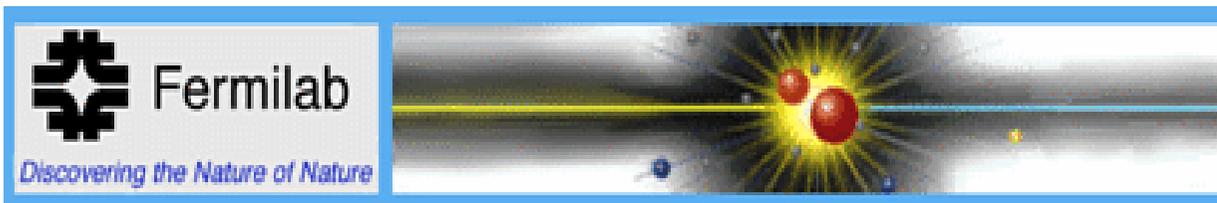


L'esperimento CDF-II



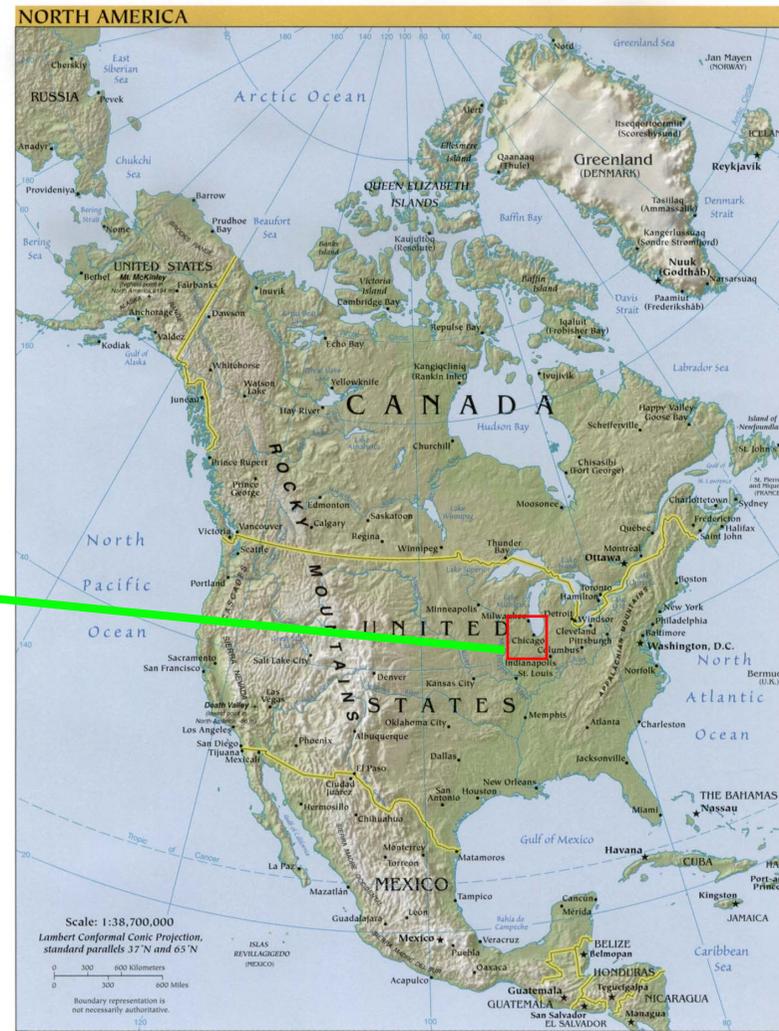
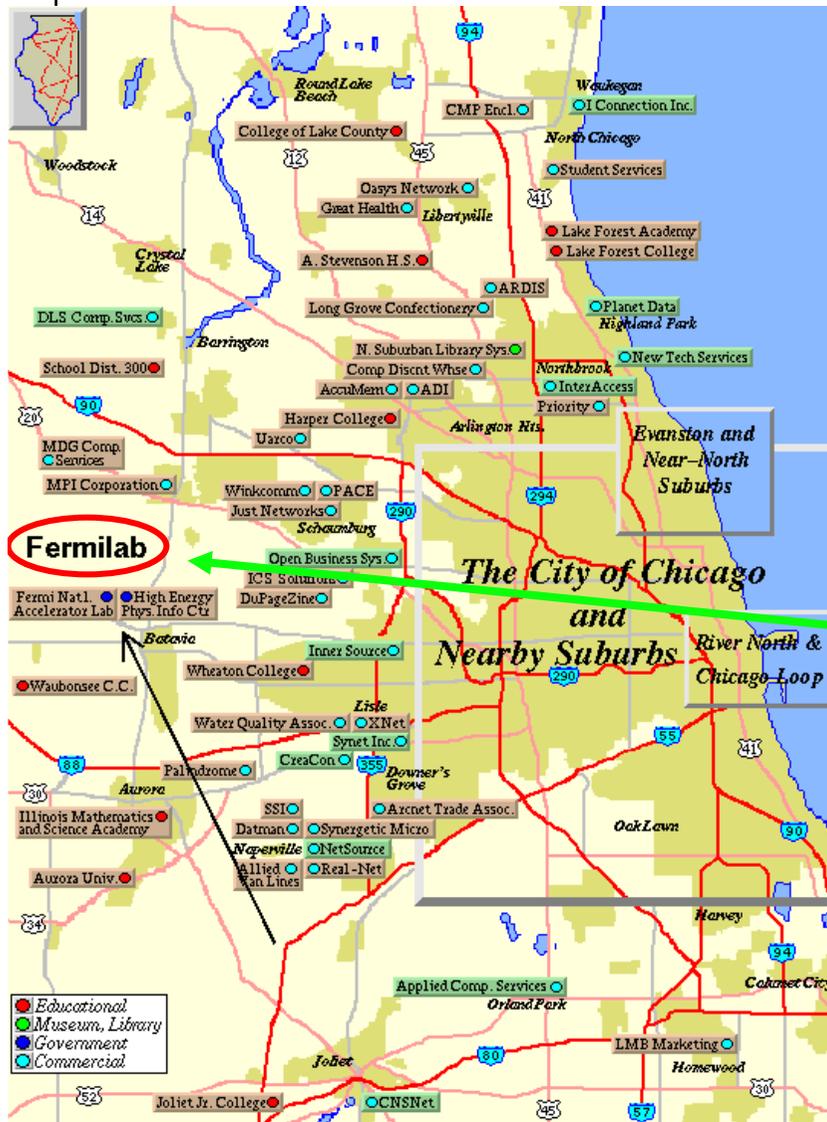
Giorgio Chiarelli
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Pisa



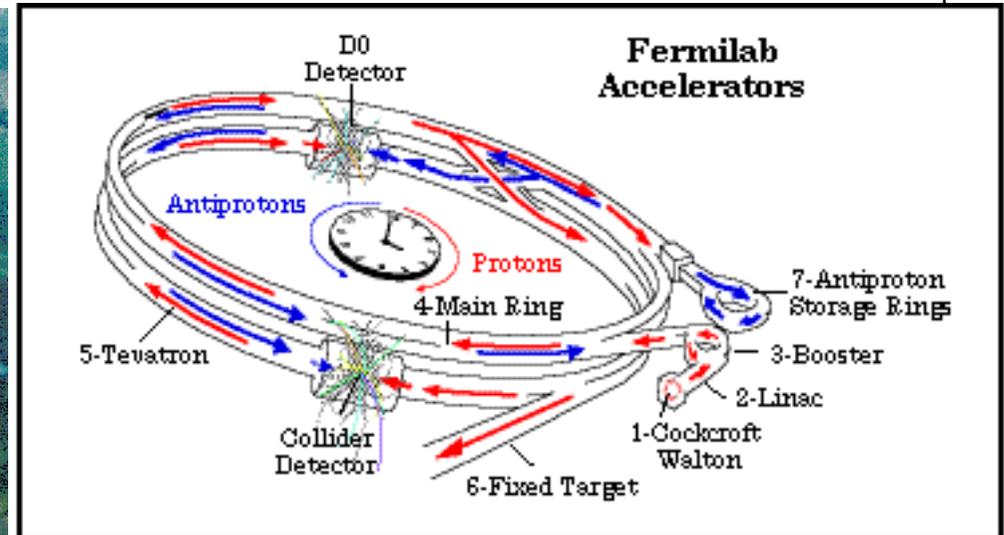
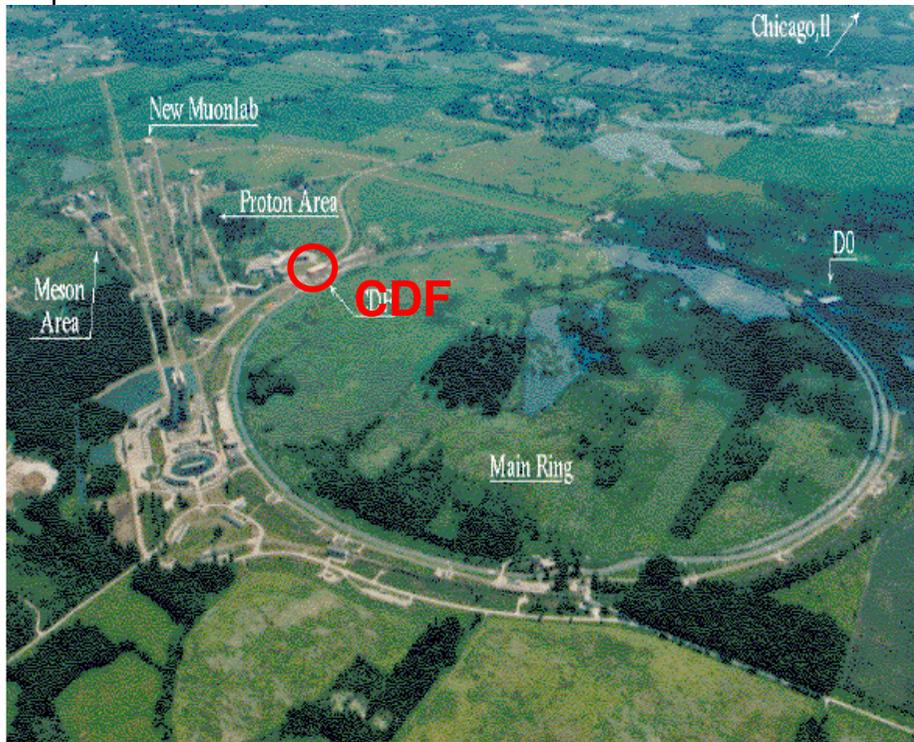
<http://www.pi.infn.it/~giorgio>



Si trova a Fermilab...

