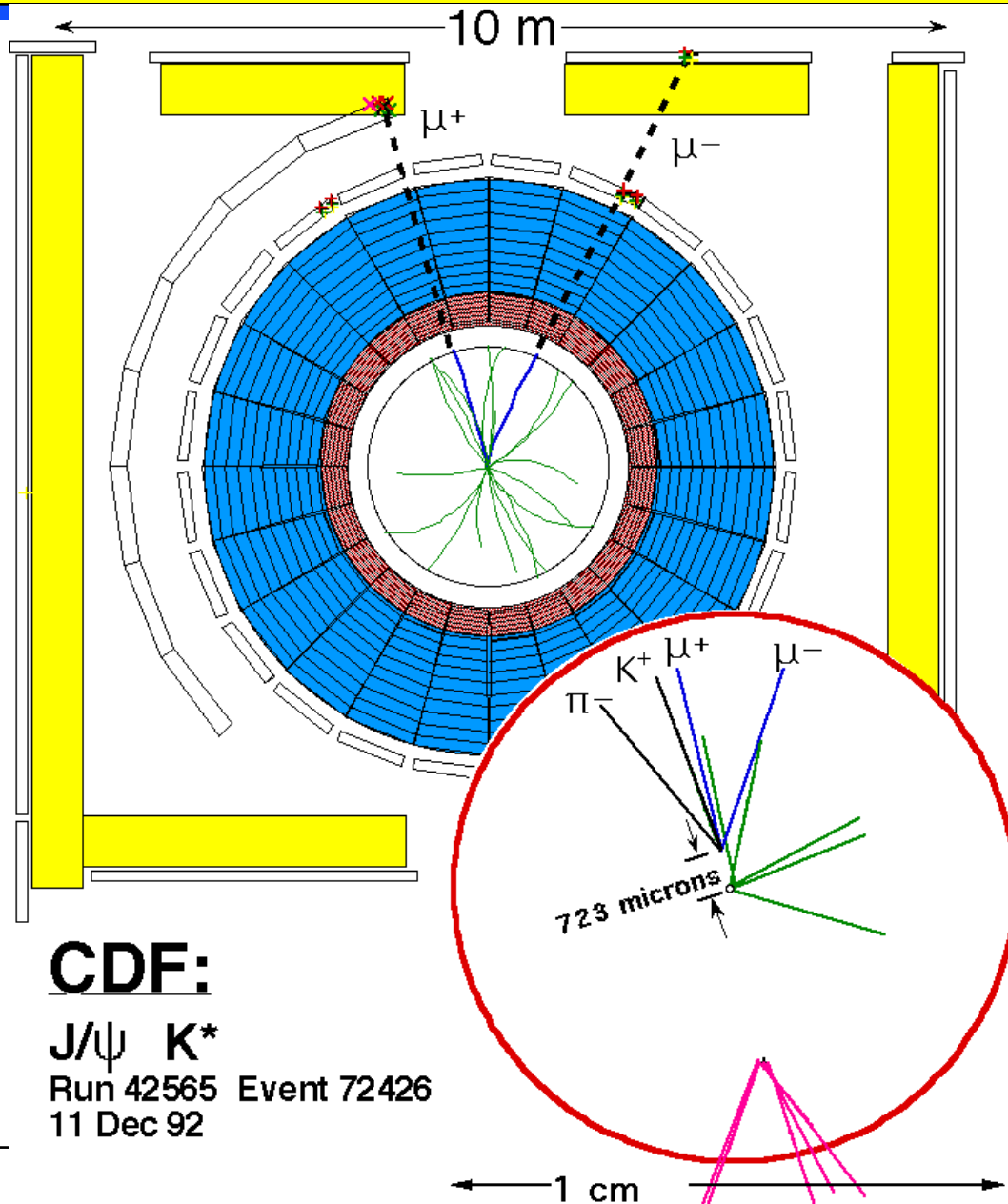
- ☞ Ricercare tracce con parametri d'impatti non-zero che ricostruiscono un vertice

## Fondi:

- ☞ Errori di tracciatura, decadimenti di particelle strane etc



# Un vero evento di B



**CDF:**

**J/ $\psi$  K\***

Run 42565 Event 72426

11 Dec 92

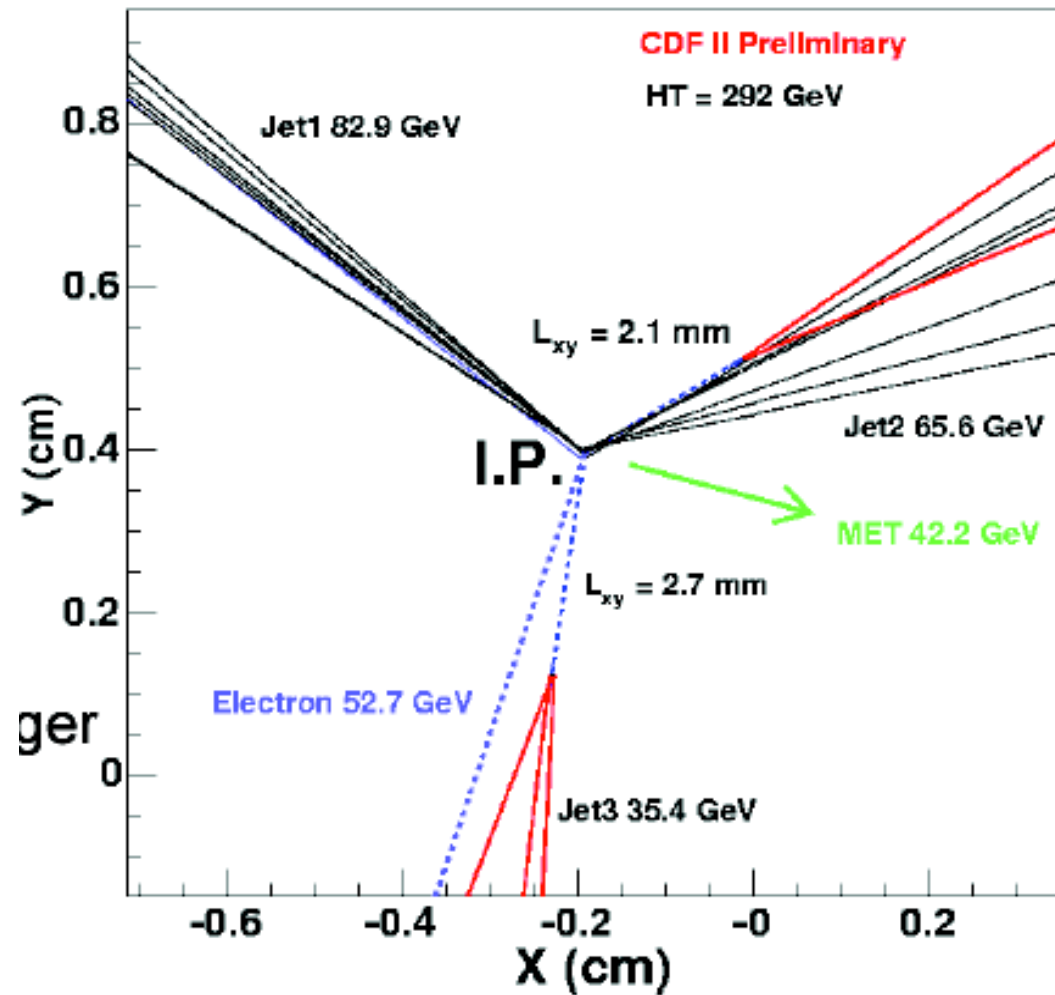
# Un vertice secondario in un candidato top

Un evento candidato  
 $Tt\bar{b}$

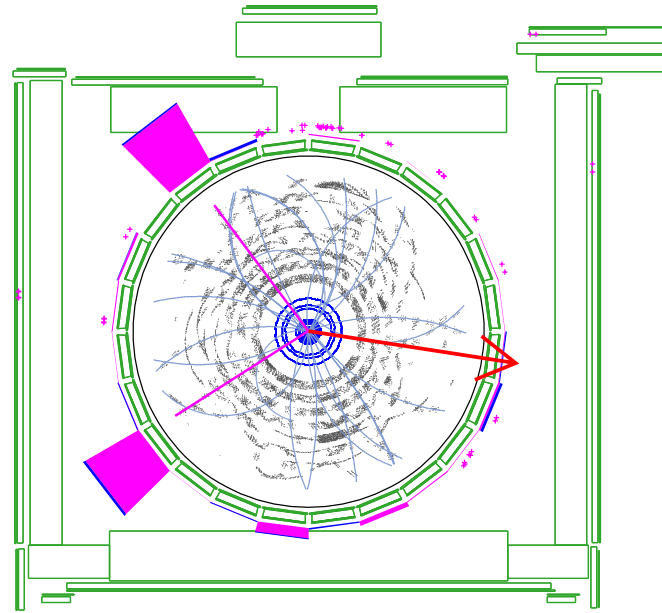
$t\bar{t}\bar{b} \rightarrow WbWb$

$\Rightarrow W \rightarrow jj$

$\Rightarrow W \rightarrow e\nu$



CDF: un  
candidato  
 $WW \rightarrow eev\nu$

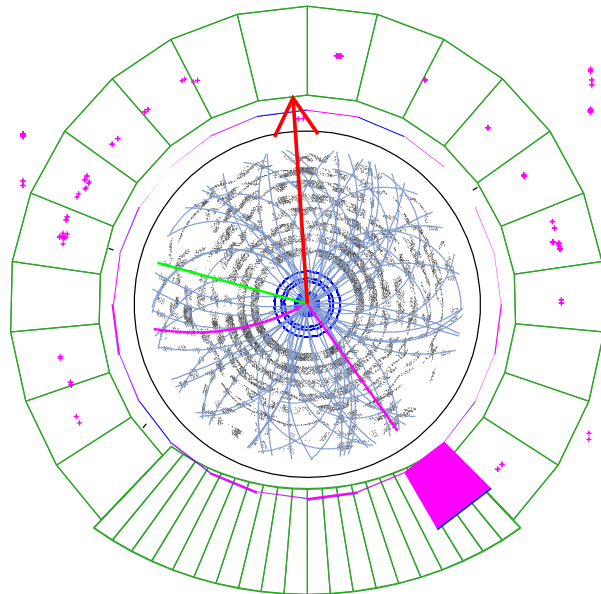
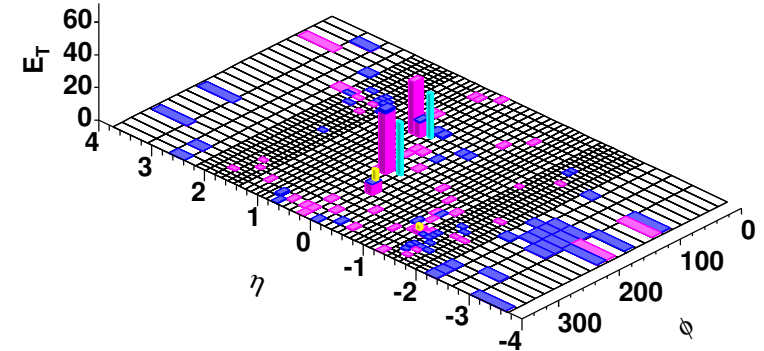


Run 162838 Event 627050 :  $WW \rightarrow e^+\nu_e e^-\bar{\nu}_e$  Candidate

$p_T(e^+) = 48.0$  GeV/c;  $p_T(e^-) = 38.2$  GeV/c;  $M_{e^+e^-} = 61.4$  GeV

$\cancel{E}_T = 61.4$  GeV;  $\Phi(\cancel{E}_T) = 6.1$

$\Delta\Phi(\cancel{E}_T, \text{lepton}) = 2.4$ ;  $\Delta\Phi(e^+, e^-) = 1.5$ ;  $\text{Opening-Angle}(e^+, e^-) = 1.5$

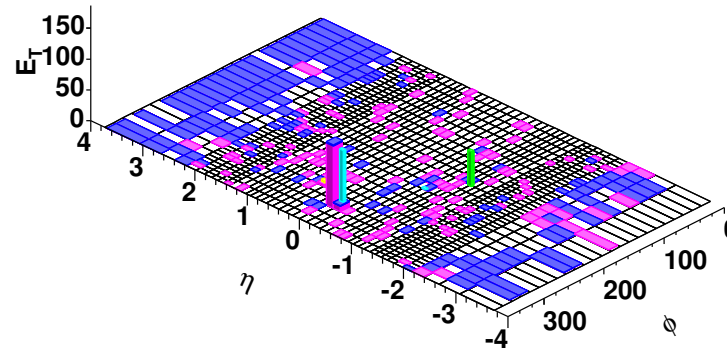


Run 162175 Event 1550545 :  $WW \rightarrow e^+\nu_e \mu^-\bar{\nu}_\mu$  Candidate

$p_T(e) = 112.7$  GeV/c;  $p_T(\mu) = 57.0$  GeV/c;  $M_{e\mu} = 165.6$  GeV

$\cancel{E}_T = 86.8$  GeV;  $\Phi(\cancel{E}_T) = 1.6$

$\Delta\Phi(\cancel{E}_T, \text{lepton}) = 1.2$ ;  $\Delta\Phi(e, \mu) = 2.4$ ;  $\text{Opening-Angle}(e^+, e^-) = 1.9$



CDF: un  
candidato  
 $WW \rightarrow e\mu\nu\nu$

# A complex signature: top event

$e^+ + 4$  jet event

40758\_44414

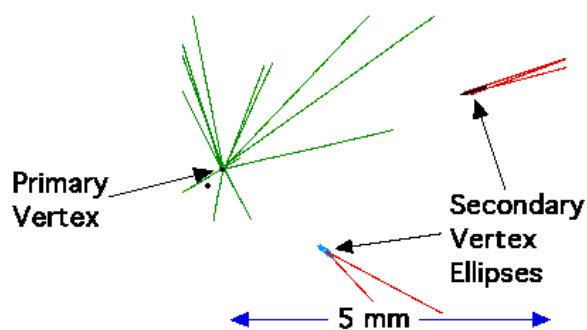
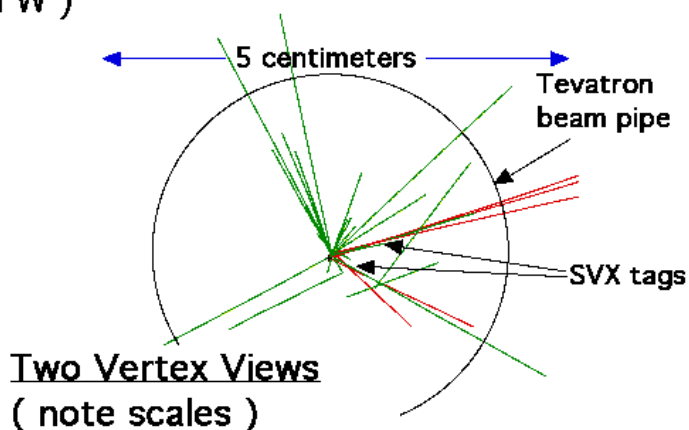
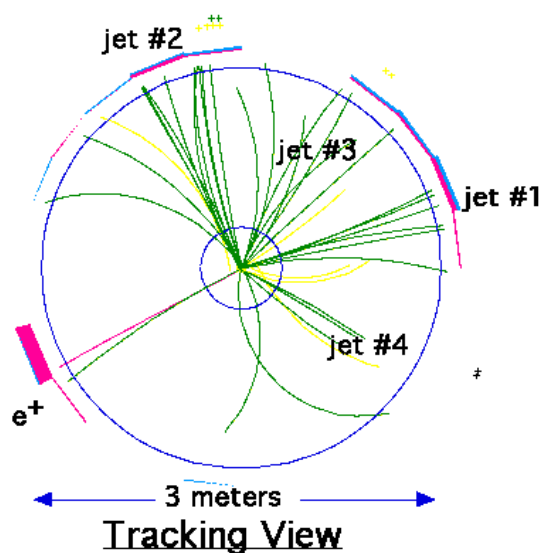
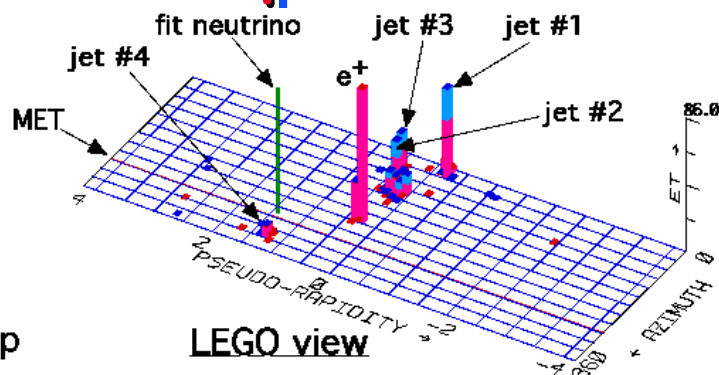
24-September, 1992

TWO jets tagged by SVX

fit top mass is  $170 \pm 10$  GeV

$e^+$ , Missing  $E_T$ , jet #4 from top

jets 1,2,3 from top ( 2&3 from W )





# Parte III

## I rivelatori

Le *segnature* a CDF-I non sono nate prima dei rivelatori ma insieme (o dopo)

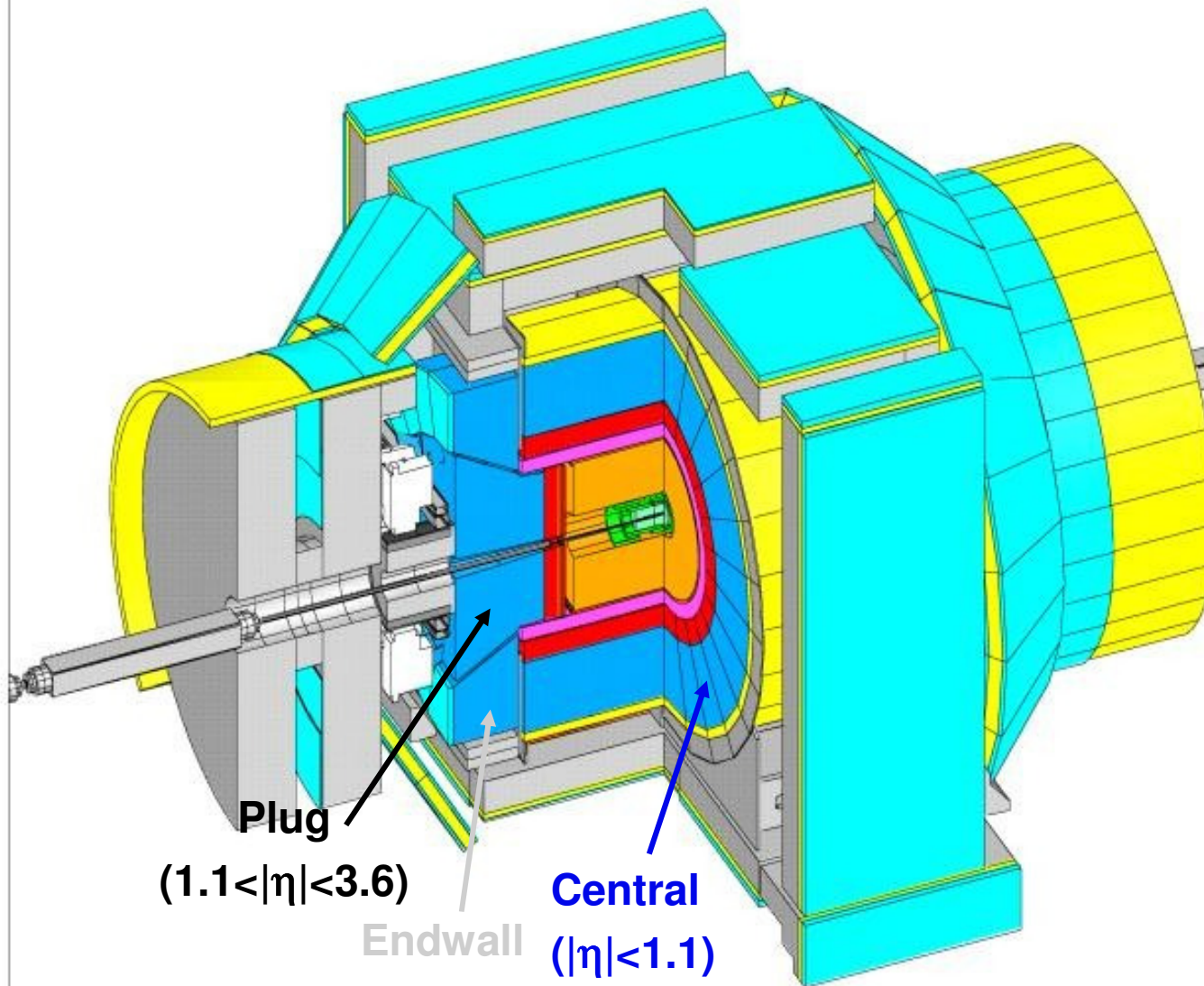
- ☞ C'erano idee ma andavano messe in pratica
- ☞ C'erano dei rivelatori ma andavano utilizzati
  - ⇒ Alcuni migliorati o ricostruiti ex-novo
- ☞ Alcuni rivelatori non c'erano ed andavano inventati