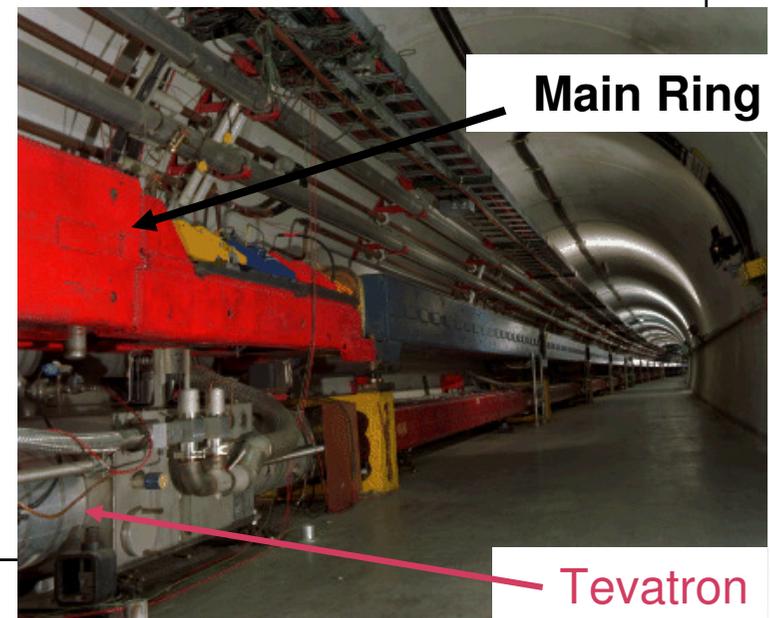


Il Tevatron opera da >20 anni

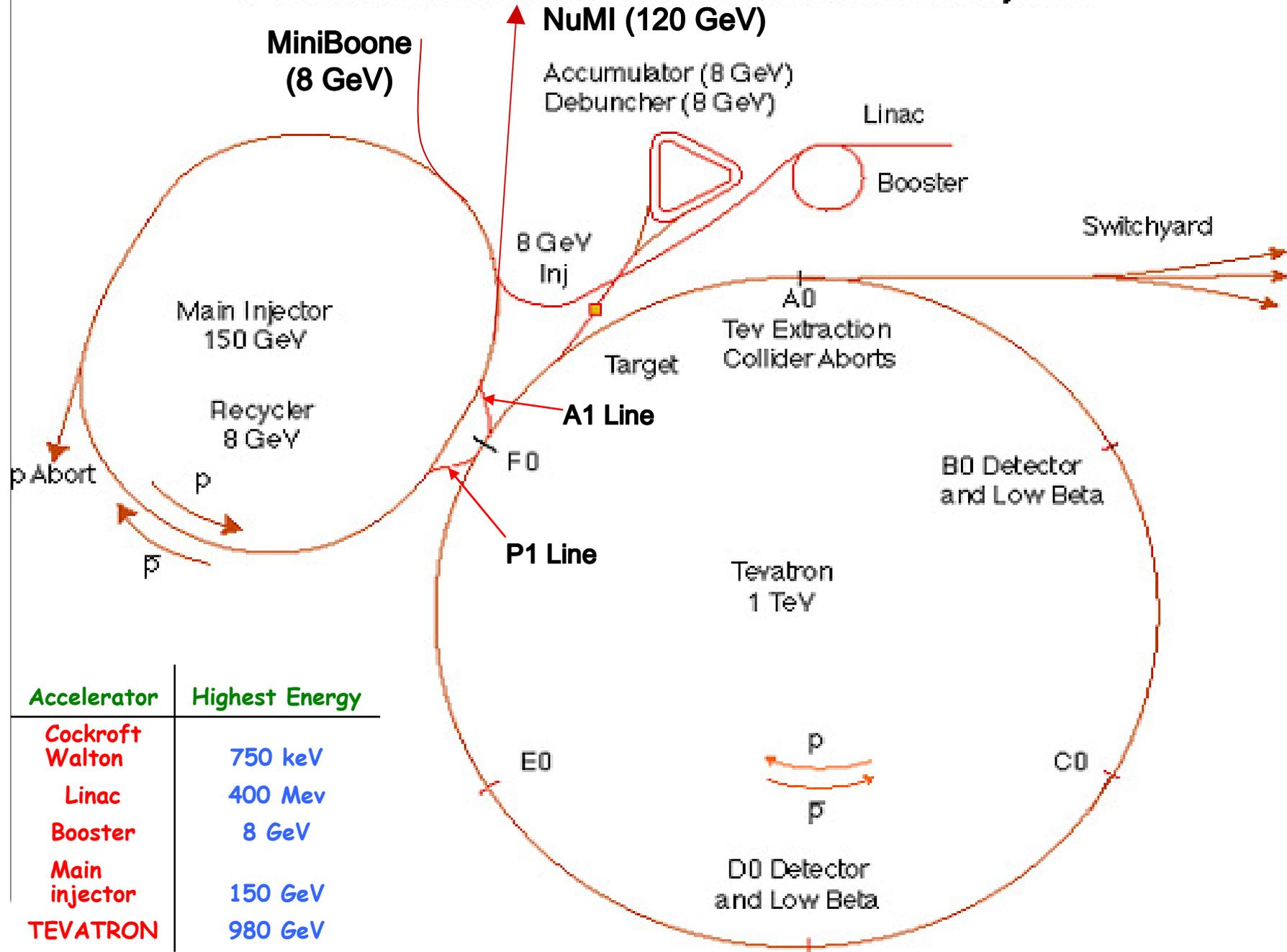


Anello superconduttore di 2π Km, Proton - antiproton
Energia cm 1800 GeV
Lum.di disegno $\sim 10^{30} - 10^{31}$
2007: $>2.5 \times 10^{32}$

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:

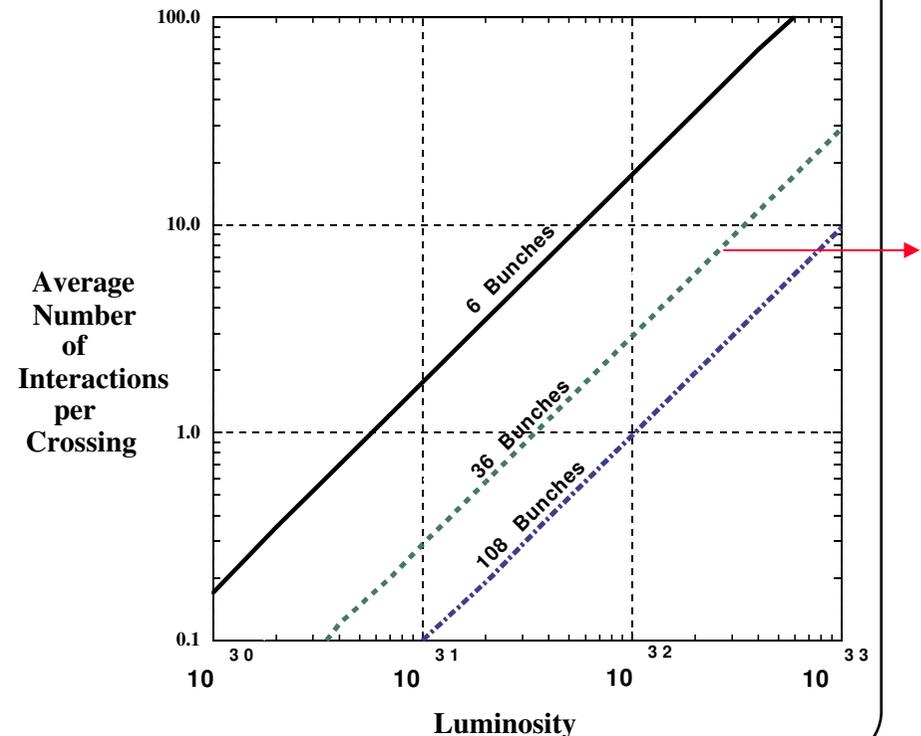
- ☞ $E_{beam}=900 \text{ GeV}$ (Run I),
 980 GeV (Run II)
- ☞ Luminosità istantanea=

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

- ☞ Parametri critici: b , ϵ_p ,
 ϵ_{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