Nel seguito vedremo alcuni dei rivelatori più significativi e delle scelte più significative fatto dalla Collaborazione

# I calorimetri

Segmentati  
in eta, phi

$\eta$ Range	$\Delta\phi$	$\Delta\eta$
0.0 – 1.1	15°	0.1
1.1 – 1.8	15°	0.1
1.8 – 2.1	15°	0.16
2.1 – 3.6	15°	0.2-0.6



# Calorimetria

Tutti i calorimetri di CDF-II sono

- ☞ Calorimetri a campionamento (Fe/Pb-Scintillatore)
  - Veloce risposta degli scintillatori utile in un collider adronico
  - ⇒ Compartimento adronico: ferro
  - ⇒ Compartimento em: piombo
    - Letture separate
- ☞ Struttura geometrica a torre proiettiva (verso il centro della zona d'interazione)
  - ⇒ Scelta non ovvia nel 1981
- ☞ Readout del segnale con fototubi
  - ⇒ Nelle *Plug* (ricostruite nel 1996-2000) utilizzati PM multi-anodo
    - Segnale portato ai fototubi a mezzo di guide di luce/dopo shift del segnale con WLS (centrale)
    - Attraverso fibre ottiche (calorimetri in avanti)
- ☞ Fast-signal utilizzato per il sistema di trigger

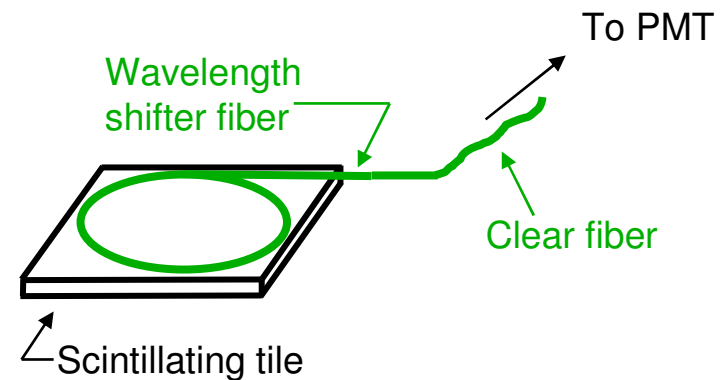
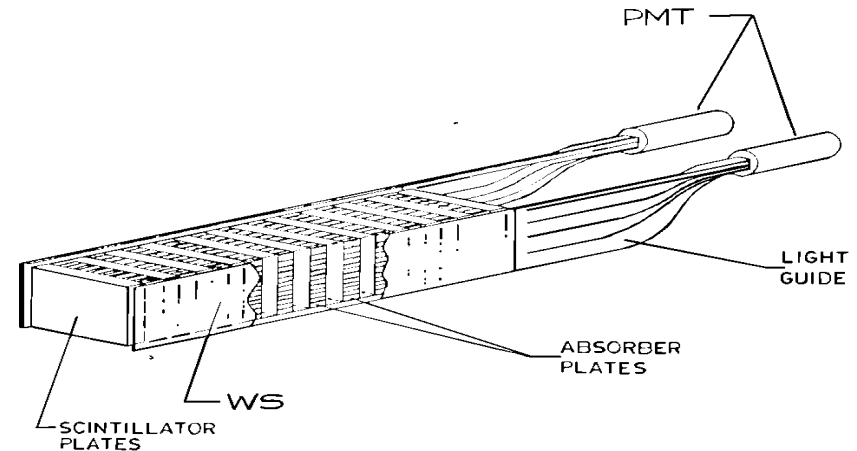
# Calorimetria

## Merito principale:

- ☞ Misura veloce dell'energia di particelle neutre e cariche
  - ⇒ Precisione  $\Delta E/E \sim \text{const.}/\sqrt{E}$  migliora con l'energia e complementa le misure fatte dal tracciatore

## Funzionamento:

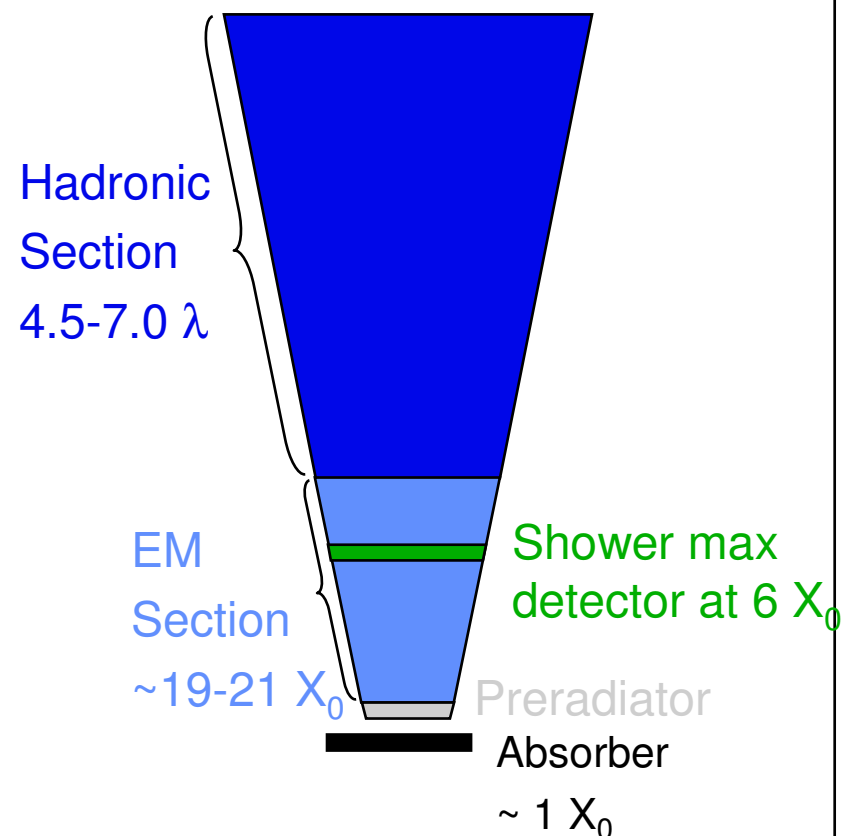
- ☞ La particella primaria sciama nell'interazione con il materiale
- ☞ La luce emessa nello scintillatore è  $\propto E$  persa dai secondari (fluttua con il numero dei secondari)
- ☞ Luce di scintillazione "shiftata" verso  $\lambda$  matching la QE dei FT
- ☞ Luce trasferita ai FT con fibre ottiche/guide di luce



# Calorimetria

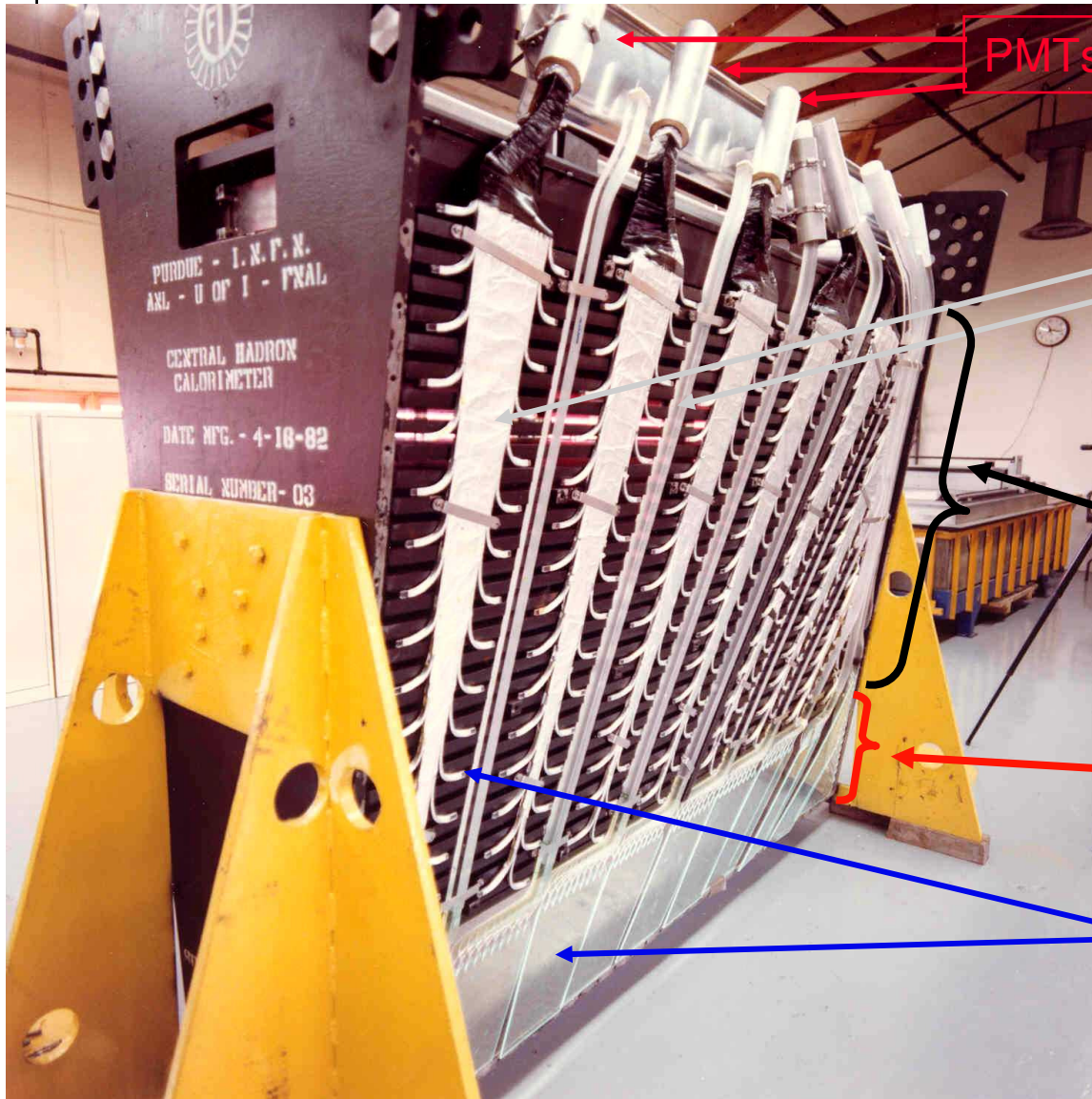
## Segmentate:

- ☞ Longitudinalmente
  - ⇒ Preshower
  - ⇒ Calorimetro EM
    - Shower max detector
  - ⇒ Calorimetro adronico
- ☞ Lateralmente
  - ⇒ Struttura a torre per identificare e misurare il flusso di energia di fiotti di particelle (getti)
  - ⇒ separazione  $\gamma/\pi^0$  nei rivelatori shower max /preshower





# Central calorimeters



Dettagli di un modulo del cal. centrale

Clear plastic light guides

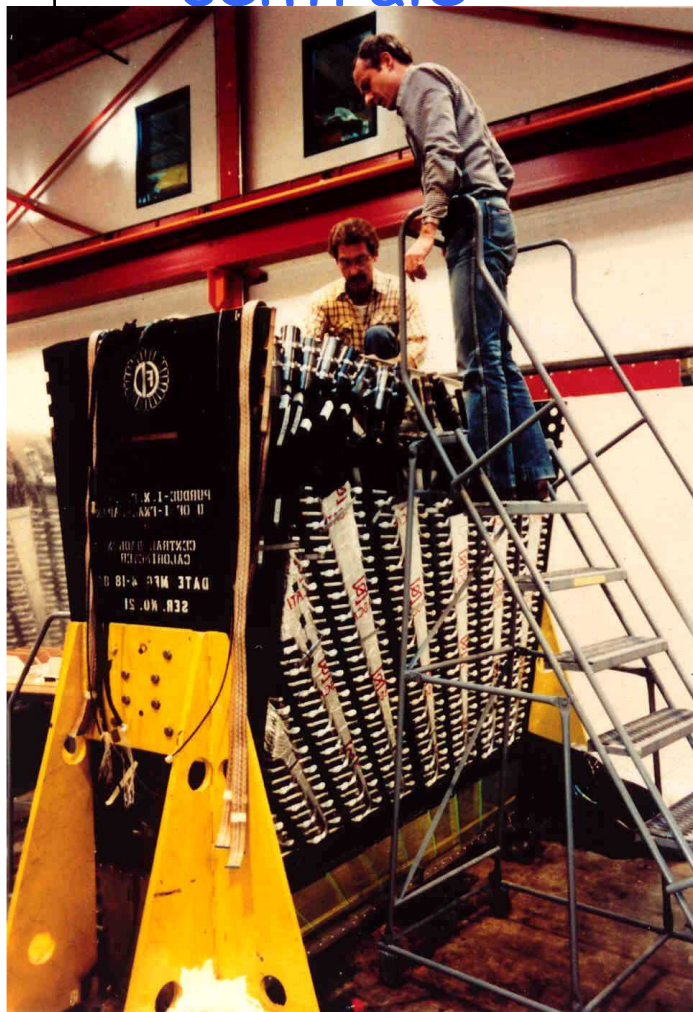
Hadronic section  
(Iron absorber plates)

EM section  
(lead absorber plates)

Wavelength shifter

# Calorimetro centrale

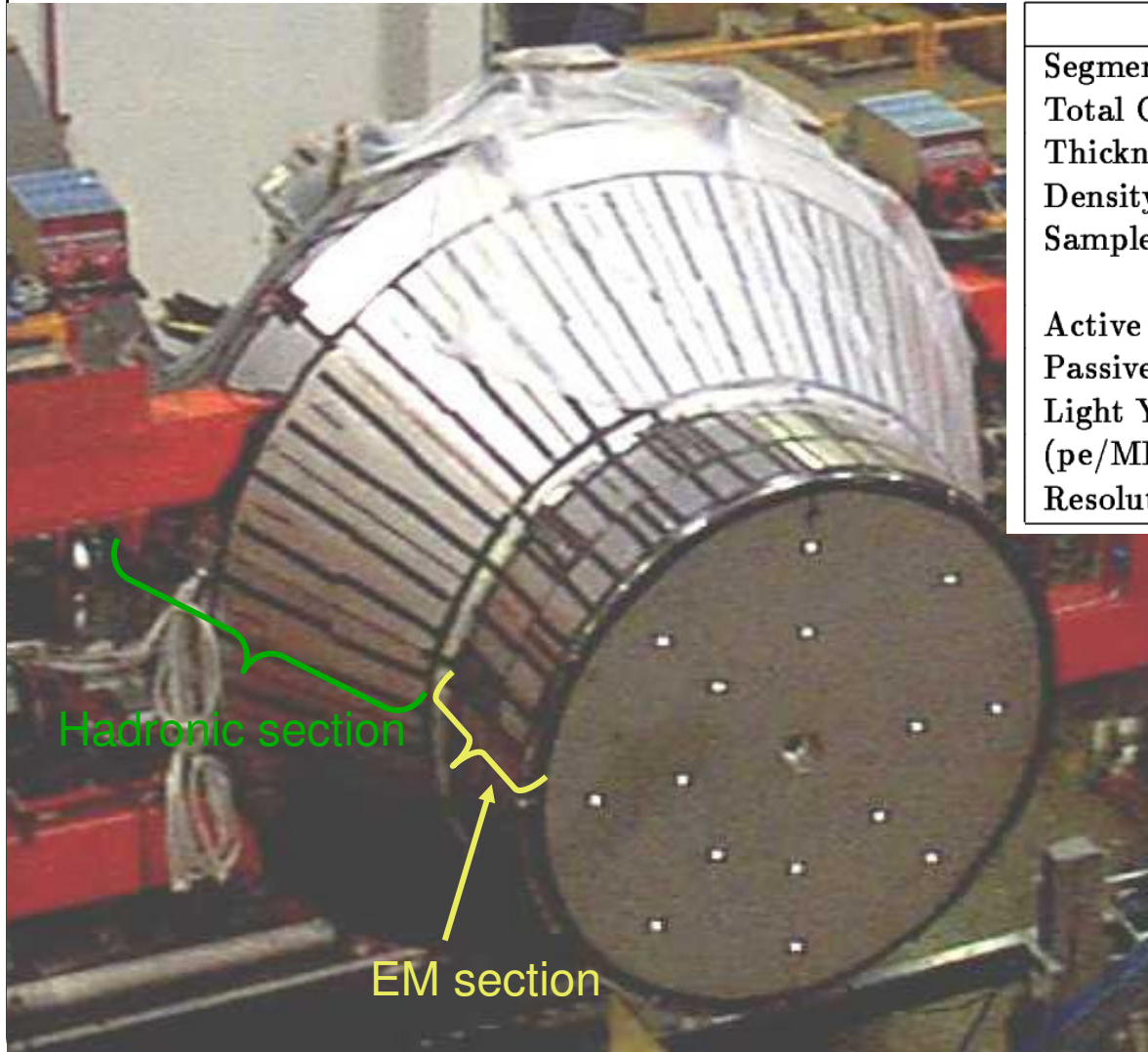
Assemblaggio e test  
del calorimetro  
centrale



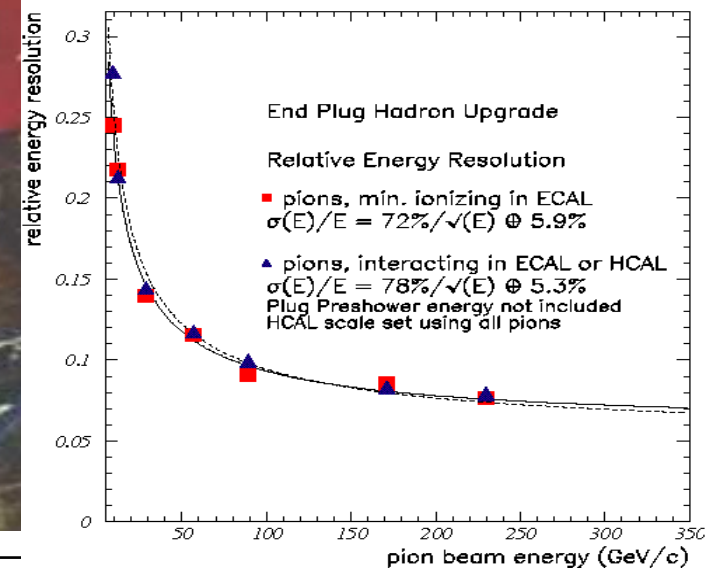
	EM	HAD
Segmentation	$\sim 50 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$	$\sim 70 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$
Total channels	956	1344 (with endwall)
Thickness	$18 X_0, 1 \lambda_0$	$4.7 \lambda_0$
Samples	21-30	32
Active	5 mm Scint.	1.0 cm Scint.
Passive	3.2 mm lead	2.5 cm steel
Resolution	$13.5\%/\sqrt{E} + 1\%$	$75\%/\sqrt{E} + 3\%$



# Calorimetri "Plug"

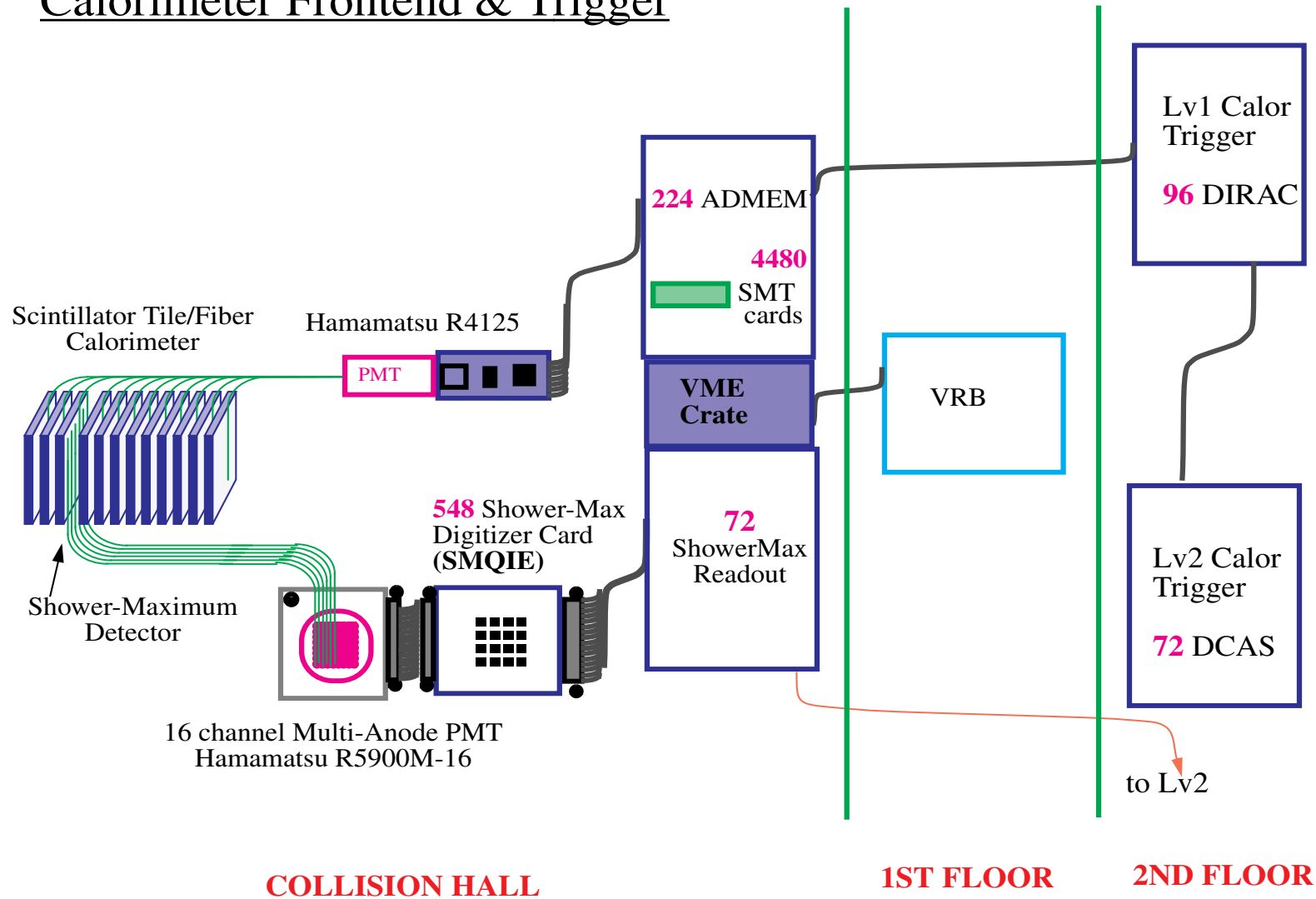


	EM	HAD
Segmentation	$\sim 8 \times 8 \text{cm}^2$	$\sim 24 \times 24 \text{cm}^2$
Total Channels	960	864
Thickness	$21 X_0, 1 \lambda_0$	$7 \lambda_0$
Density	$0.36 \rho_{Pb}$	$0.75 \rho_{Fe}$
Samples	22 + Preshower	23
Active	4 mm Scint	6 mm Scint
Passive	4.5 mm Pb	2 inch Fe
Light Yield (pe/MIP/tile)	$\geq 3.5$	$\geq 2$
Resolution	$16\%/\sqrt{E} \oplus 1\%$	$80\%/\sqrt{E} \oplus 5\%$



# Readout e trigger calorimetri

## Calorimeter Frontend & Trigger



# Identificazione dei mu

I muoni sono particelle che, ad energie relativistiche, interagiscono poco con la materia

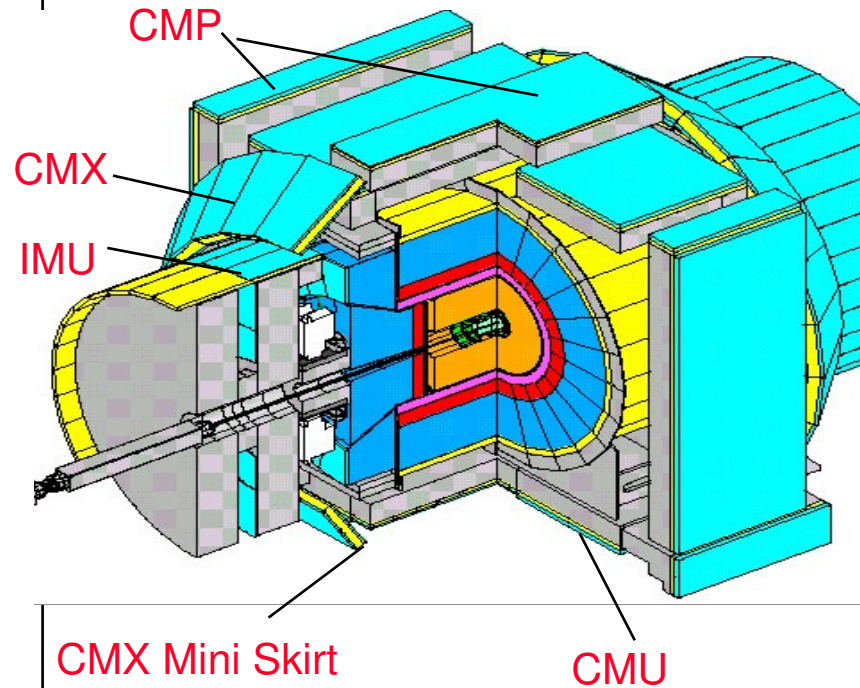
- ☞ Interazioni deboli ed em
- ☞ Bremsstrahlung soppressa rispetto agli elettroni e così sciamè em per differenza di masse

"Firma" caratteristica a CDF-I/II:

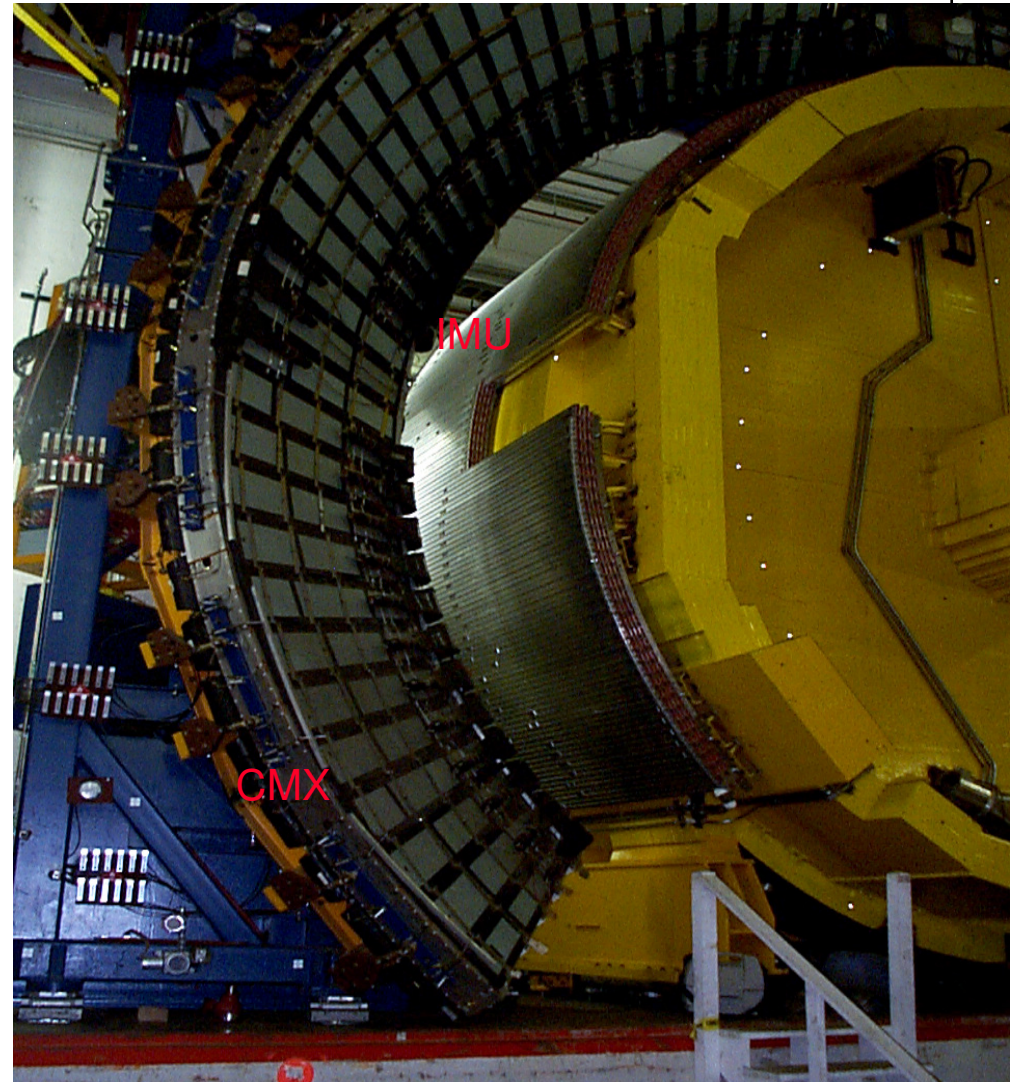
- ☞ Una traccia nella camera centrale che
  - ⇒ Estrapola (entro l'incertezza generata dal multiplo scattering nel materiale attraversato) alle camere per i mu all'esterno del rivelatore
    - Queste ultime non hanno bisogno di fornire una misura dell'impulso né estrapolare verso l'interno
- ☞ Aggiunta: particella al minimo di ionizzazione entro il calorimetro