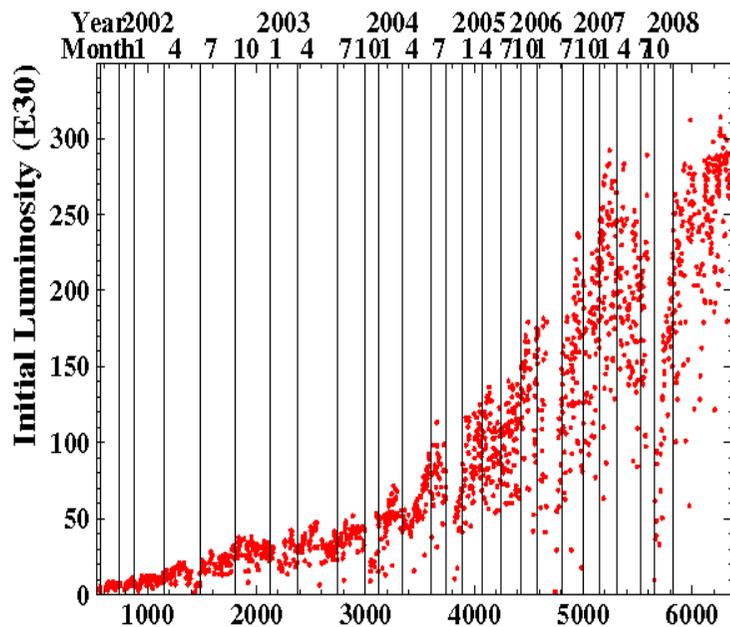
$$L = \frac{10^{-6} fBN_p N_{pb} (6\beta_r \gamma_r)}{2\pi\beta^* (\epsilon_p + \epsilon_{pb})} H(\sigma_l / \beta^*) (10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

	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 β	0.60	0.81	
P emittance	20	20	π mm-mr
Pbar emittance	18	15	π 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	$\text{pb}^{-1}/\text{week}$

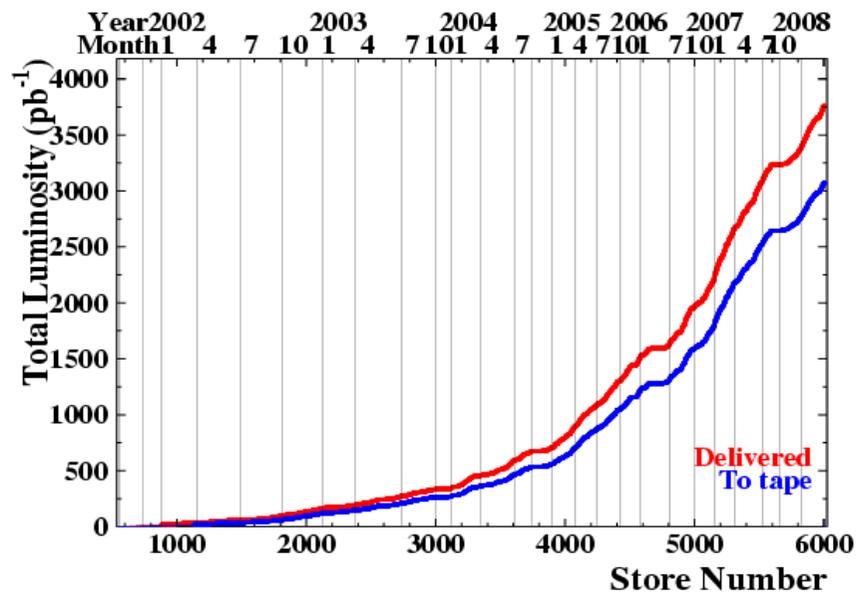
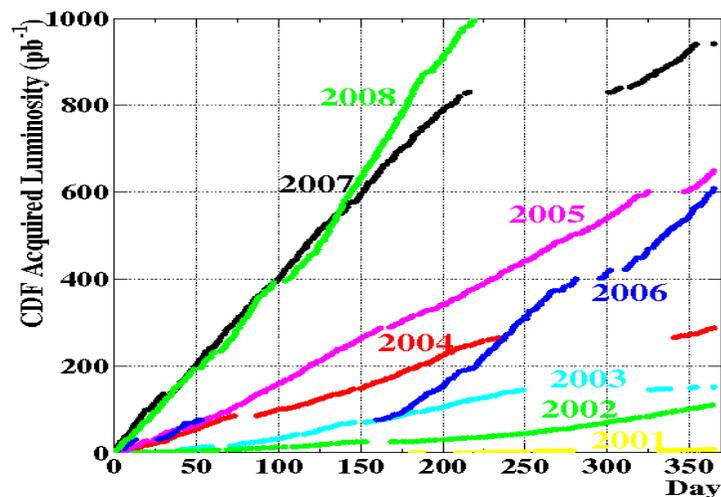
Running with 36x36 bunches

Run II Luminosity

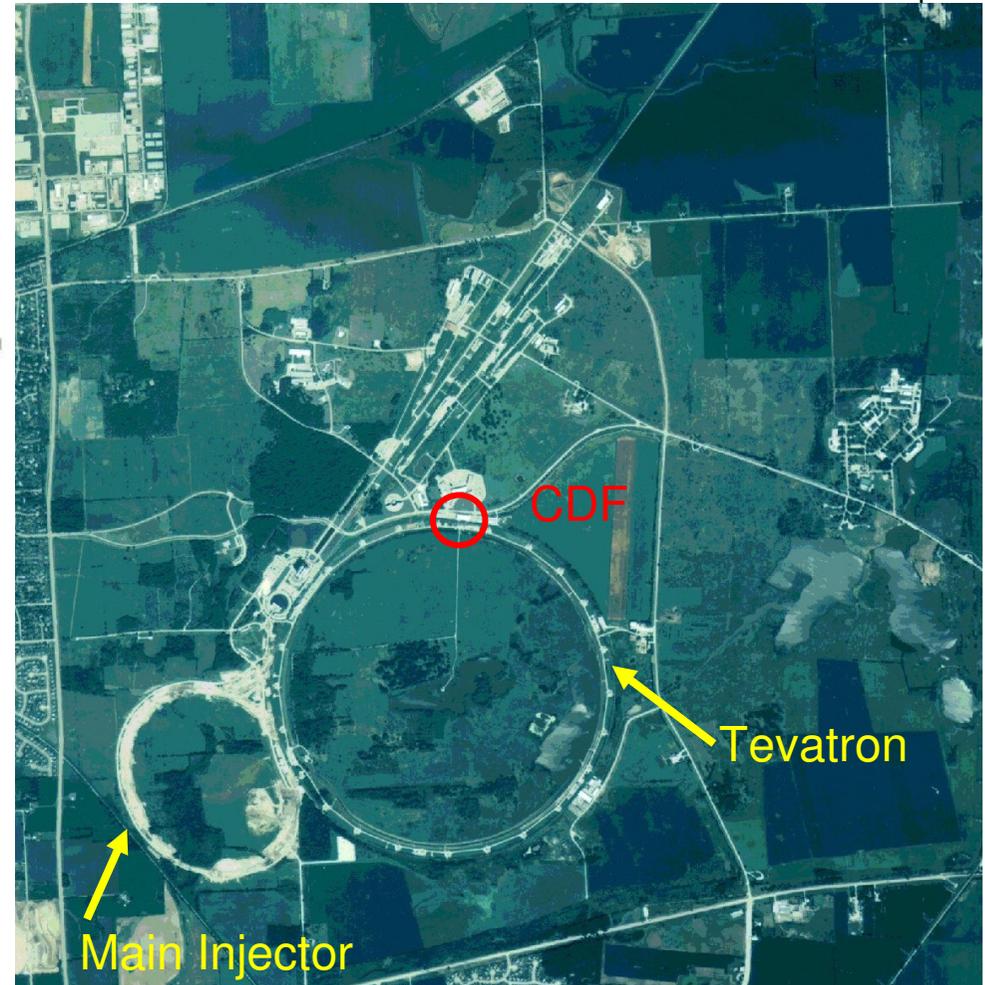
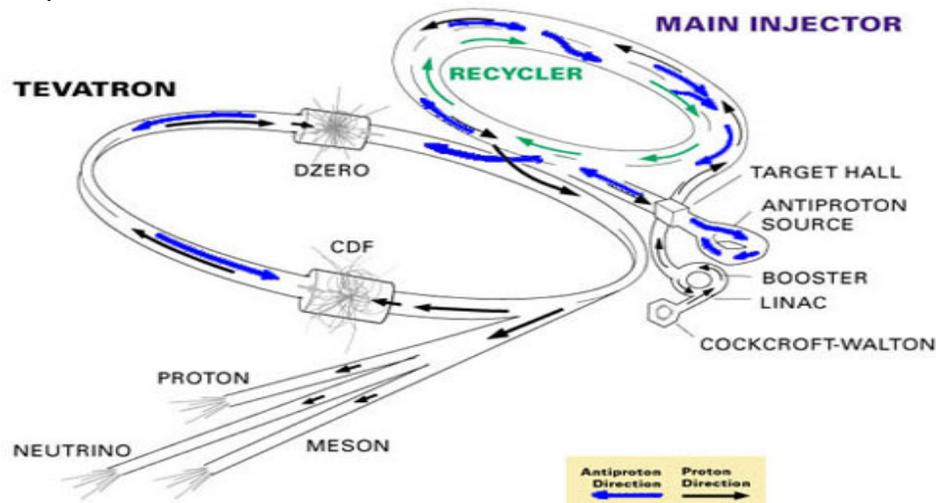
updated Aug. 11, 2008



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...)