# Sistema dei mu



- Dietro tutte le camere, scintillatori per fornire un trigger



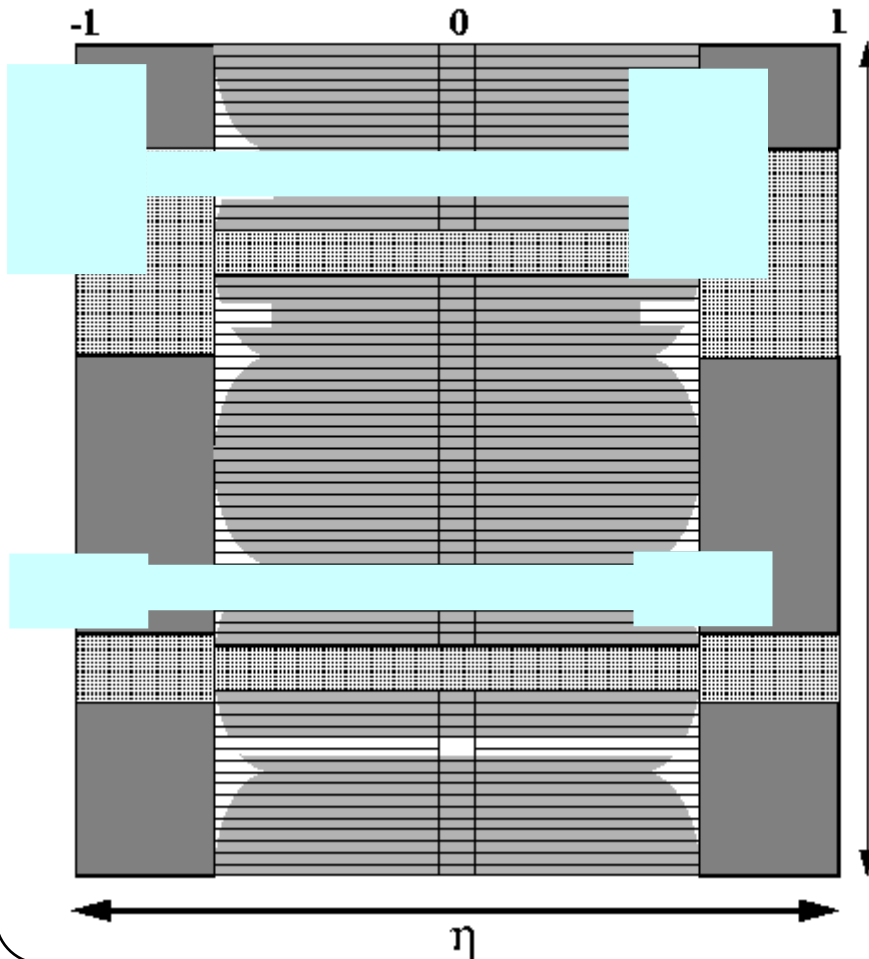


# Copertura dei mu

Run 1

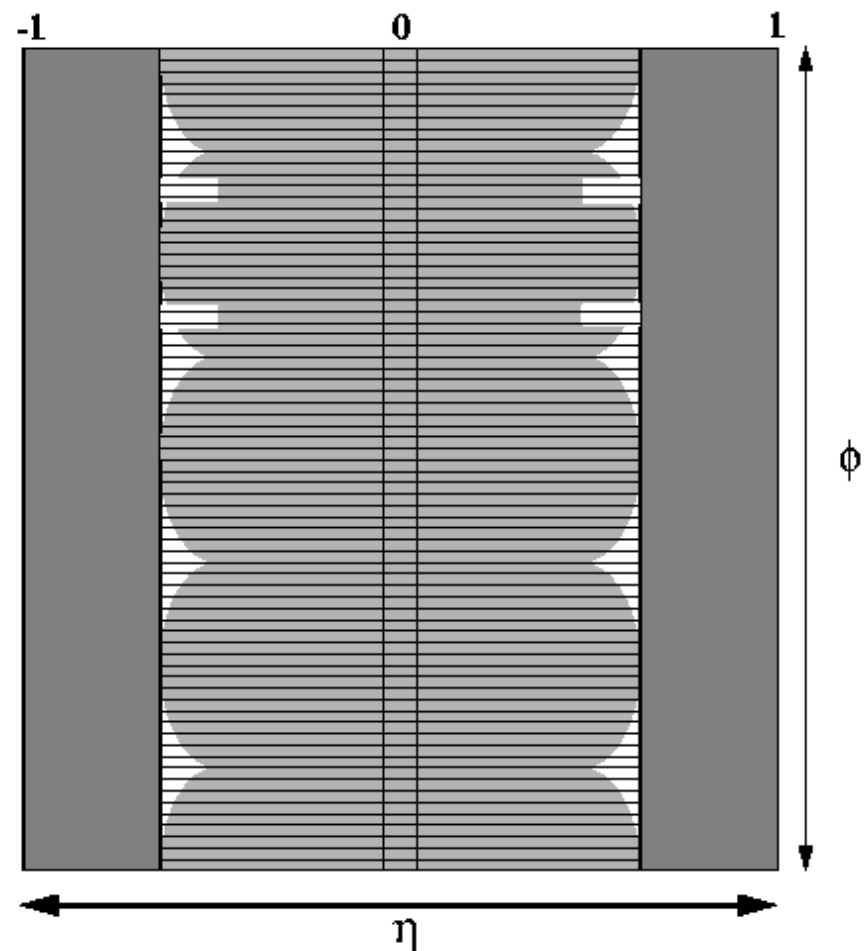
- No coverage

- CMX    - CMP    - CMU



Run 2

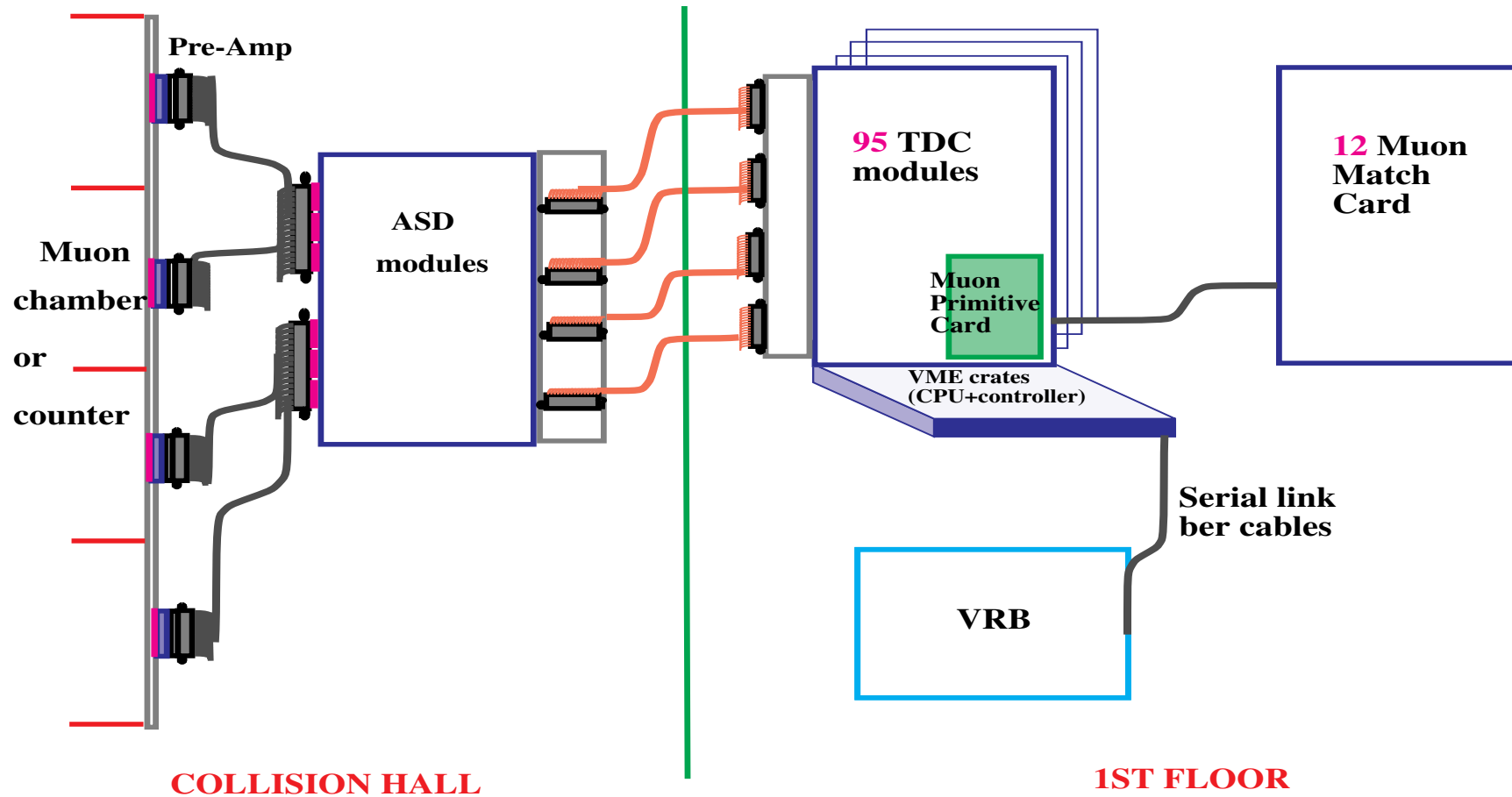
- CMX    - CMP    - CMU



Additional coverage now out to  $|\eta| = 1.5$

# Readout e trigger dei mu

## Muon Frontend & Trigger



# Sistema di tracciatura

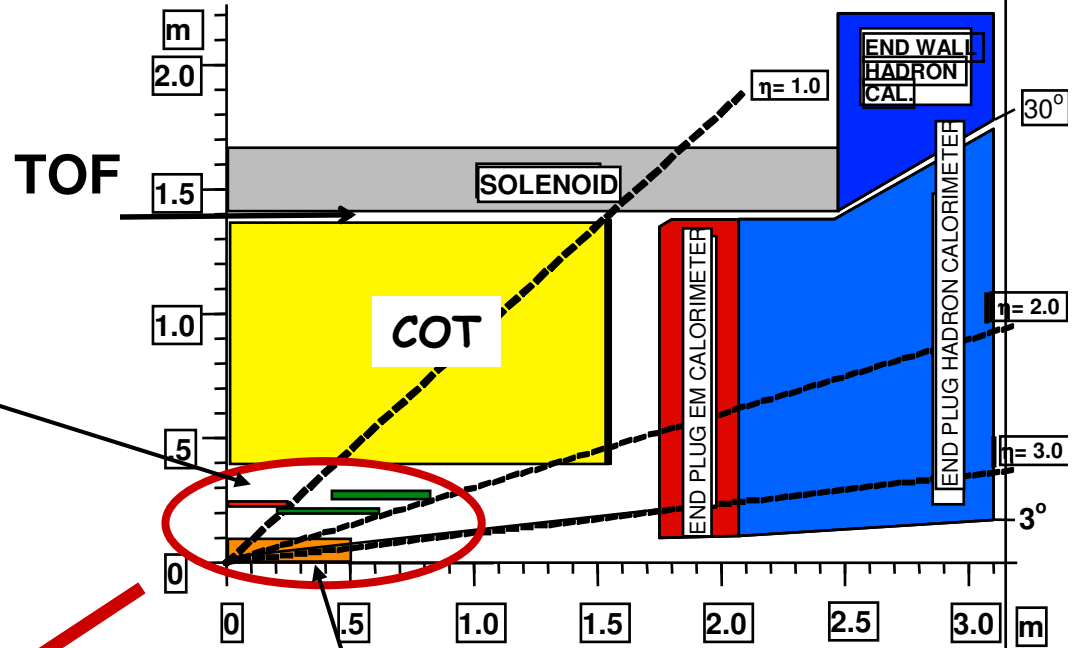
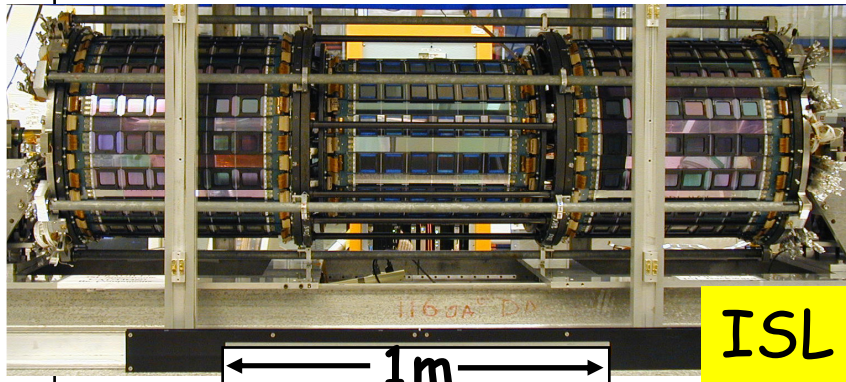
Proposito: ricostruire le traiettorie di particelle cariche

- ☞ C'è bisogno di molti punti di misura per effettuare un robusto (ed affidabile) pattern recognition
- ☞ Campo magnetico per misurare l'impulso (1.4 T)

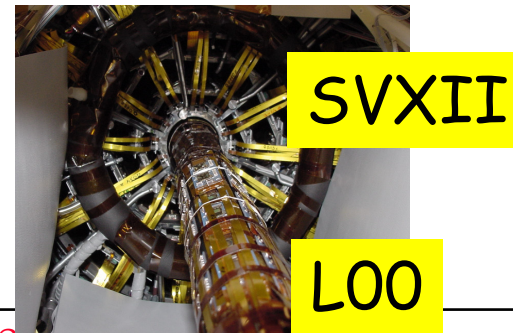
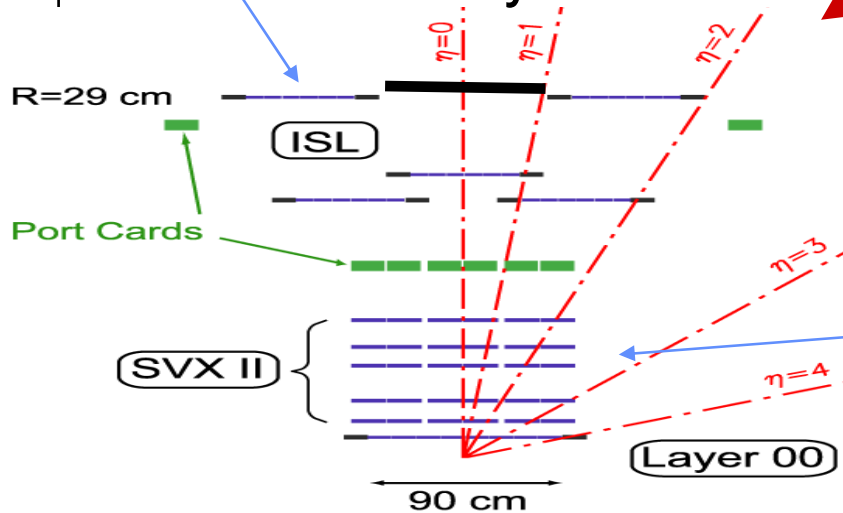
Alcuni parametri della traccia:

- ☞ Impulso trasverso ( $p_T$ ):
  - ⇒ La risoluzione dipende dalla misura della sagitta e si degrada al crescere del  $p_T$ 
    - A CDF:  $\sigma(p_T)/p_T^2 \sim 10^{-3} (\text{GeV}/c)^{-1}$
    - Essenziale un tracciatore a grande raggio
- ☞ Parametro d'impatto ( $d_0$ ):
  - ⇒ Risoluzione dominata dalla tracciatura vicino al punto d'interazione
    - Essenziale il vertice di rivelatori al silicio
    - Lo scattering multiplo degrada la ris. fino a  $p_T \sim 5 \text{ GeV}/c$
    - a CDF:  $\sigma(D) \sim 10 \mu\text{m}$  asintoticamente (high  $p_T$ ) Fondamentale per ricostruire vertici secondari

# Sistema di tracciatura



## Silicon System



ab, Agosto 2008

# Central Outer Tracker

## Risoluzione in impulso

☞ Misurare la sagitta con risoluzione costante

$$\Rightarrow s = \rho (1 - \cos \alpha)$$

$$\Rightarrow \cos \alpha \sim 1 - \alpha^2/2 \sim 1 - (L/2\rho)^2/2$$

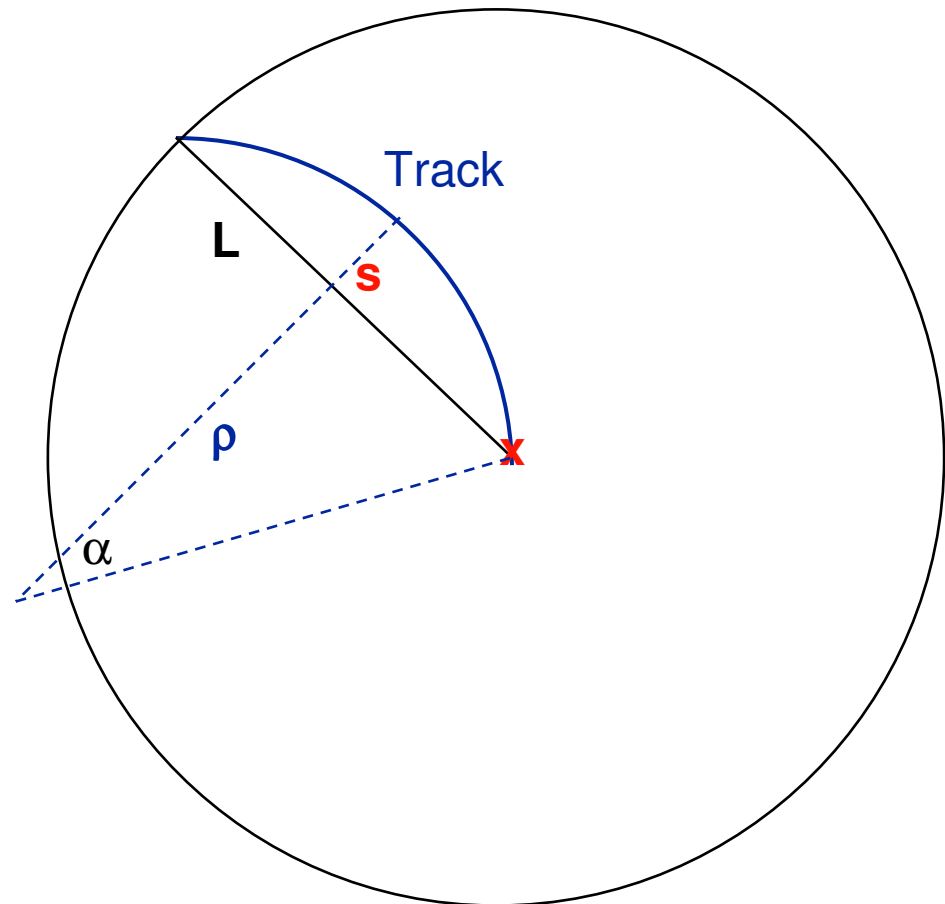
$$\Rightarrow s = L^2/(8\rho)$$

☞  $\rho \propto p_T/B$

☞  $s \propto L^2 * B/p_T$

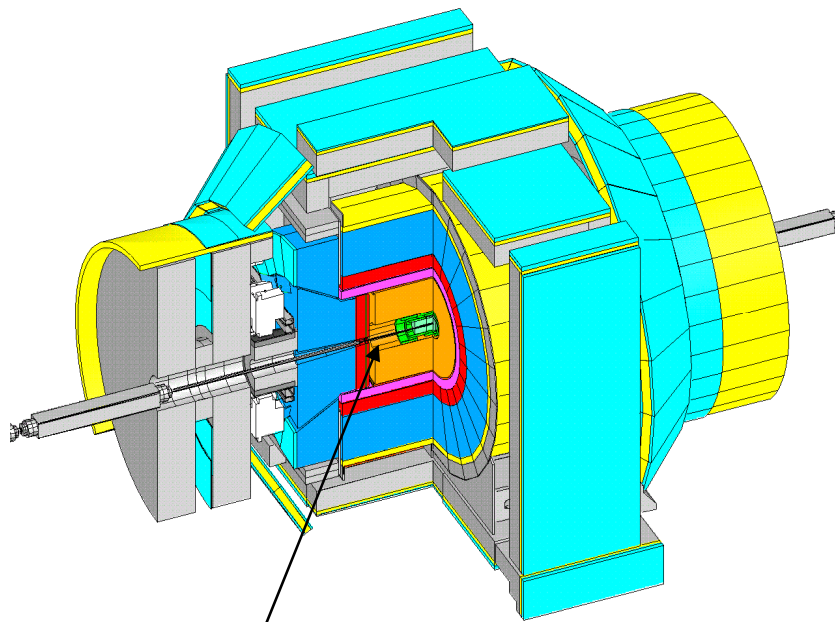
☞  $\sigma_s \propto [L^2 * B/p_T] * \sigma_{p_T} / p_T$

$$\sigma_{p_T}/p_T^2 \propto \sigma_s / BL^2 = \text{cost.}$$

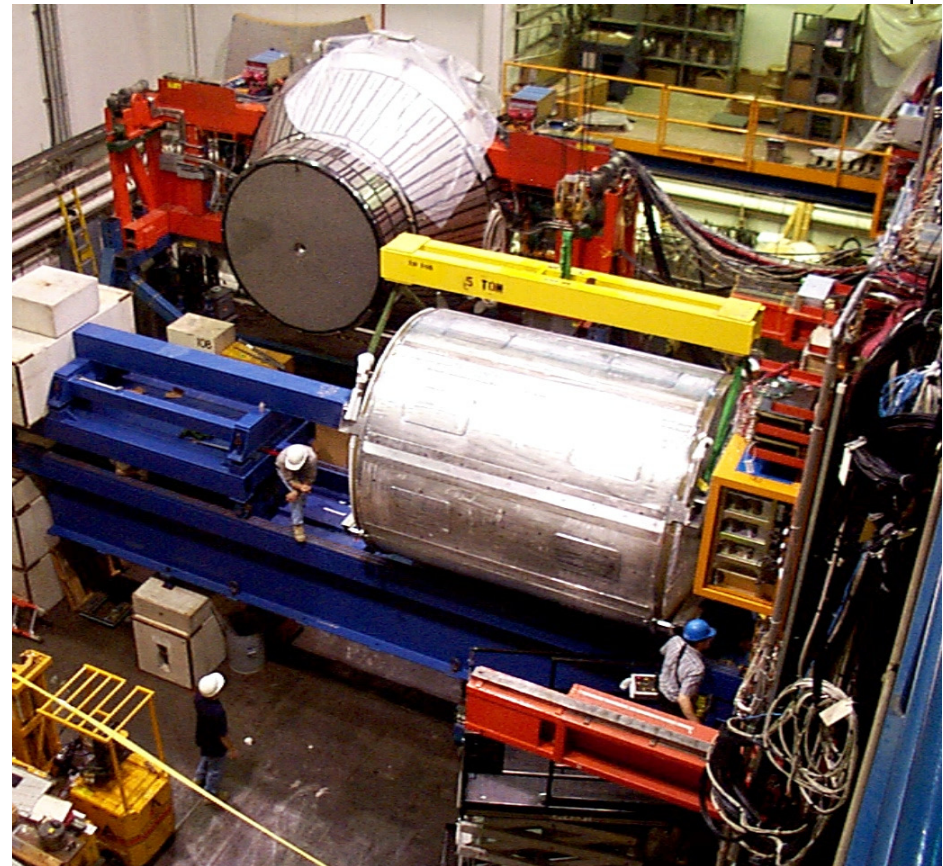




# Geometria e costruzione COT

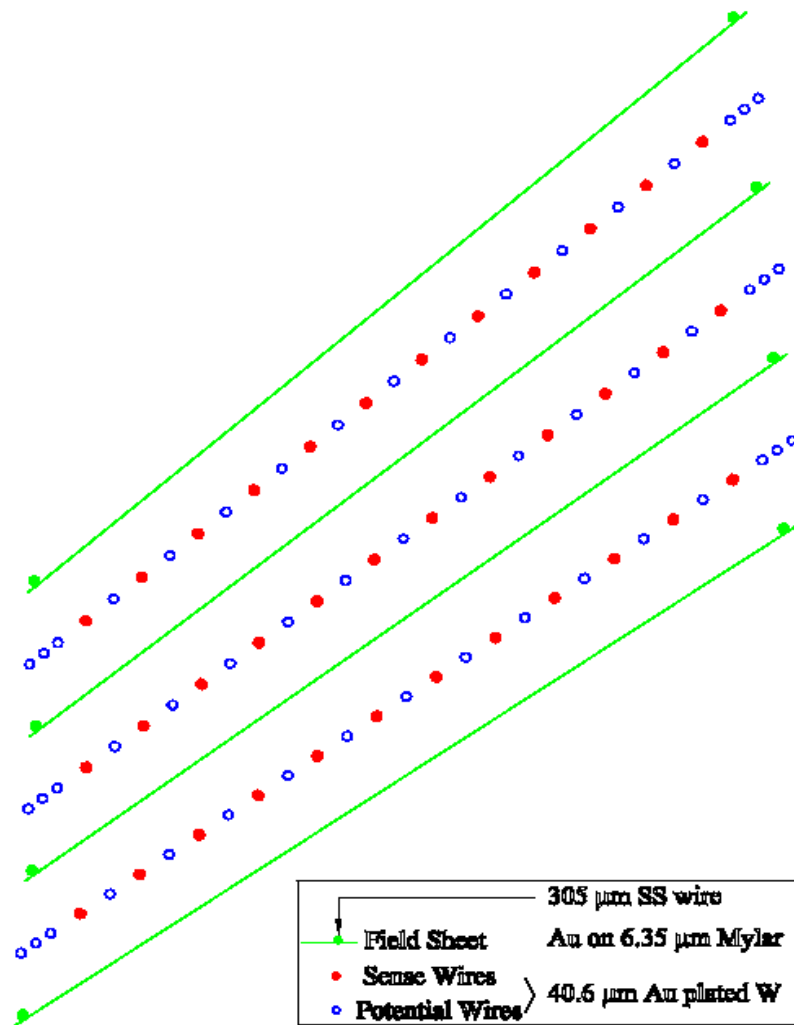


COT





# Geometria delle celle



## Catodi

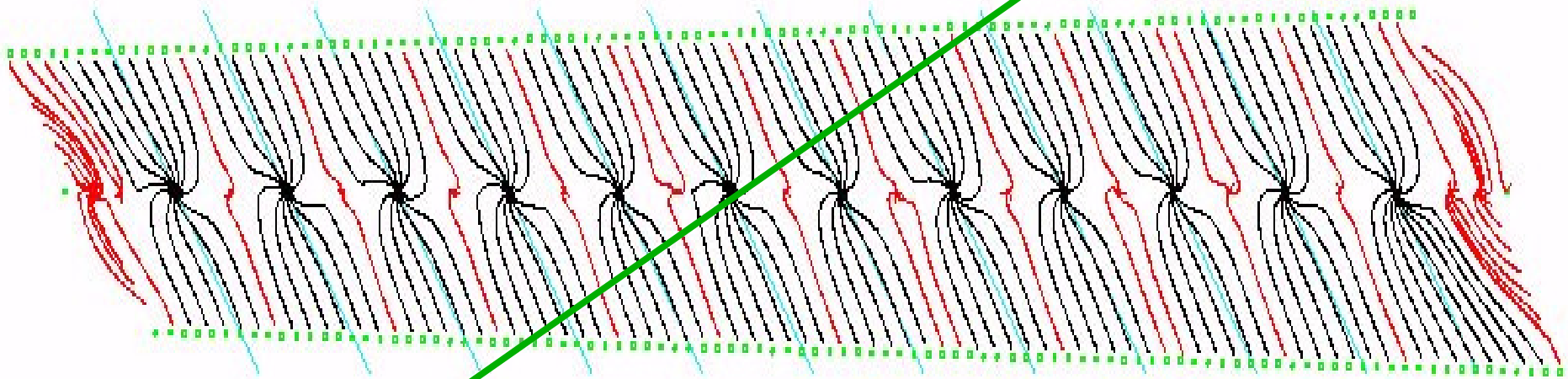
- ☞ Oro su Mylar
- ☞ Mylar spesso 6.4 μm
- ☞ Oro ~350 Å per lato

## Anodi

- ☞ Tungsteno coperto d'oro
- ☞ Diametro 40 μm
- ☞ Stesso filo usato per sense e field shaping

Celle ruotate di 35° per correggere effetto  $E \times B$  (elettroni non driftano lungo le linee del campo elettrico ma approssimativamente lungo  $\phi$ )

# Traiettorie di deriva



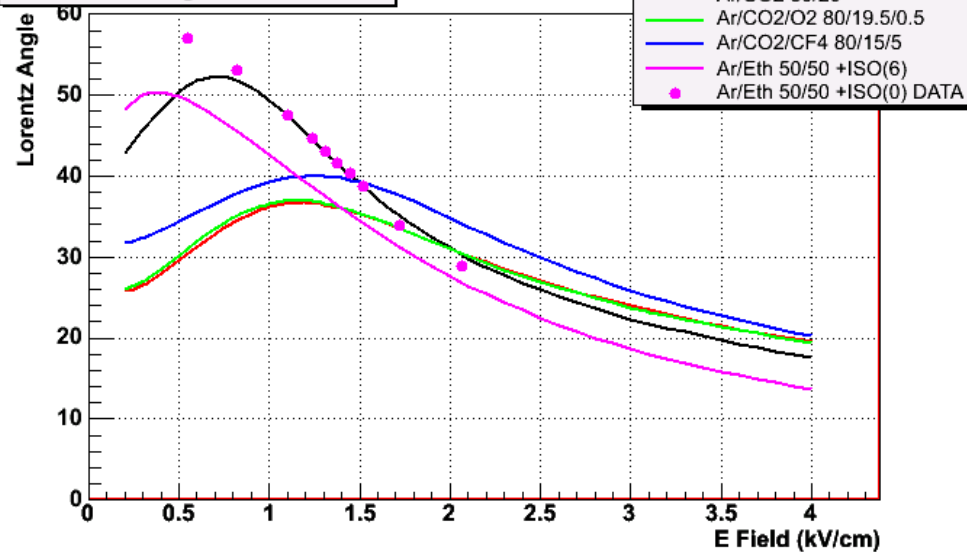
Scelta del gas (usiamo Ar:Et 50:50)

Set charge ( $\leftrightarrow$  surface electric field) sui fili di sense per controllare il guadagno

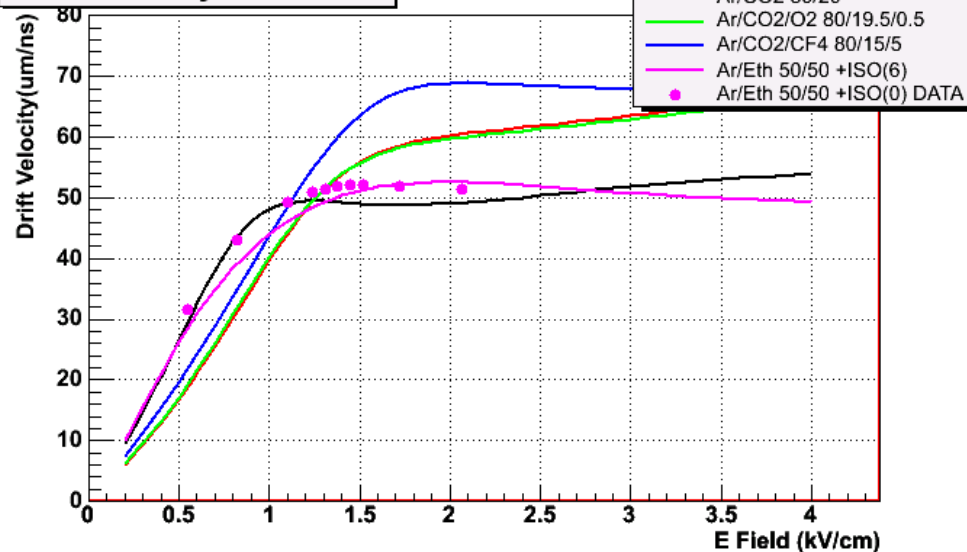
Set charge sui file di potenziale per controllare il campo di deriva

# Traiettorie di deriva

Lorentz Angle vs E Field



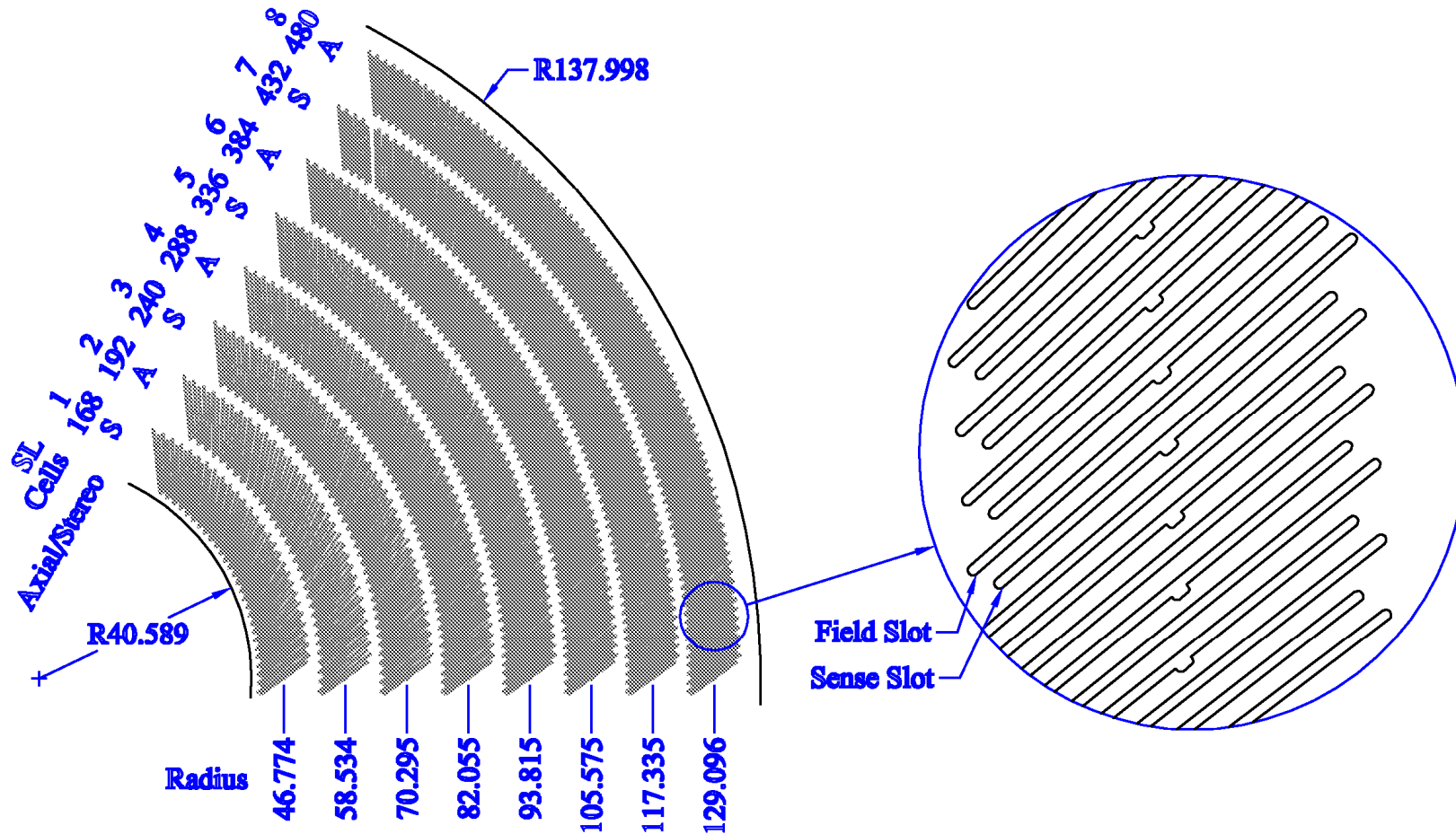
Drift Velocity vs E Field



## Vogliamo

- ☞  $\sim 50 \mu\text{m/nsec}$  drift velocity
  - ⇒ basandoci sull' interbunch di 396nsec e dimensioni cella)
- ☞ Forte campo di deriva per minimizzare la carica spaziale (spazza via gli ioni rapidamente)
- ☞  $\sim 35^\circ$  drift angle (basandoci sulla rotazione delle celle)

# Endplates: 2520 sense, 2520 field slots per plate



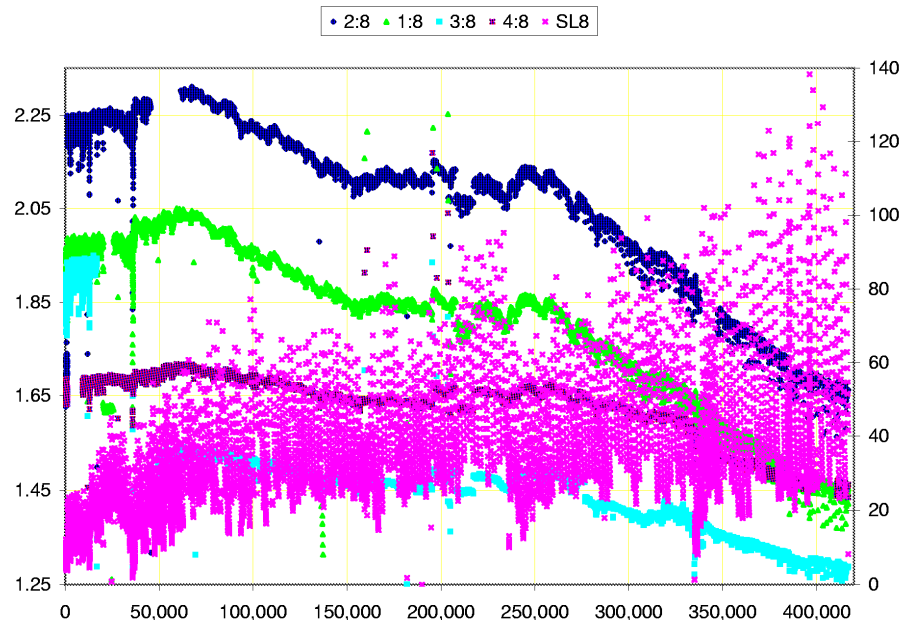
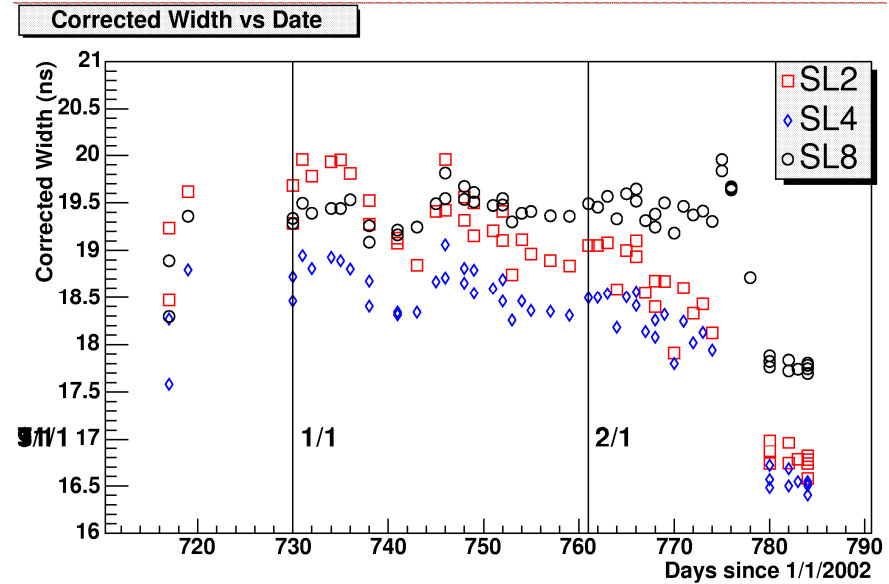
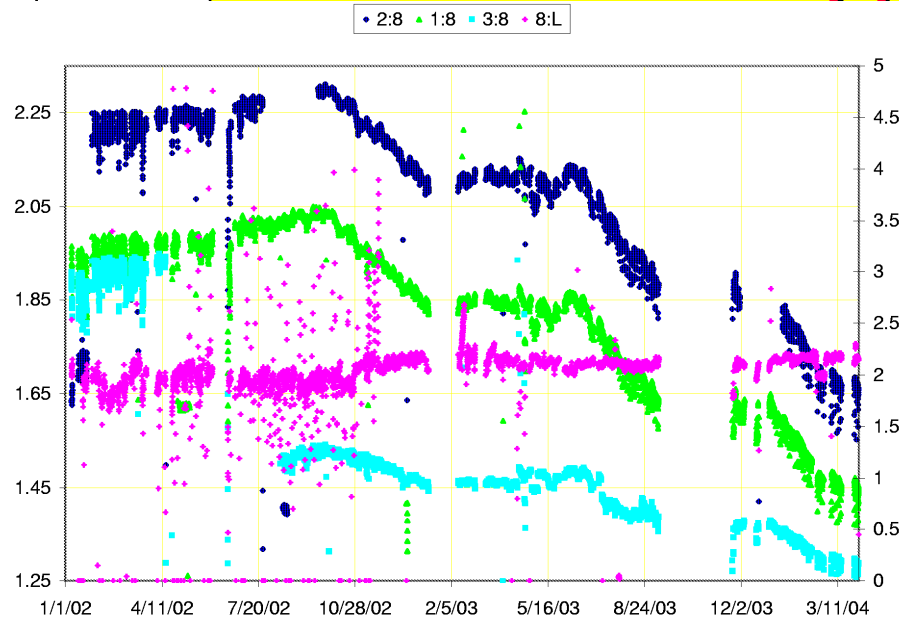


# Assemblaggio



*Fermilab, Agosto 2008*

# Aging



- Il guadagno scende nel tempo
- Collegato alla luminosità integrata
- NON si osserva nelle camere di monitoraggio



# Identificazione e soluzione problemi

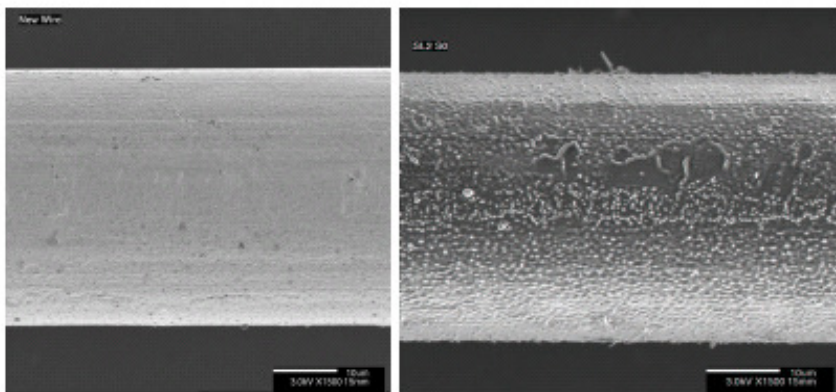
Problema: formazione di polimeri dovuti ad impurità etc. nel gas sottoposto ad irraggiamento

- SEM analysis showed hydrocarbon growths on aged wires

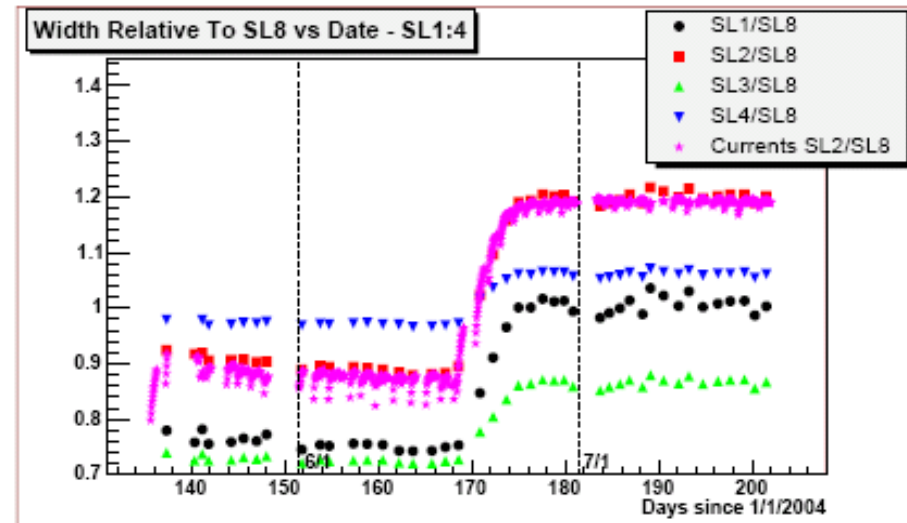
Data since recirculation started, through last week

New Wire

Aged Wire



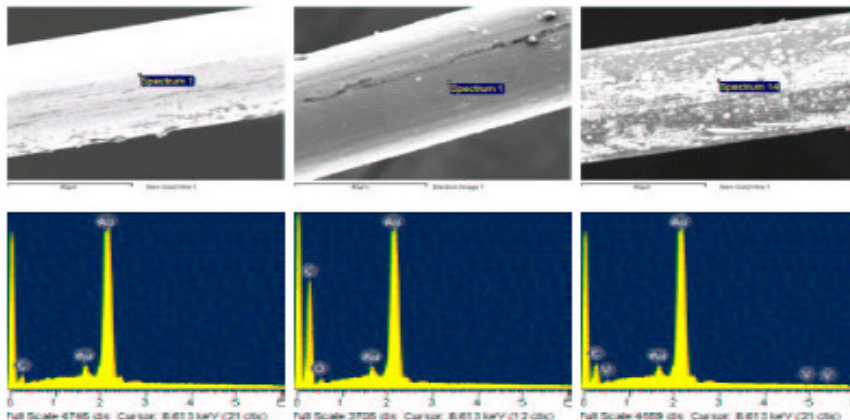
Results from SEM Analysis of Wire Samples



NEW WIRE

AGED WIRE

REVERSE AGED



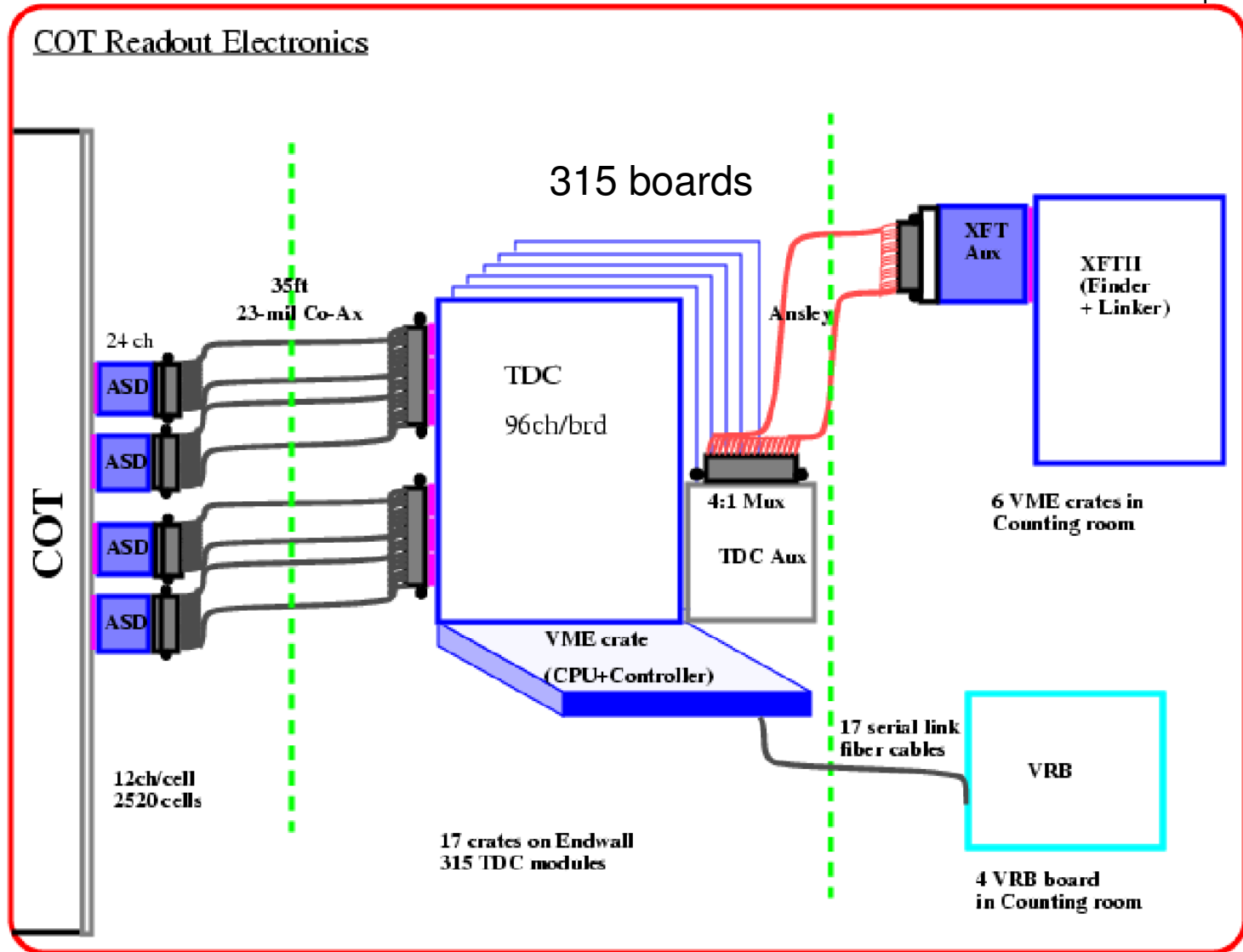
Ora flussiamo 180 ppm di  $O_2$  nella camera

Anche ai rivelatori fa bene l'aria pulita!