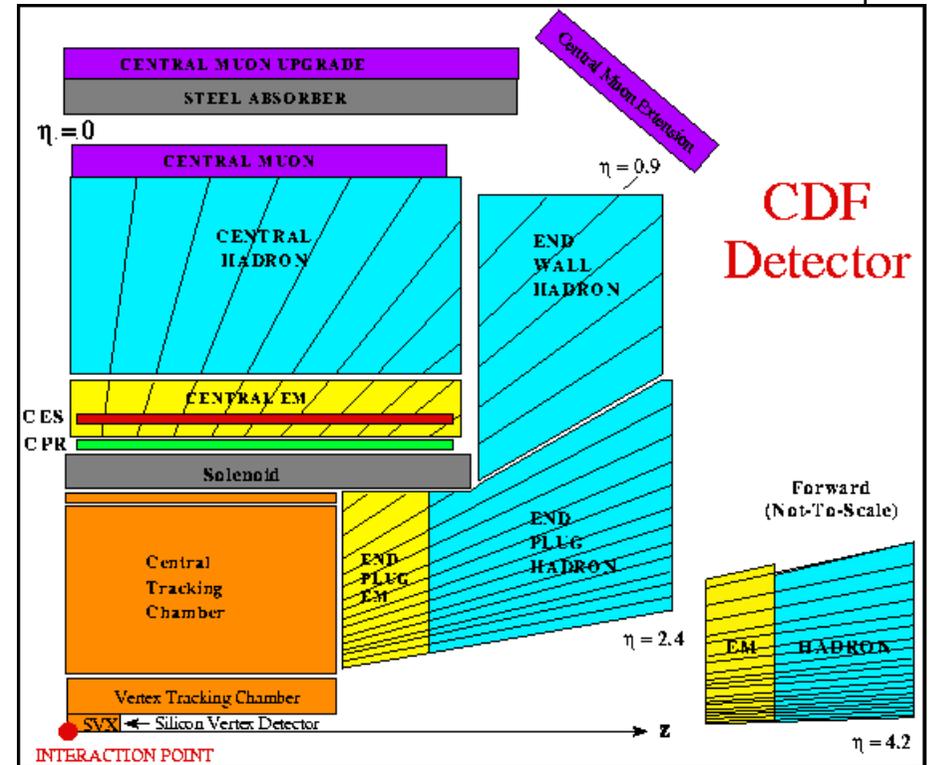
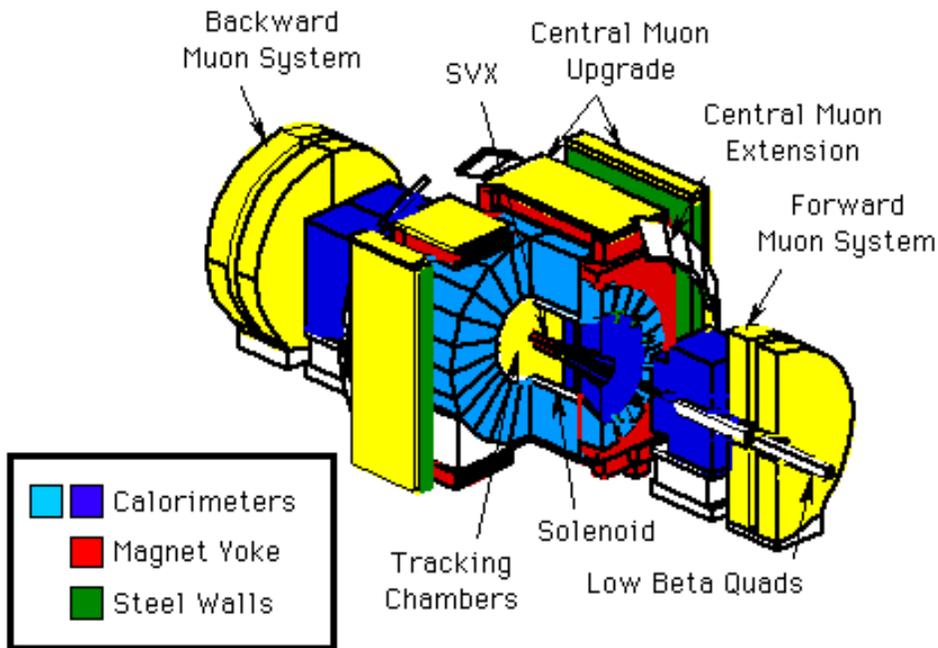
Un esperimento di successo: 1985-1996

- ☞ >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
 - ⇒ **umentata la copertura, Double Sided (veri)**
- ☞ Aggiunto un tracciatore intermedio (grande η)
- ☞ Implementazione trigger vertici secondari
- ☞ Ricostruita elettronica di FE (interbunch da $3.5\mu\text{s}$ a 132 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

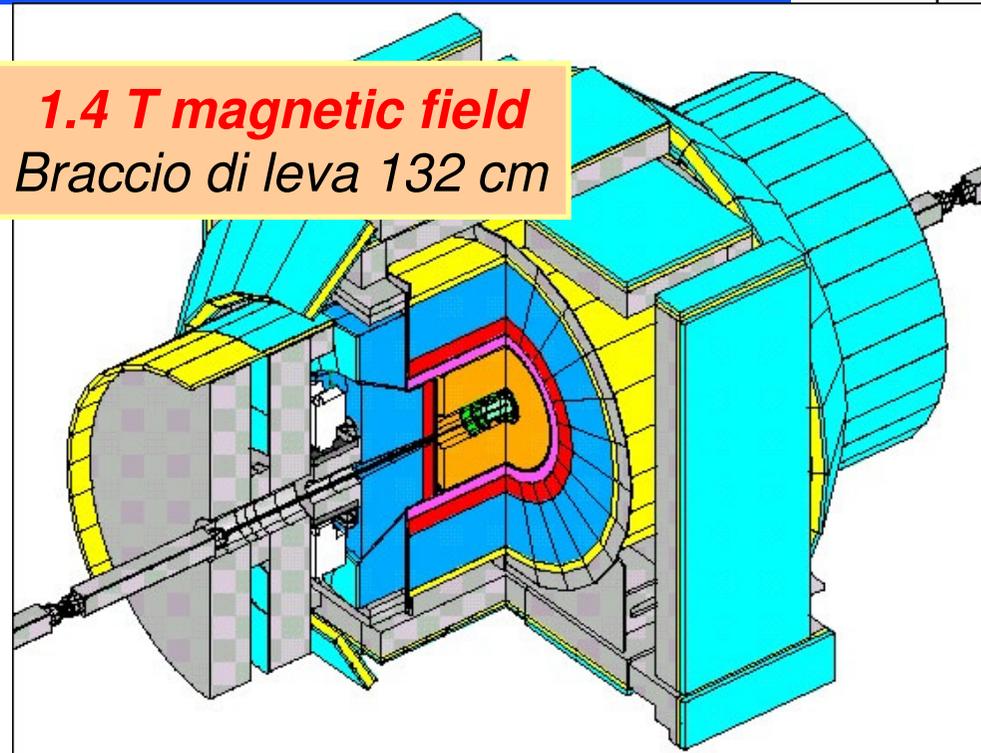
- ☞ Codice riscritto in C++...

CDF II

Elettronica FE, DAQ e trigger rifatti

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

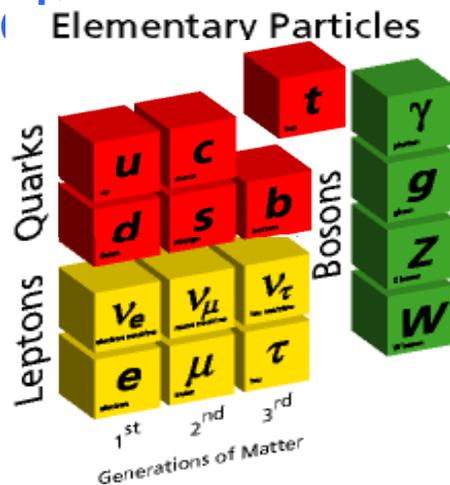
1.4 T magnetic field
Braccio di leva 132 cm



- 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.



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

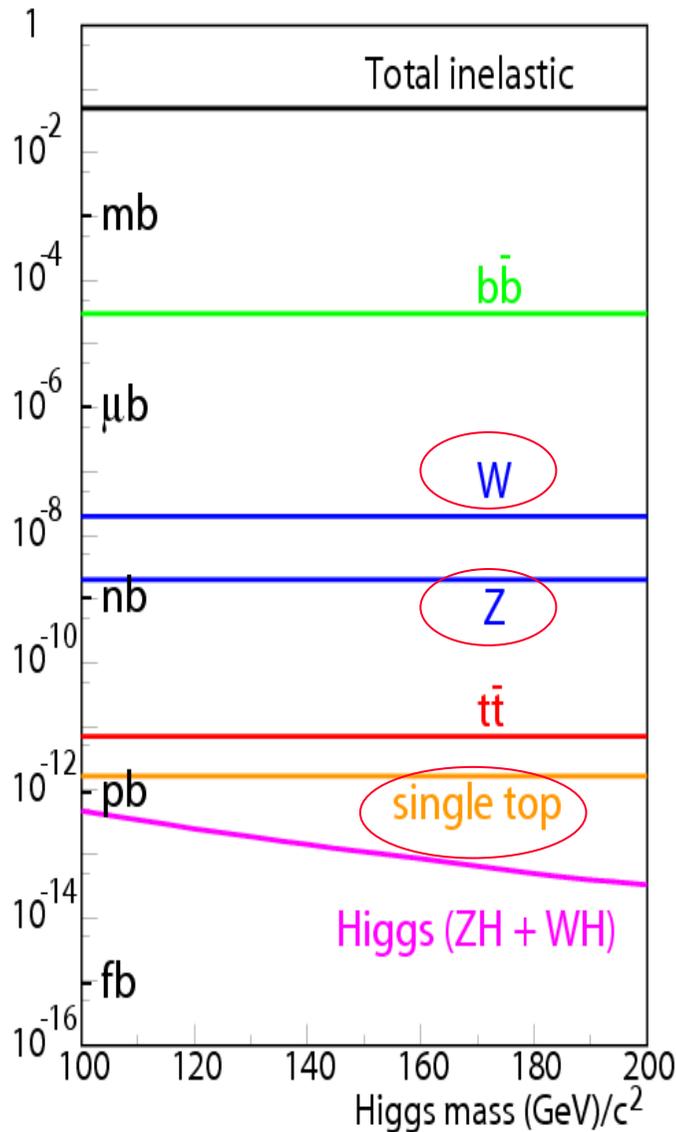
- Un pò di fisica EWK
- Massa del W
- Higgs?