Agosto 2008

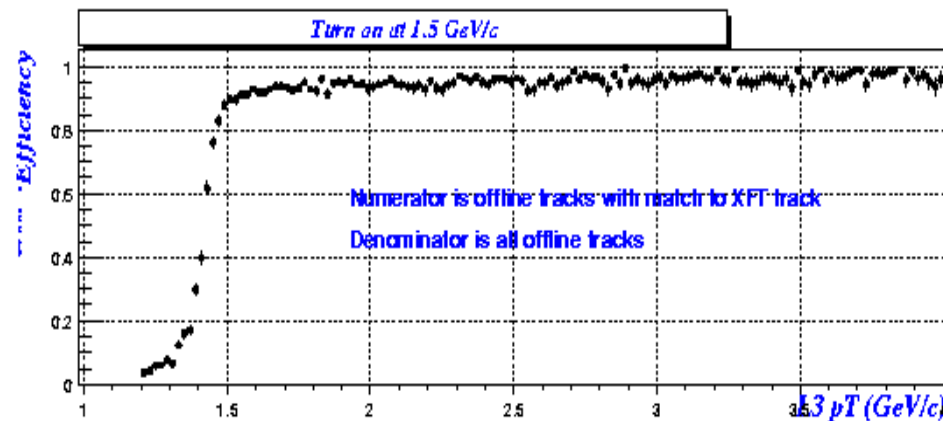
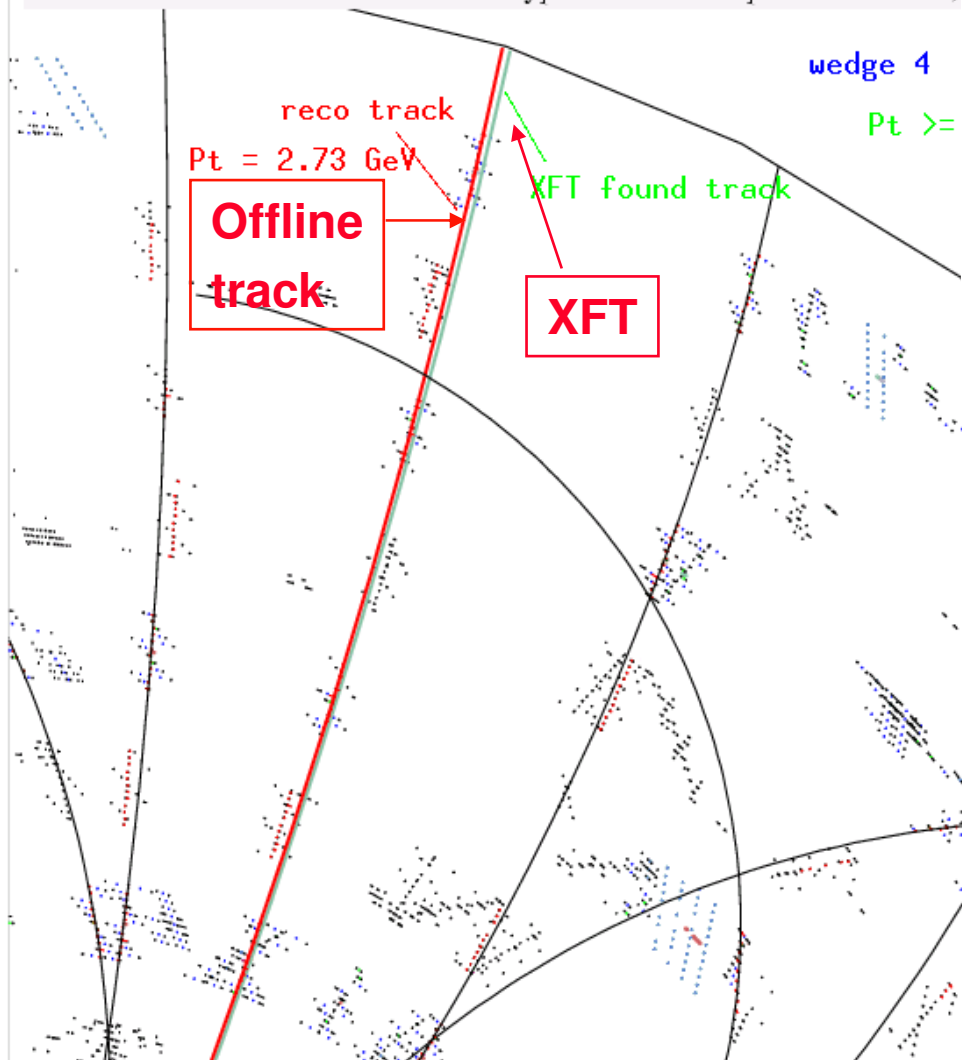
# Central Outer Tracker

Chambe  
readout



# Trigger sulle tracce -L1

Event : 136172 Run : 103584 EventType : 0 TRIG: Unpr. - Fired bits: 1,



Efficiency curve:  
XFT cut at  
 $P_T = 1.5 \text{ GeV}/c$

Si sfrutta la geometria per  
ricostruire a L1 le tracce  
di  $P_T > 1.5 \text{ GeV}$

# Rivelatori a semiconduttore a CDF

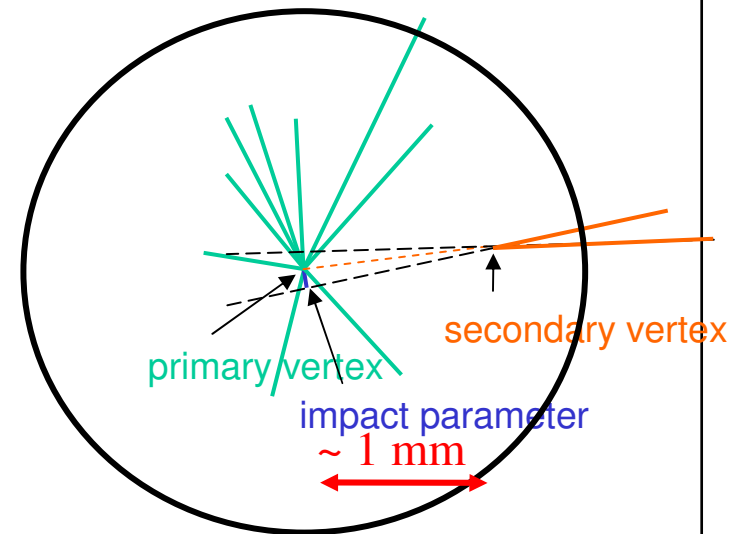
Rivelatore di vertice (Run I, Run II)

Sistema di tracciatura

⇒ Si espande il ruolo, Due configurazioni diverse, diversi i problemi

Rivelatori di vertice:

- ☞ Utilizzati per ricostruire vertici generati da particelle con vita media dell'ordine dei picosecondi
- ☞ Aggiungere pochi punti, estremamente precisi, a tracce i cui parametri sono misurati da un tracciatore diverso  
Importante minimizzare il Mult.scatt. e posizionare i rivelatori il più possibile vicini al punto di interazione



# Vertexing e tracking -I

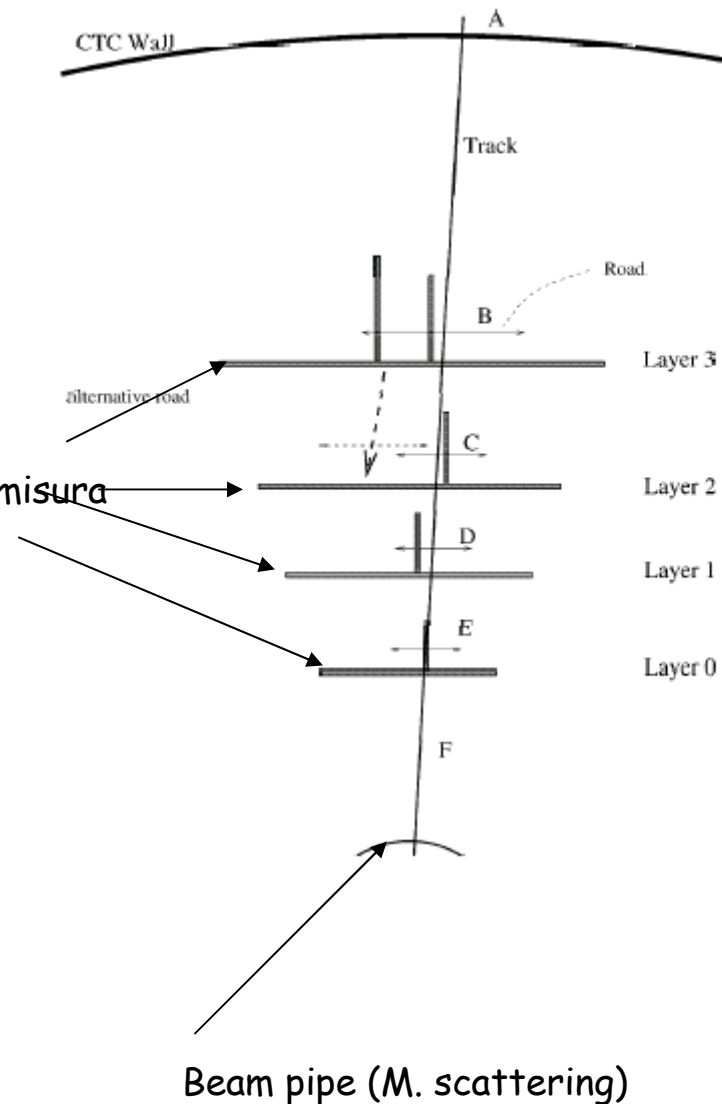
Nel Run I tracce ricostruite indipendentemente

☞ Parametri della traccia (5) ricostruiti da un sistema esterno

☞ Alla traccia sono linkati i punti ricostruiti nel sistema di vertice

⇒ Nella ricostruzione del parametro d'impatto domina il primo punto di misura e la sua distanza da un punto di scattering multiplo

→ Bisogno di mantenere questo strato efficiente



## Vertexing e tracking -II

In un sistema in cui il rivelatore di vertice partecipa alla tracciatura (CMS, CDF ad  $|\eta| > 1$ ), bisogna avere un numero sufficiente di punti a garantire ridondanza e capacità di effettuare il pattern recognition:

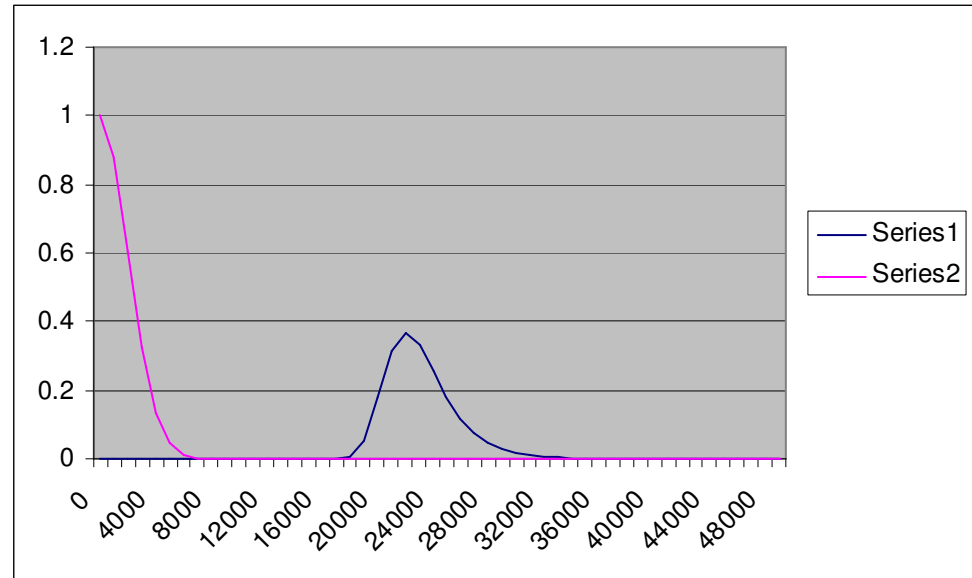
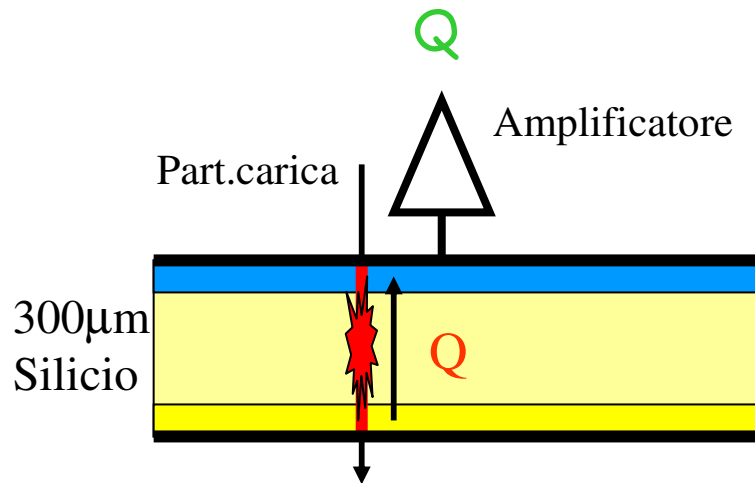
- ☞ Non c'è più un sistema indipendente che ricostruisce la traccia
- ☞ Particolarmente delicato il material budget complessivo (conversioni di fotoni che generano coppie)
- ☞ Delicato il danno da radiazione
  - ⇒ noise genera hit spuri il cui combinatorio può annullare le capacità di pattern recognition
  - ⇒ Cambiamento in efficienza di un singolo strato può incidere sull'efficienza di ricostruzione complessiva

**Ricordarsi sempre che una traccia è definita da 5 parametri**



# Rivelatori al silicio

## Misura del rilascio di energia



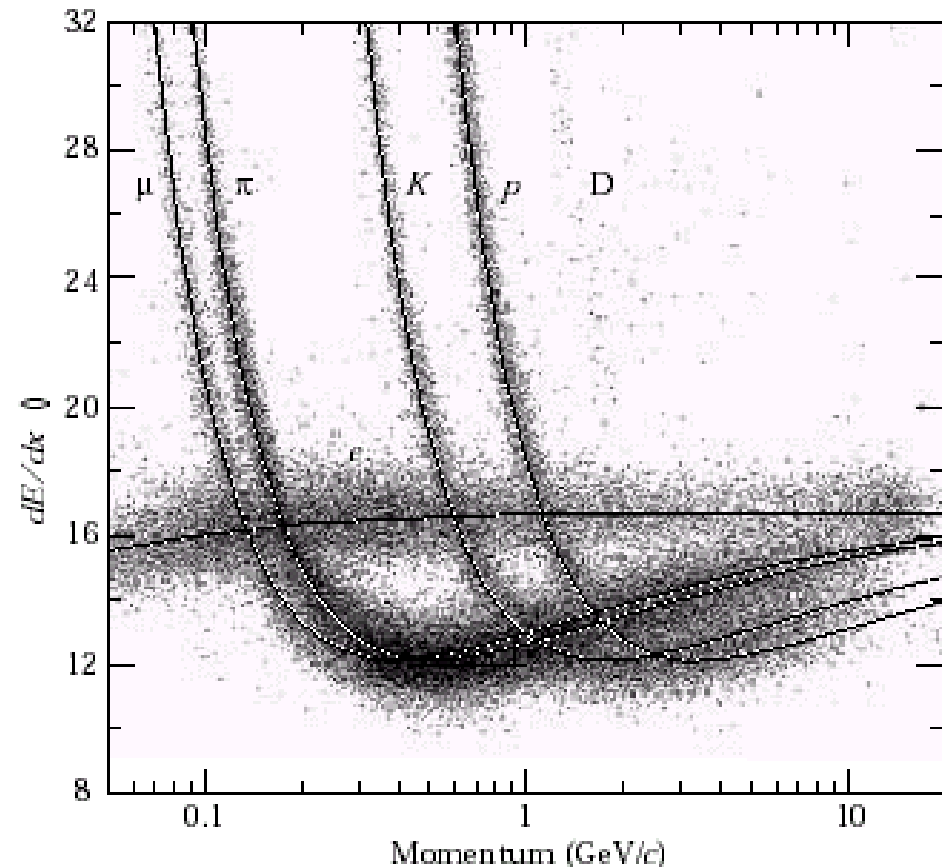
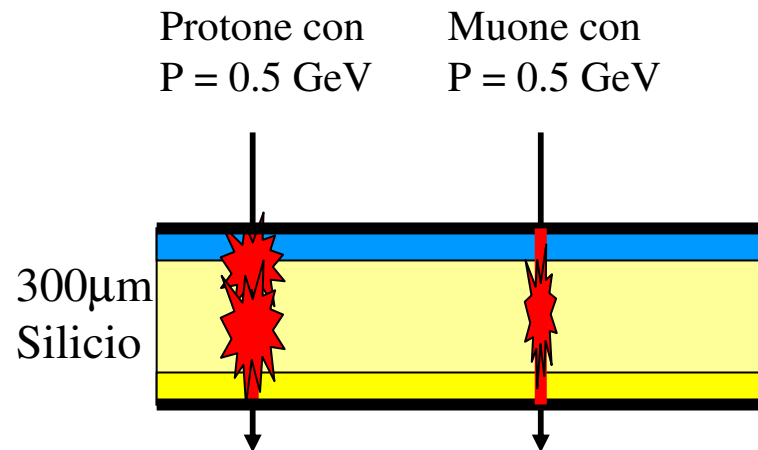
Carica generata dal rilascio di energia :  $Q = Q_0 + \delta Q_{Land}$  con  $Q_0 \sim 24,000 e^-$   
 e  $\delta Q_{Landau} \sim 2,000 e^-$  Parametro importante è la corrente di leakage.  
*in media, si ottengono ~80 coppie  $e-h/\mu m$  di silicio*

Carica misurata:  $Q = Q_0 + \delta Q_{Land} + \delta Q_{noise}$  con  $\delta Q_{noise}$  fluttuazione dovuta  
 al rumore (shot noise, termico nei resistori, e nell'amplificatore)  
 Noise tipico (in ENC) 400-2,000  $e^-$

# Rivelatori al silicio

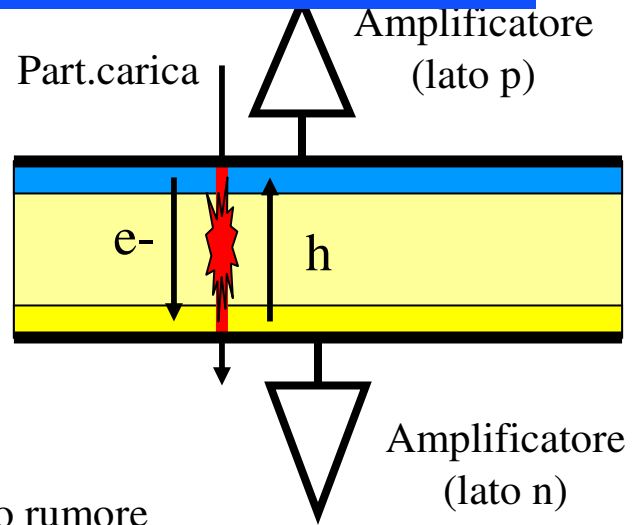
## Misura del rilascio di Energia-II

Per particelle cariche si può ricostruire la perdita di energia e determinare il tipo di particella, se è noto il suo impulso.  
→ Utilizzo come rivelatori di  $dE/dx$