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?

Il contesto

Production cross-section (barns)



In 1 fb^{-1}

1×10^{11}

6×10^6

6×10^5

14,000

5,000

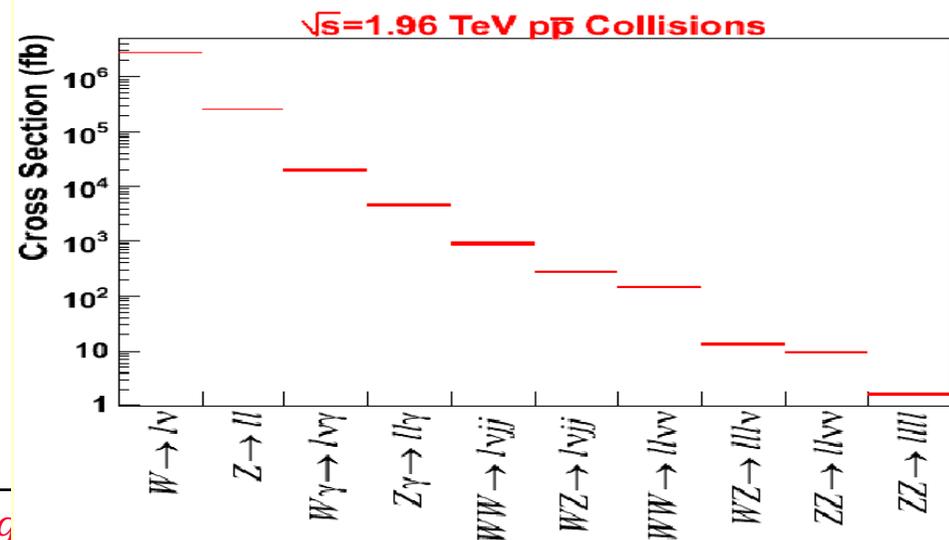
100 ~

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 \Rightarrow Tough life
- ...si può scendere la scala a sinistra.. \Rightarrow 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 μ 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

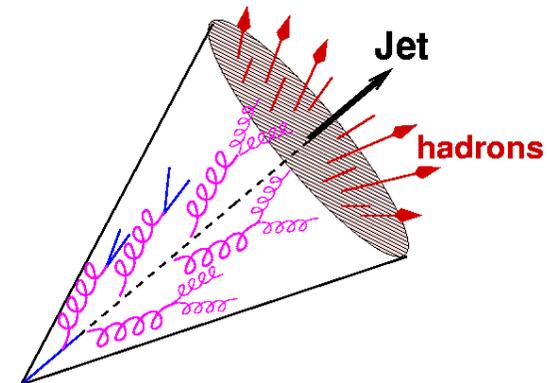
L'hard scattering non è tutto!

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

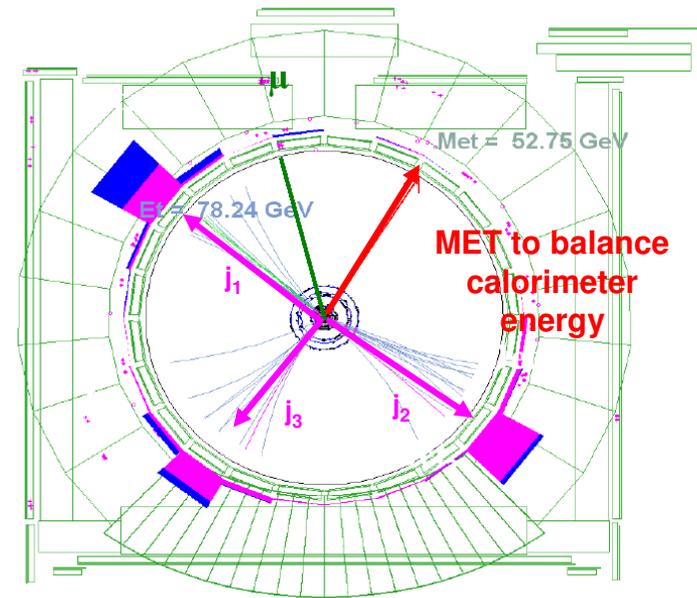
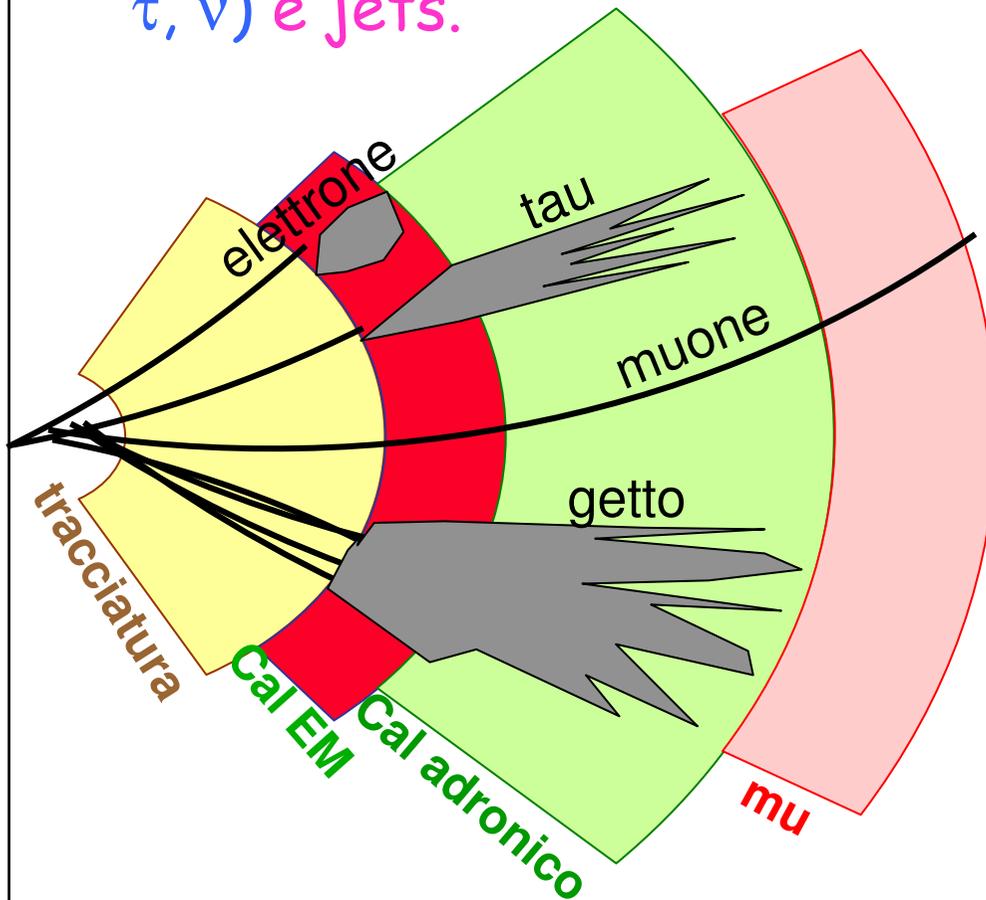
- ☞ Tutto quello sopra scritto