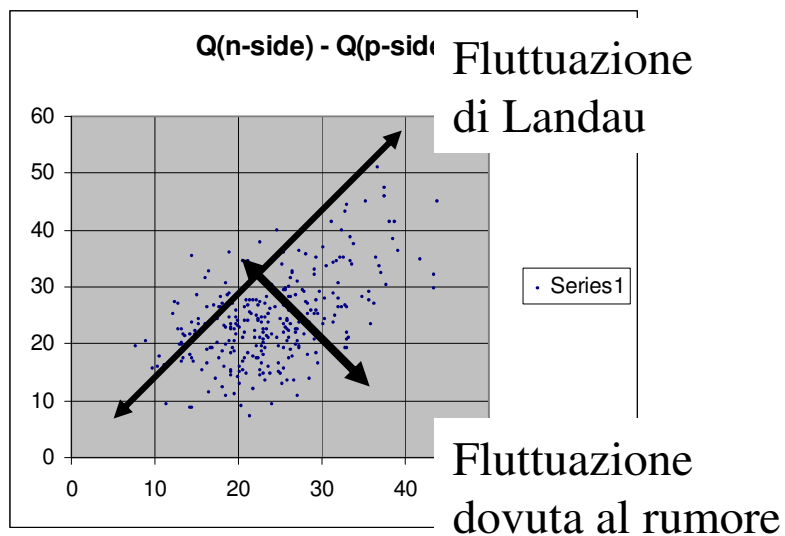
# Misura dell'energia rilasciata su entrambi i dati

E' possibile misurare la carica raccolta su entrambi i lati del rivelatore



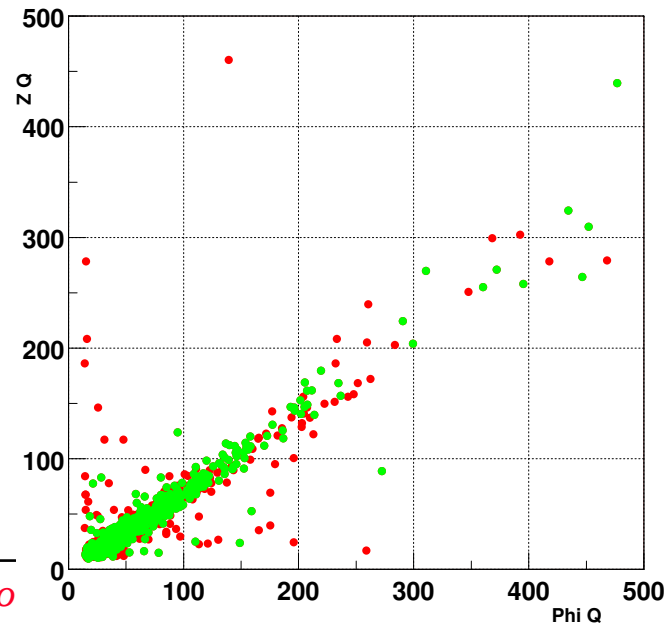
Alto rumore

Dati simulati



Basso rumore

Real data -CDF-ISL 2001



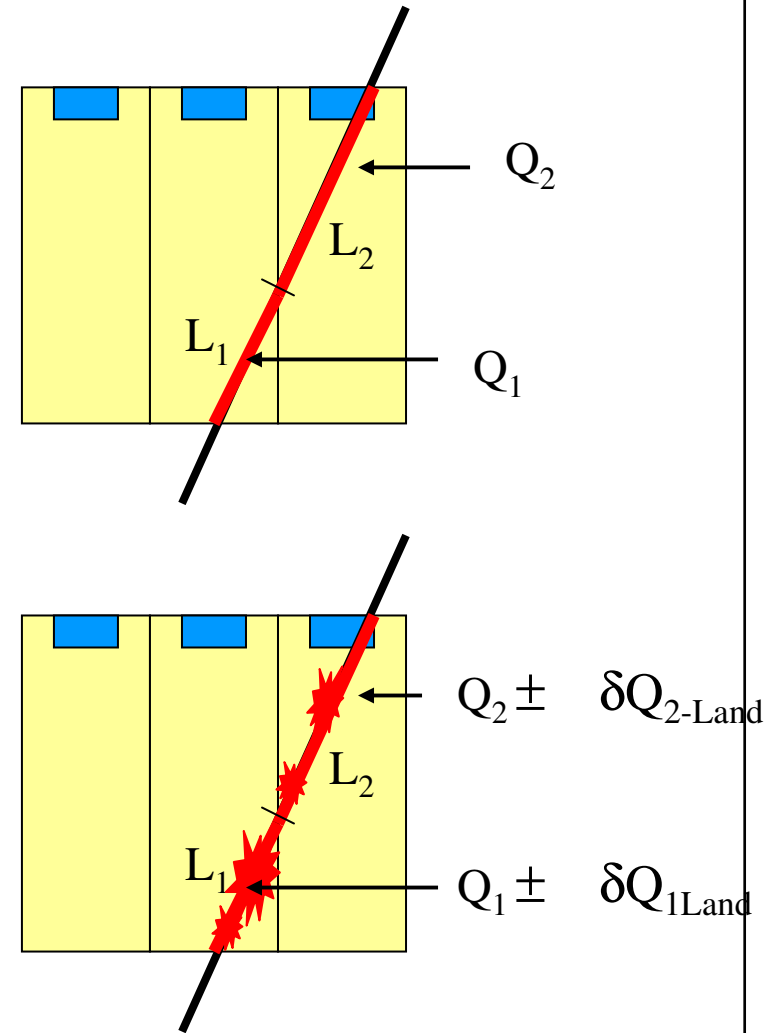
# Ripartizione di carica su elettrodi adiacenti

In prima approssimazione la carica raccolta su un elettrodo è proporzionale al percorso della traccia nella cella:  $Q_i = \text{cost} * L_i$

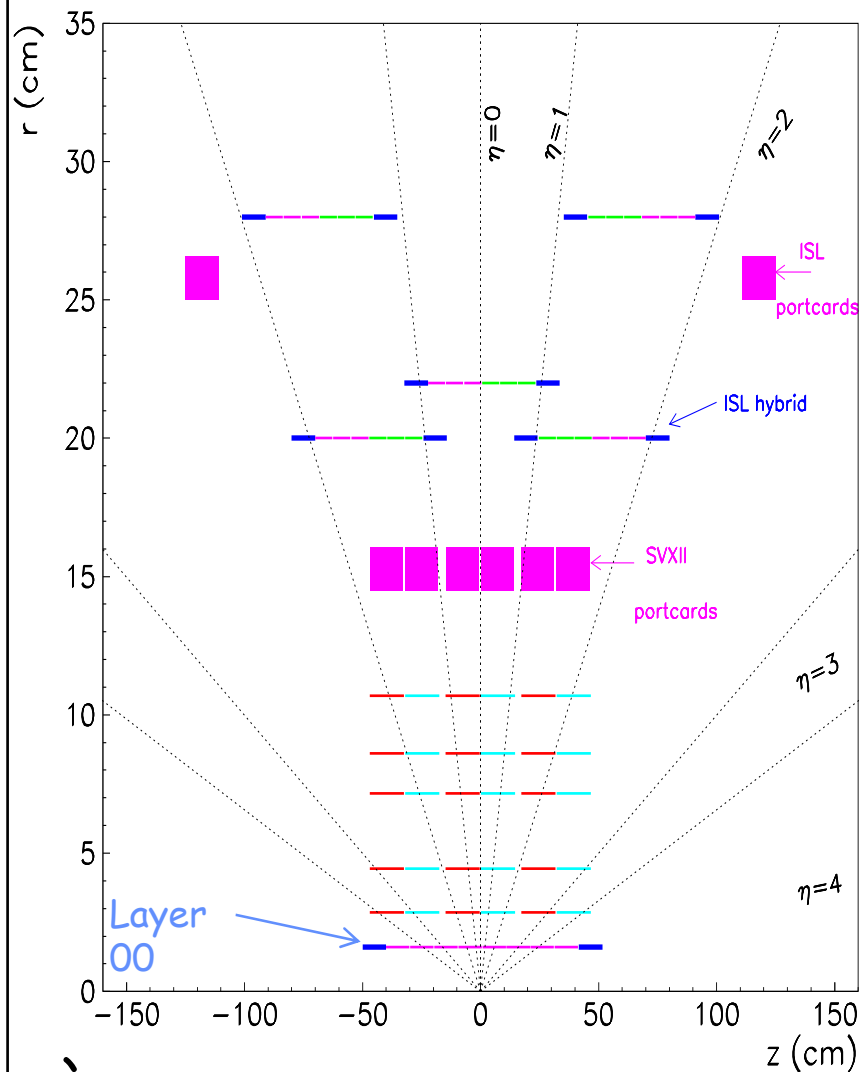
Le fluttuazioni di Landau alterano la proporzionalità fra carica e lunghezza percorsa:  $\delta Q_i$  circa  $2000e^-$ .

Questo peggiora la risoluzione spaziale.

Inoltre, data la struttura elettrica dei sensori, si crea un accoppiamento capacitivo tra due elettrodi adiacenti ( $C_{int}$ ), con conseguente divisione di carica.



# CDF Silicon Tracking System



È un sistema misto

Sistema composto da tre diversi rivelatori

- ☞ L00
- ☞ SVXII
- ☞ ISL

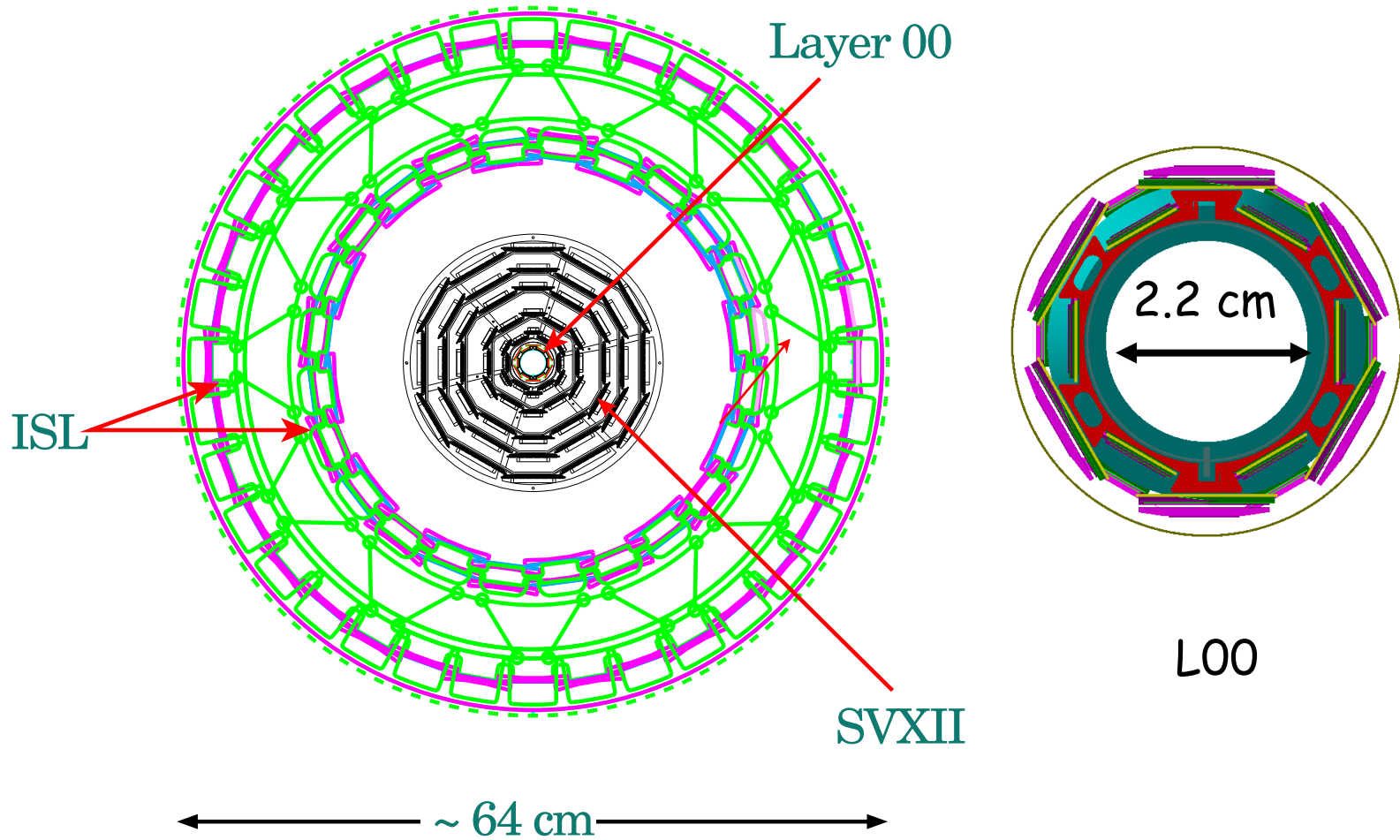
L00 è l'ultimo arrivato (aggiunto), rivelatore singola faccia rad-hard  
SVXII è stato il primo:

- ☞ 5 strati doppia faccia (2 r-z stereo e 3 con strip a 90°)

ISL e' il primo tracciatore a grande raggio:

- ☞ 2 strati doppia faccia per  $2 < |\eta| < 1$  ed 1 nella zona centrale

# CDF(II) Silicon





# SVX= L00+SVXII+ISL

SVXII e' il nome dato al rivelatore di vertice costruito in vista del Run II del Tevatron

☞ E' il terzo minivertice costruito

→ SVX, DC coupled, 4 strati SS, "Evidence for top"

→ SVX', AC coupled, 4 strati SS, "Top discovery"

☞ Progettazione partita nei primi anni '90

→ sopravvivere a  $2\text{fb}^{-1}$  (circa 1 MRad, strato piu' interno)

→ 5 strati, doppia faccia (punti spaziali)

⇒ estendere le capacità di *b-tagging* dell'esperimento alla zona in avanti ( $|\eta| > 2$ ) ( $2.44\text{ cm} < R < 10.6\text{ cm}$ )

☞ poter essere utilizzata in un trigger alla ricerca di tracce con grande parametro d'impatto

Nel 1996 aggiunti due strati a  $R=20, 28\text{ cm}$  (ISL) e poi (1999) uno strato rad-hard S.S. ad  $R=2\text{ cm}$  (L00)

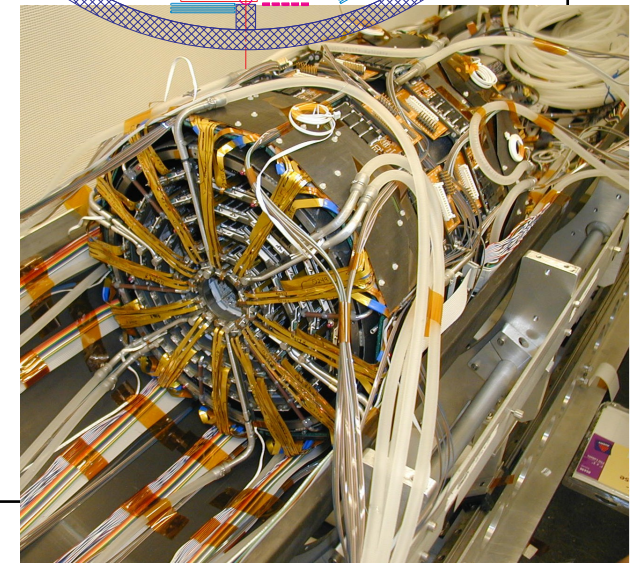
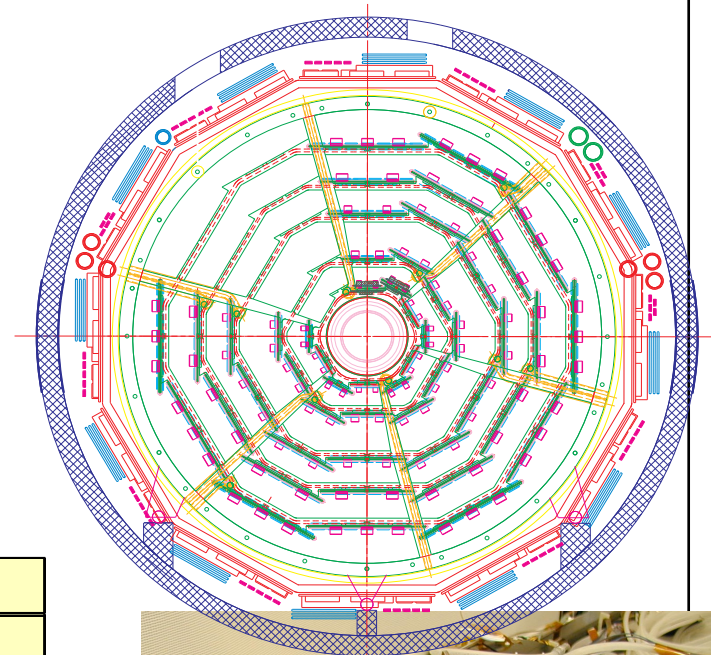
☞ sistema integrato di 7÷8 punti spaziali

⇒ tracciatore

# SVXII

## Main CDF silicon vertex detector

- ☞ ISL, L00 are improvements to SVX II
- ☞ Sensors are DS:
  - ⇒ 3 x 90° layers + 2 x SAS layers
  - ⇒ R- $\phi$  pitch ~ 60  $\mu\text{m}$ ,
  - R-z ~ 60 - 140  $\mu\text{m}$  (SVXII)



### SVX II Parameters

Number of Barrels	3
Active length per barrel	29 cm
Number of layers	5
Readout coordinates per layer	$\phi+z$ / $\phi+\phi'$
Radius of inner and outer layers	2.45 cm, 10.6 cm
Ladders per barrel-layer = $\phi$ sectors	12
Each 1/2 ladder is one electrical unit of length	14.5 cm
Total number of electrical $\phi$ sector wedges	72
Readout channels: $\phi$	211.968
Readout channels: z	193.536
Total	405.504

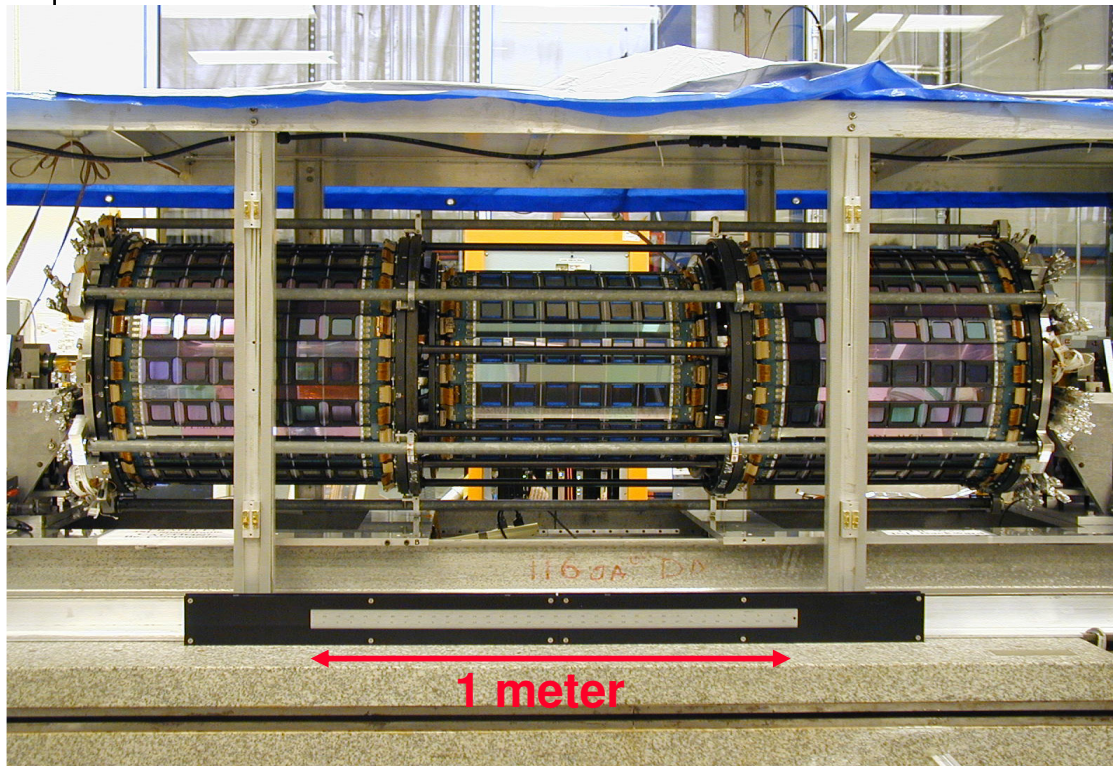
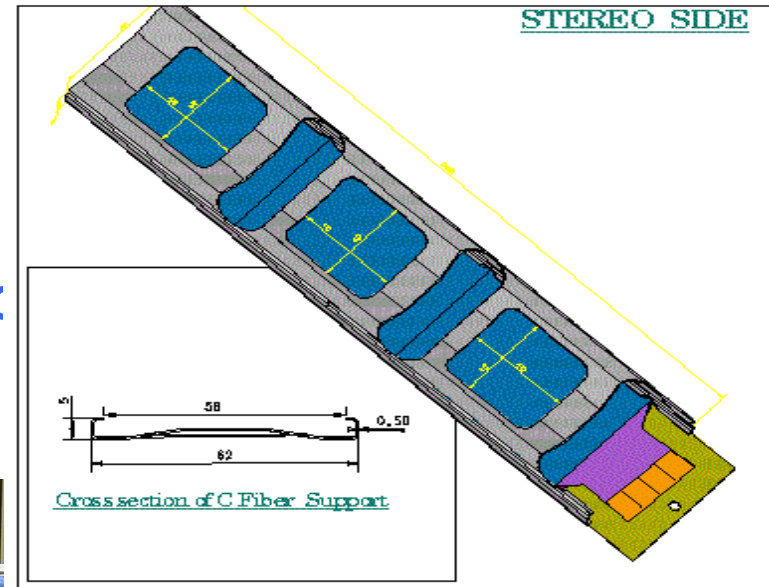
# ISL

Estende SVX II a grande raggio  
(28 cm) e rapidità ( $|\eta| \sim 2$ )

- ☞ raddoppia l'accettanza per *b-tagging*  
e l'identificazione di elettroni/ $\gamma$

Il più grande tracciatore costruito

- ☞ La struttura di supporto è una sfida



## • Sensori:

- ☞ doppia faccia tutti con angolo stereo a piccolo angolo
- ☞ 112  $\mu\text{m}$  pitch

## • Supporto

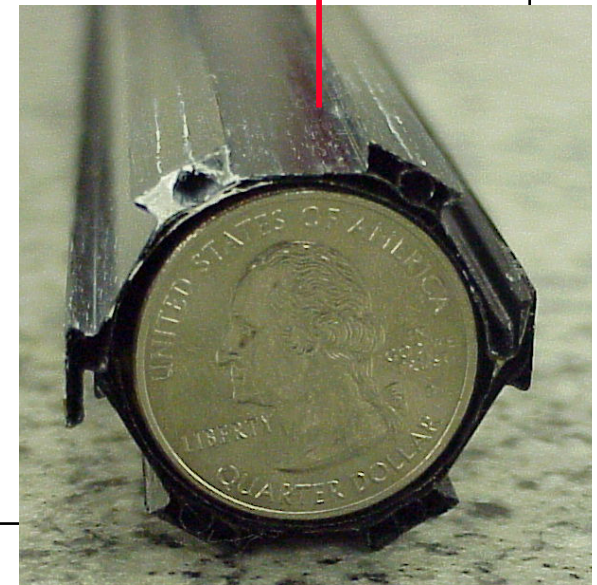
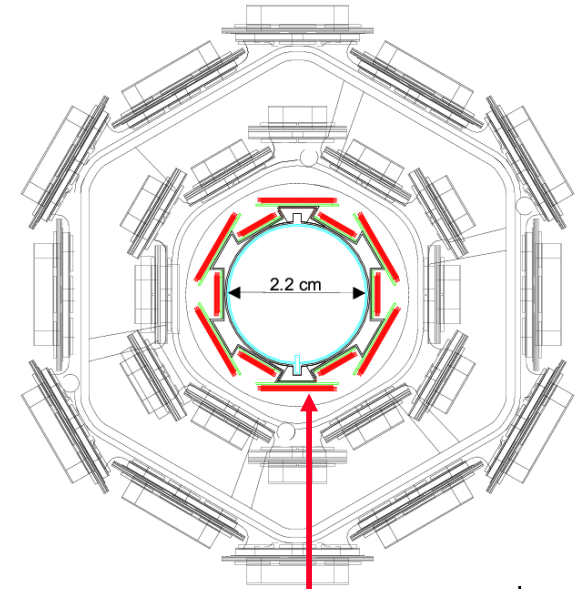
- ☞ struttura in fibra di carbonio a basso peso ed alta rigidità



# LOO

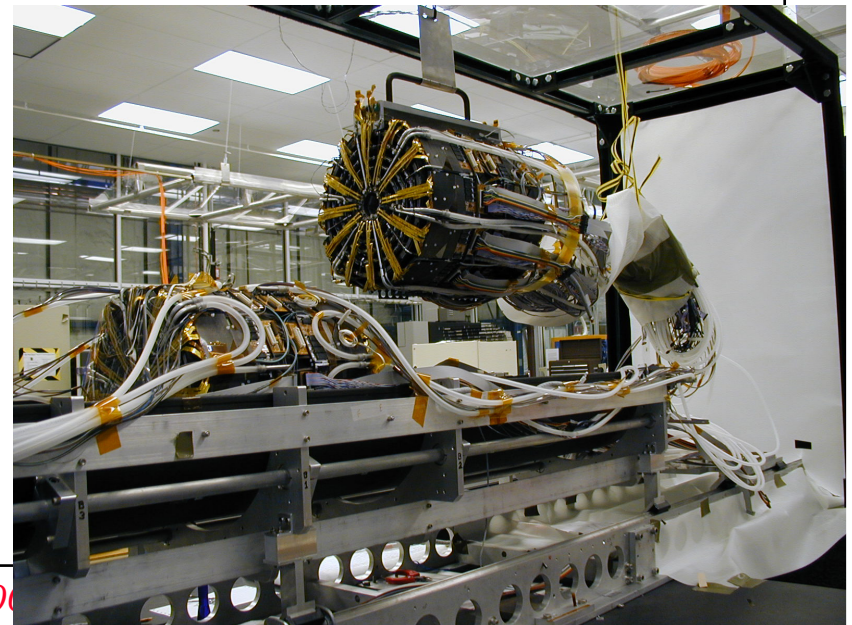
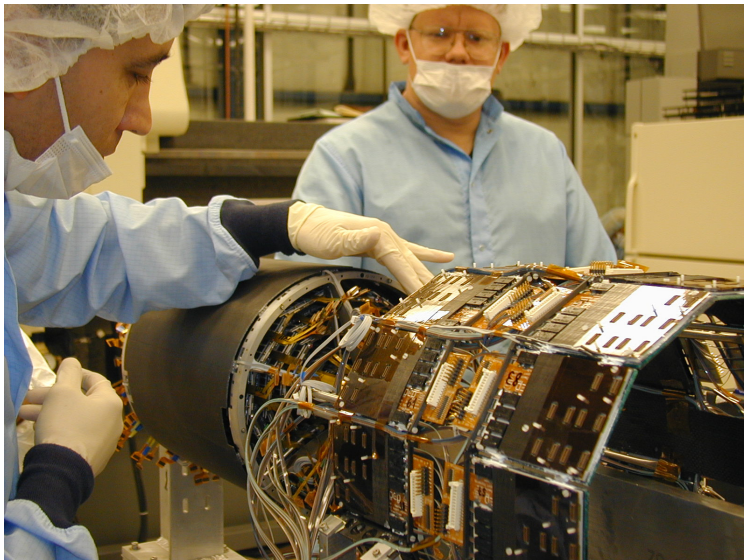
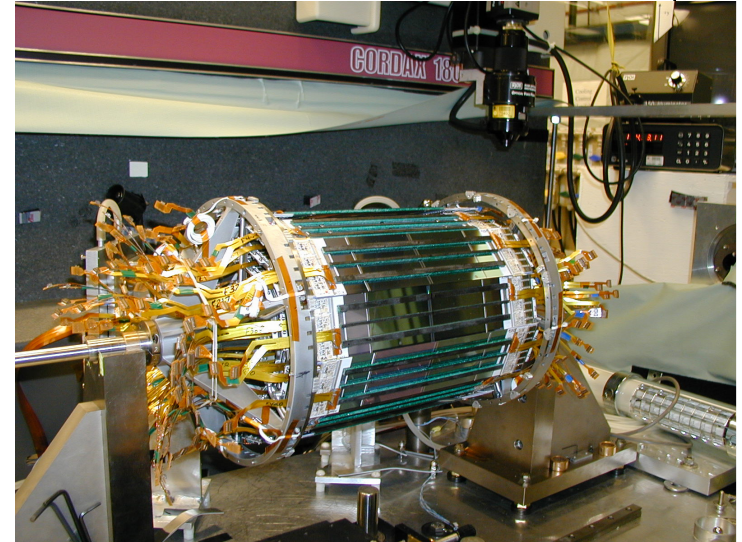
## Rivelatore più interno di CDF:

- ☞ Migliora la risoluzione in parametro d'impatto a basso  $p_T$
- ☞ Sensori connessi ai chips da cavi di Kapton (fino a 40 cm) per evitare materiale nella regione di tracciatura
- ☞ Sensori:
  - ⇒ Single sided - accoppiati in AC
  - ⇒ 25  $\mu\text{m}$  pitch, 50  $\mu\text{m}$  readout
  - ⇒ Struttura rad-hard ( $V_{\text{max}} \sim 500 \text{ V}$ )
  - ⇒ 128 o 256 canali di lettura/sensore
  - ⇒ usati 144 sensori
  - ⇒ Sensori raffreddati a 0 °C per ridurre gli effetti della radiazione



# SVX II

Varie fasi  
dell'assemblaggio dei  
*barrels* di SVXII e della  
loro installazione



Fermilab, Agosto 200



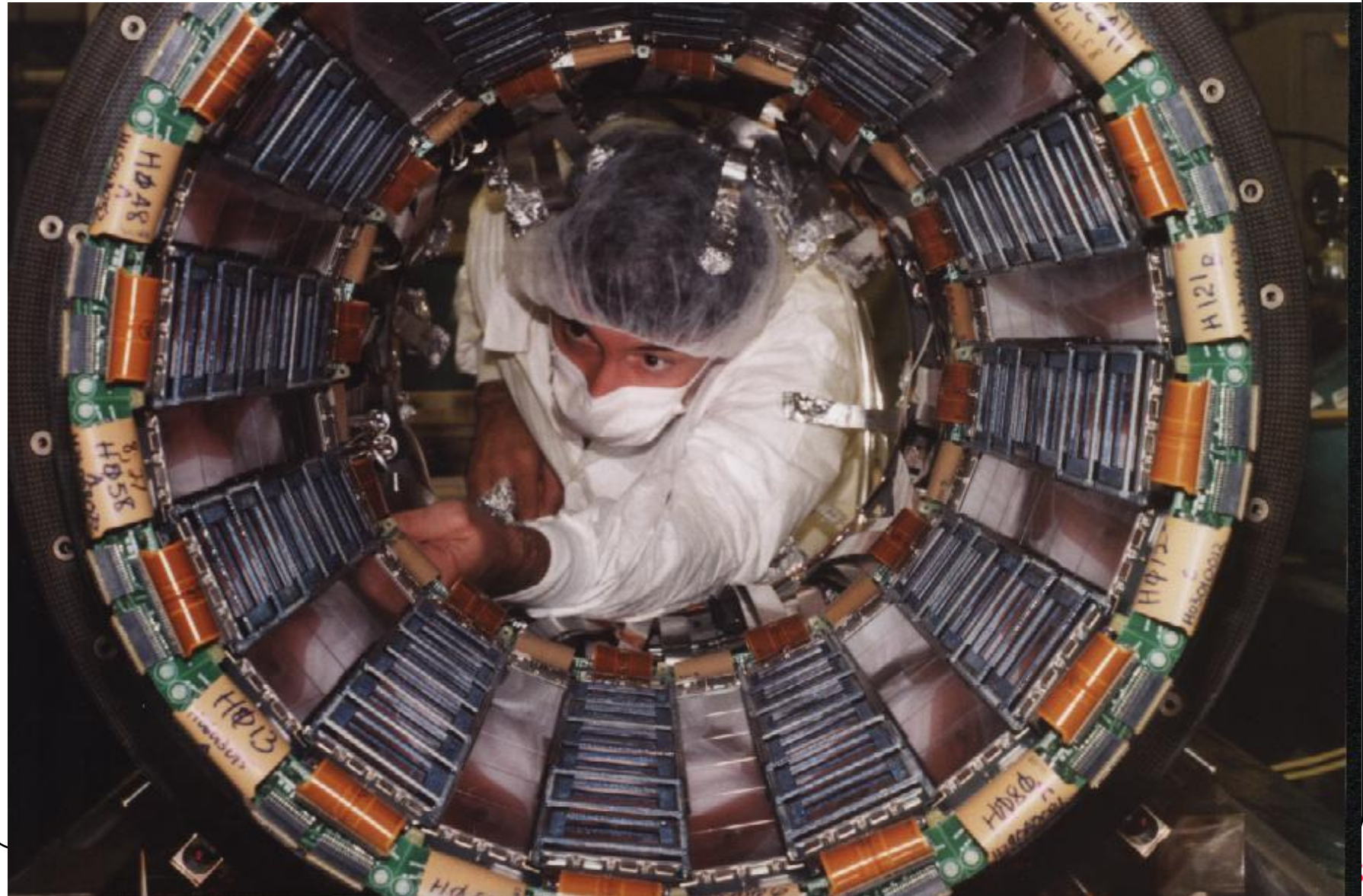
# SVX II

## Installation in ISL





# ISL

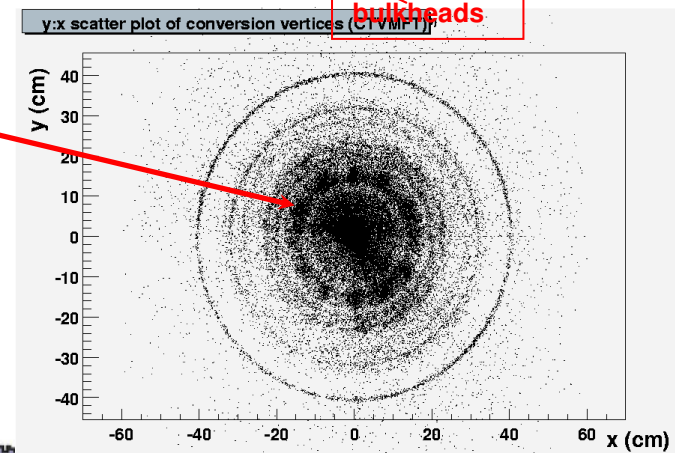
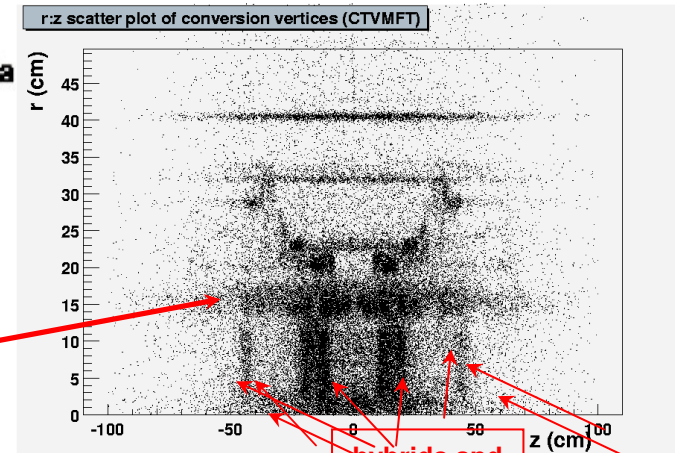
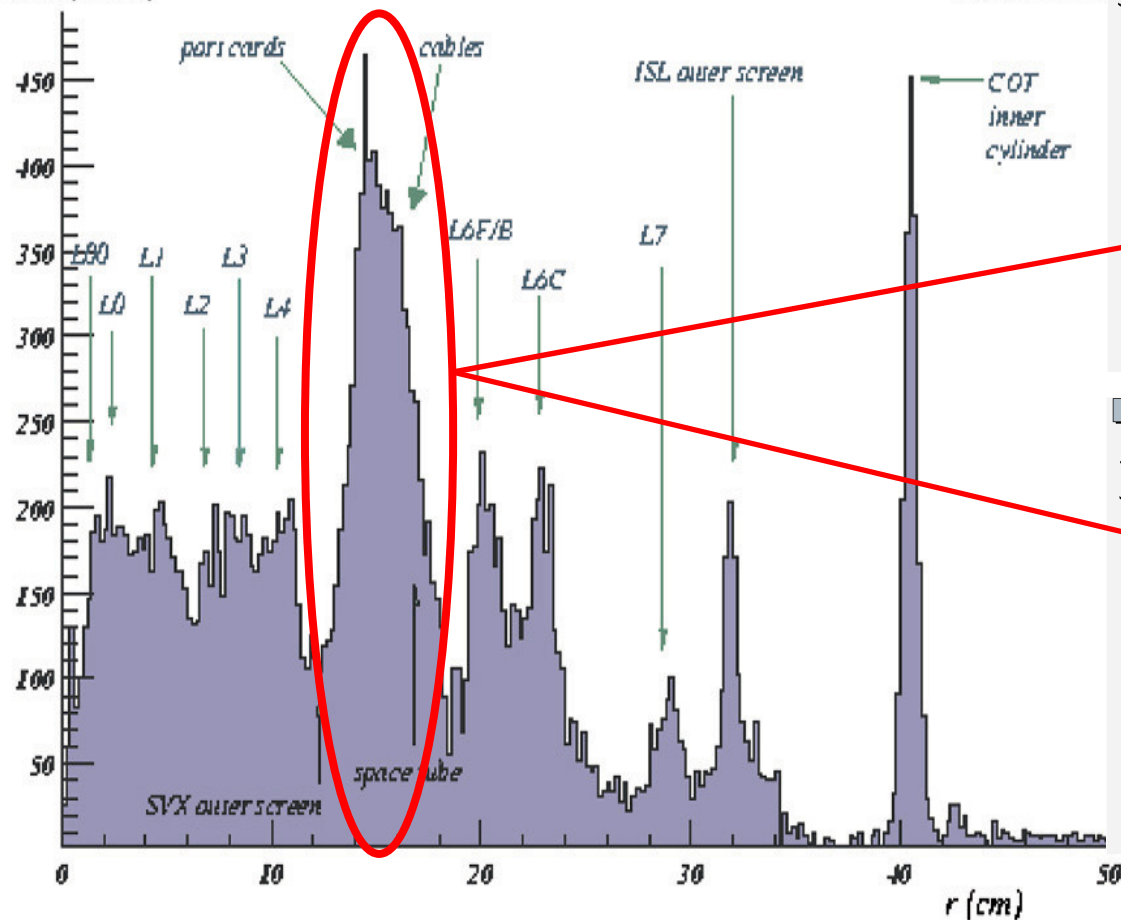


# Material budget: il silicio conta poco

Radiografia di un esperimento con le conversioni dei  $\gamma$

r (CTVMFT) after sideband subtraction

(zero bin suppressed)



L'elettronica costituisce una fonte di *noise* per il pattern recognition



# Conclusione

La vera ricchezza di un esperimento