Beyond

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

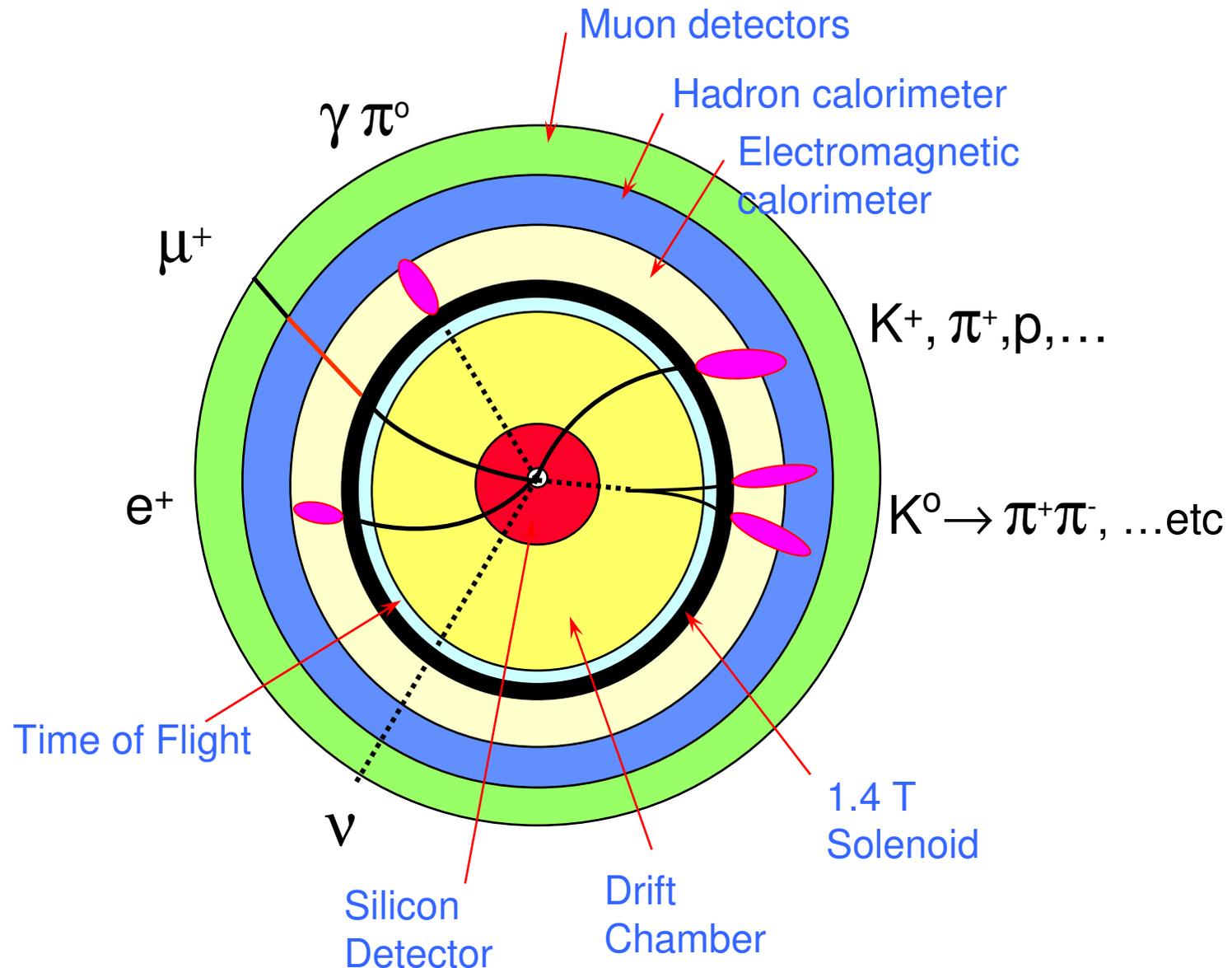
Tevatron Experimental Signatures

Fisica EWK e Top
Physics è fatta per lo più
con **high p_T leptons** (e, μ ,
 τ , ν) e **jets**.



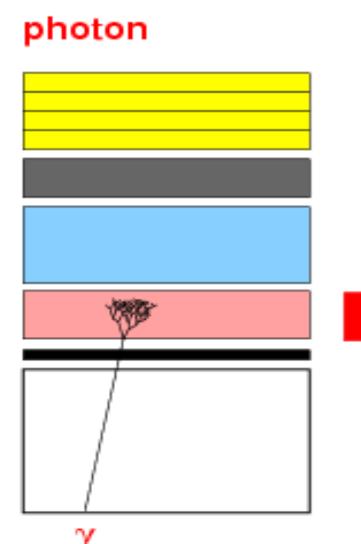
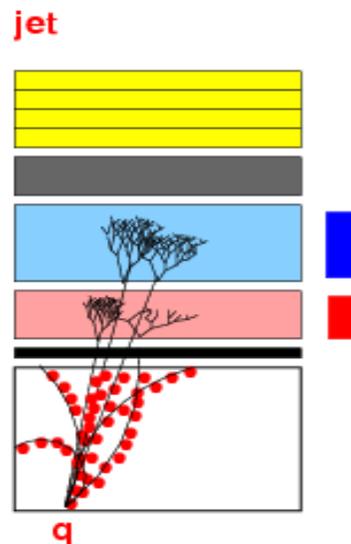
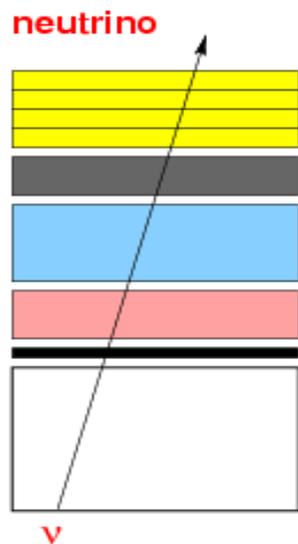
La presenza di neutrini è
segnalata da **Missing
Transverse Energy
(MET)** nel calorimetro

De-costruzione di un esperimento

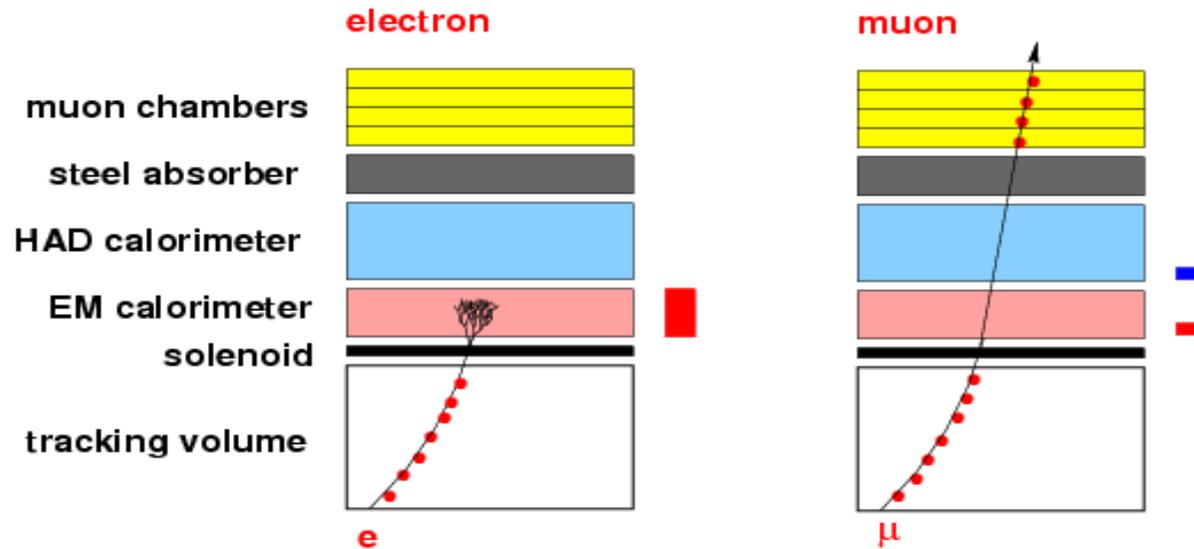


Principi del PID

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:

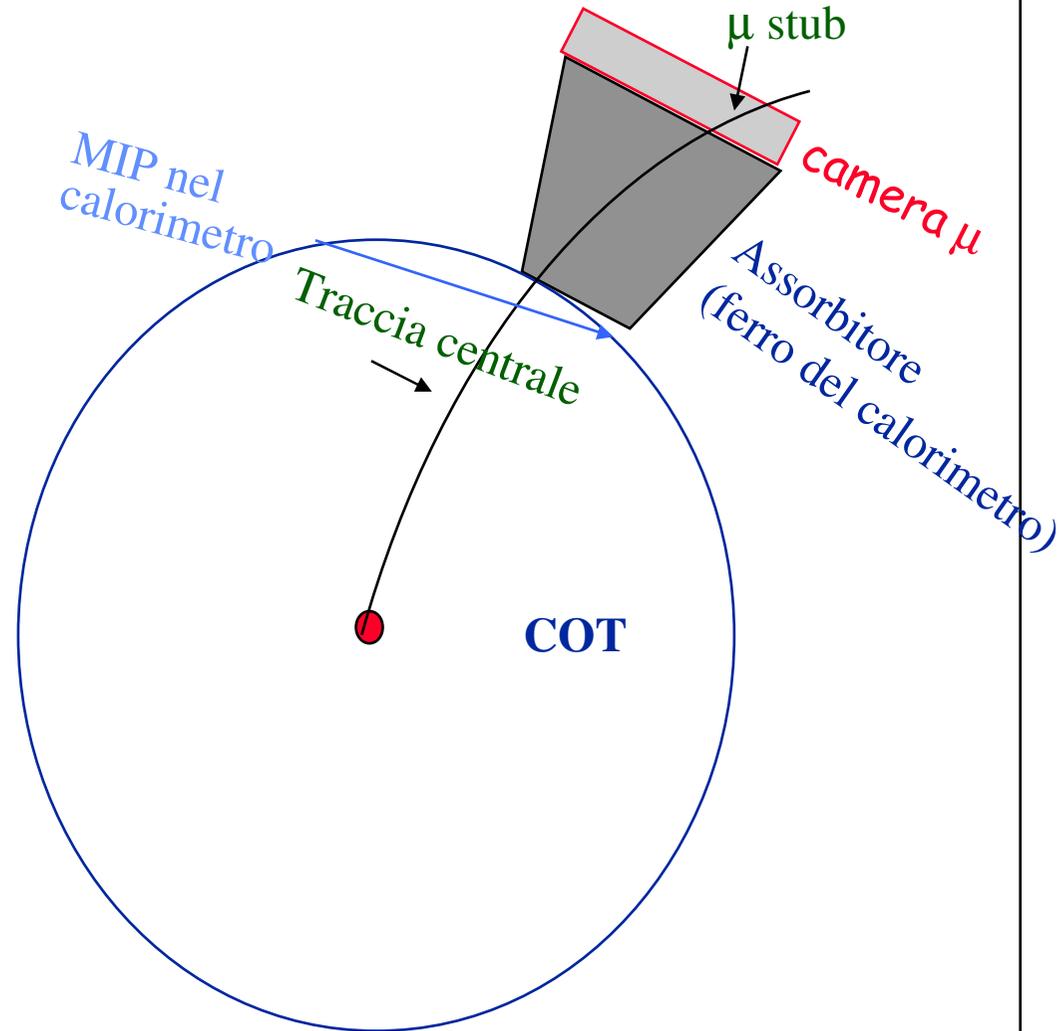
- ☞ Camera di tracciatura centrale:
 - ⇒ Traiettoria, impulso
- ☞ Calorimetro
 - ⇒ Energia (m.i.p.)
- ☞ Camere dei mu
 - ⇒ Traiettoria (stub)

Richiedere:

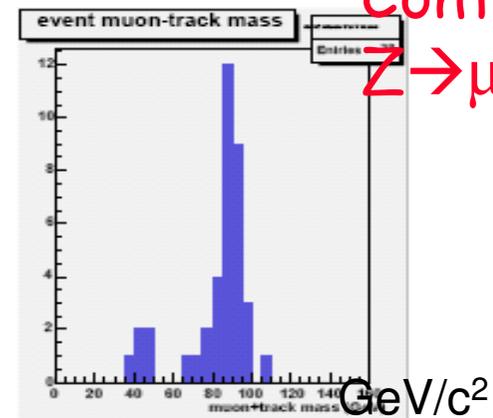
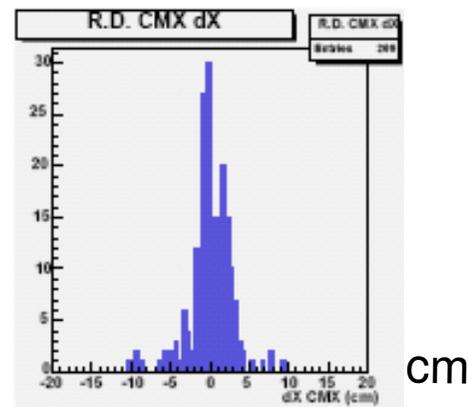
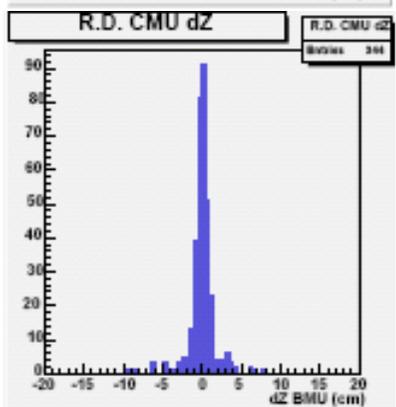
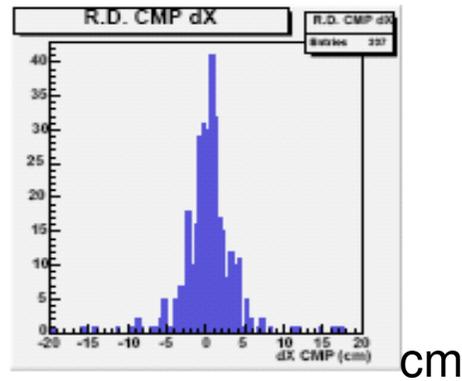
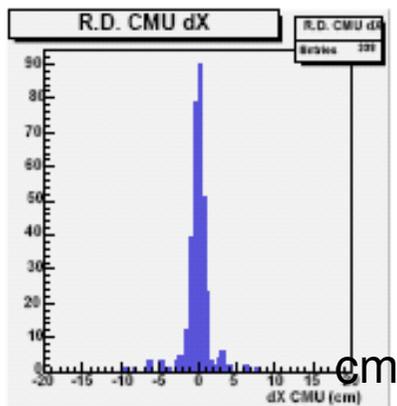
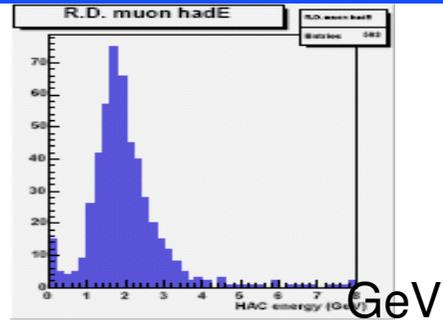
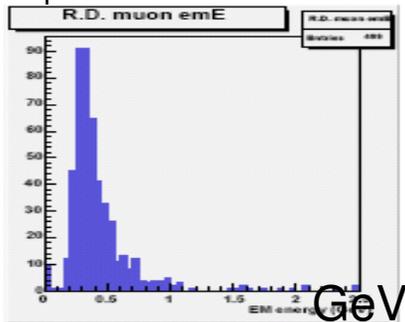
- ☞ MIP nelle torri del calorimetro cui punta la traccia
- ☞ Angolo e posizione della traccia matching con lo stub

Fondi:

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



μ definition cuts



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

L'elettrone

Misure:

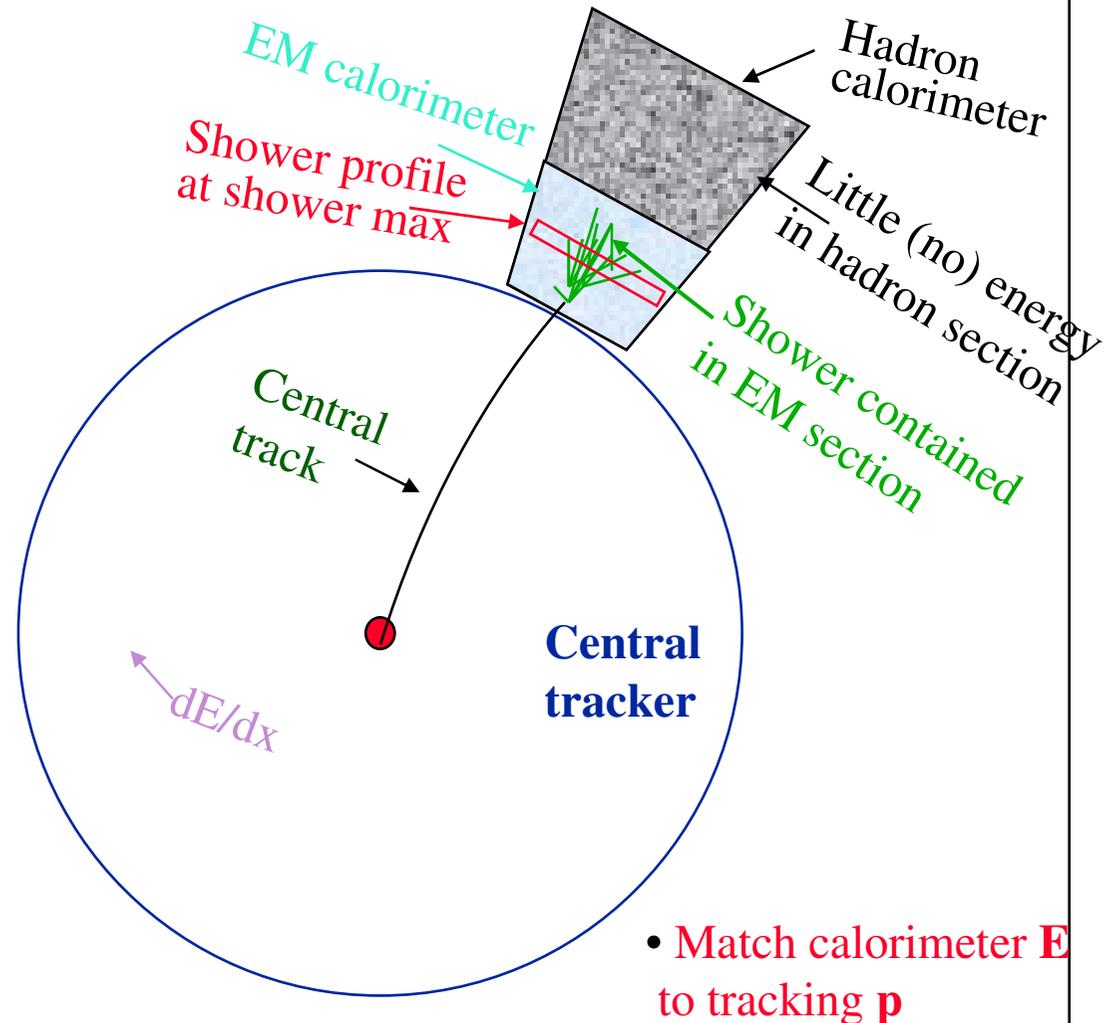
- ☞ Tracciatura centrale:
 - ⇒ Impulso
 - ⇒ Traiettoria
 - ⇒ dE/dx
- ☞ Calorimetro:
 - ⇒ Energia nella sezione EM e HAD (EM/HAD)
- ☞ Shower max chambers:
 - ⇒ Profilo dello sciame

Richiede:

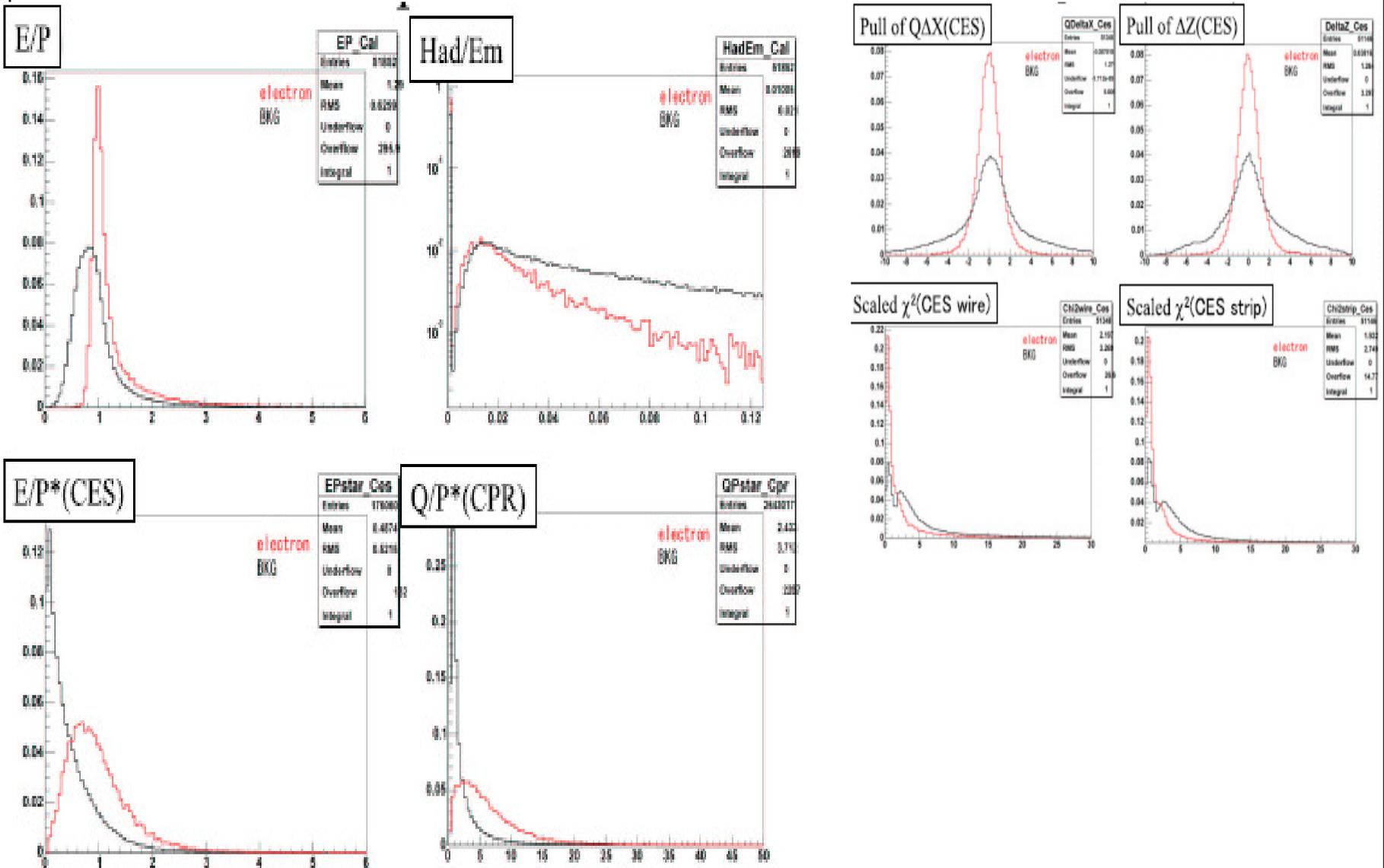
- ☞ Cluster EM
- ☞ Poca energia in sezione H
- ☞ Traccia-cluster match
- ☞ Match energia-impulso
- ☞ dE/dx e profilo sciame

Fondi:

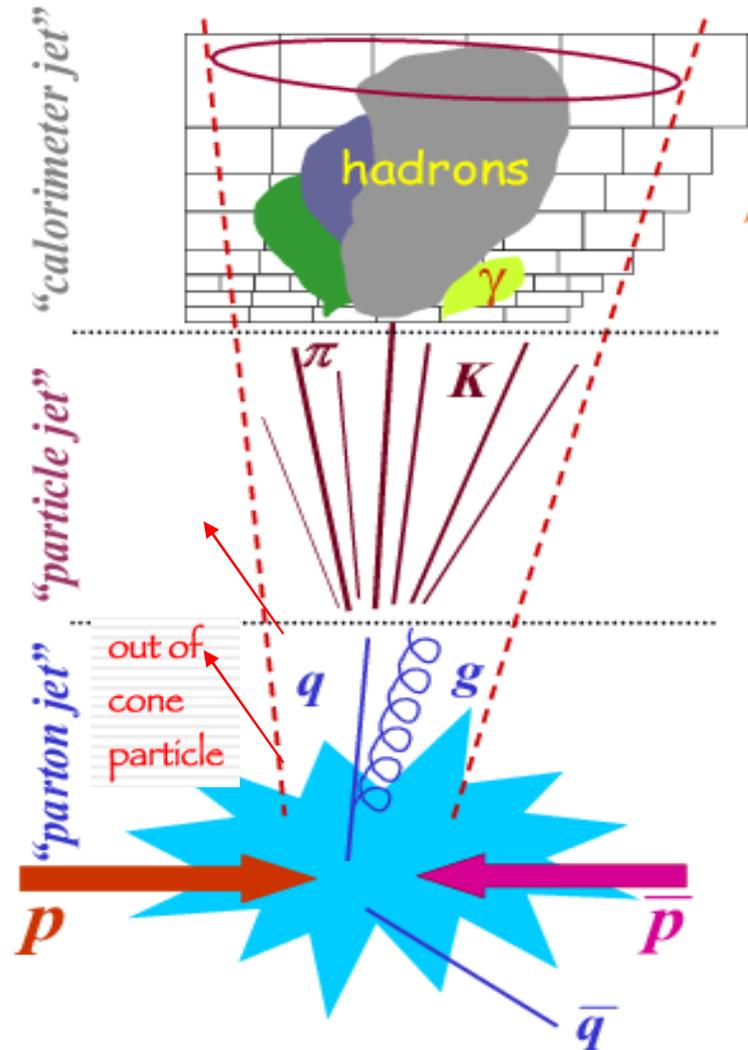
- ☞ π_0 , adroni inter. presto, conversioni γ



e^\pm definition cuts



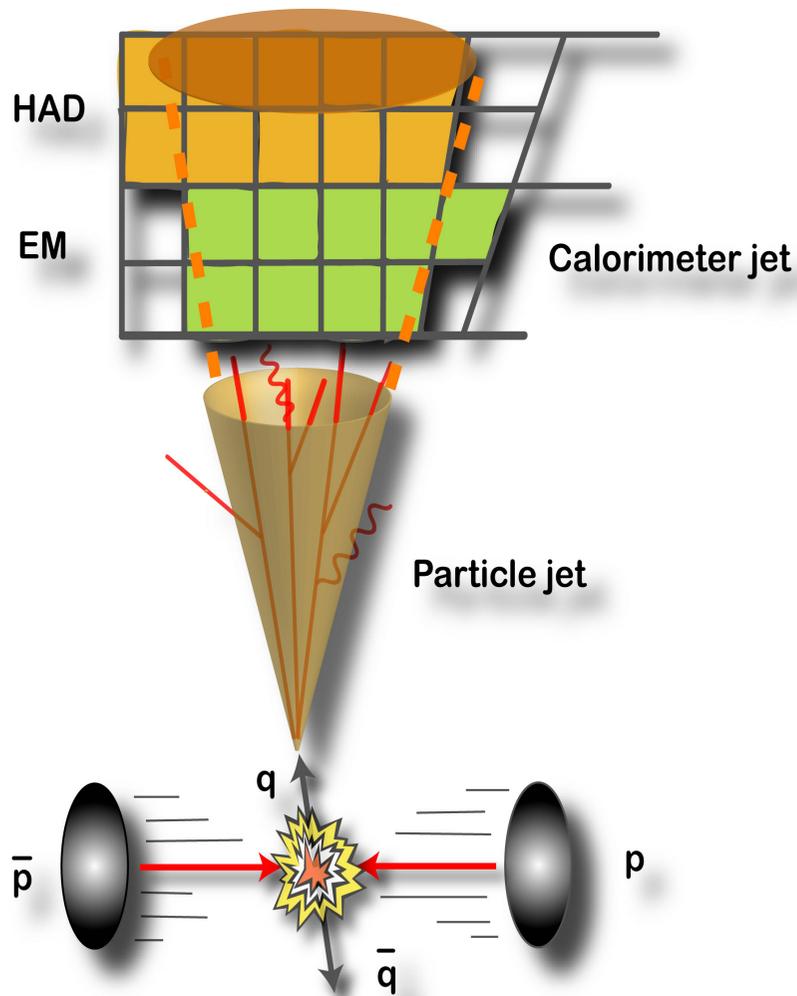
Ricostruire i quark -I



Un jet è un oggetto complicato:

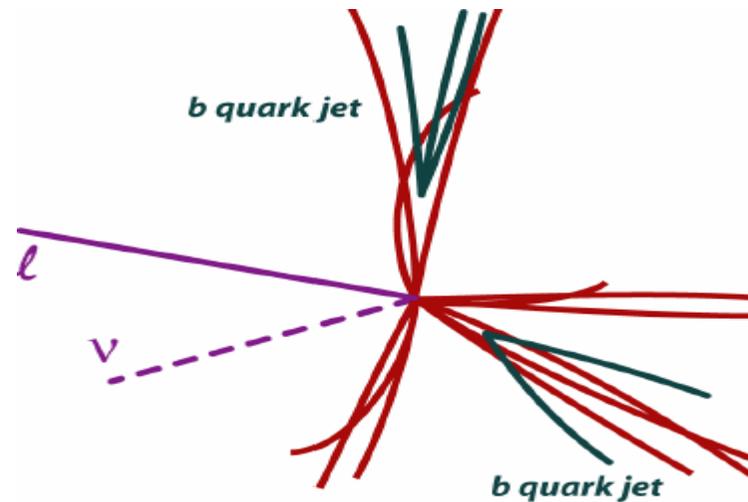
- Misurato da: torri calorimetriche
- Definito da un algoritmo di clustering
- Fare analisi con i jet implica che l'energia del jet sia convertita all'energia del partone genitore
- Per andare da **jet energies** a **parton energies** dobbiamo correggere:
 - Effetti strumentali
 - Effetti di fisica
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

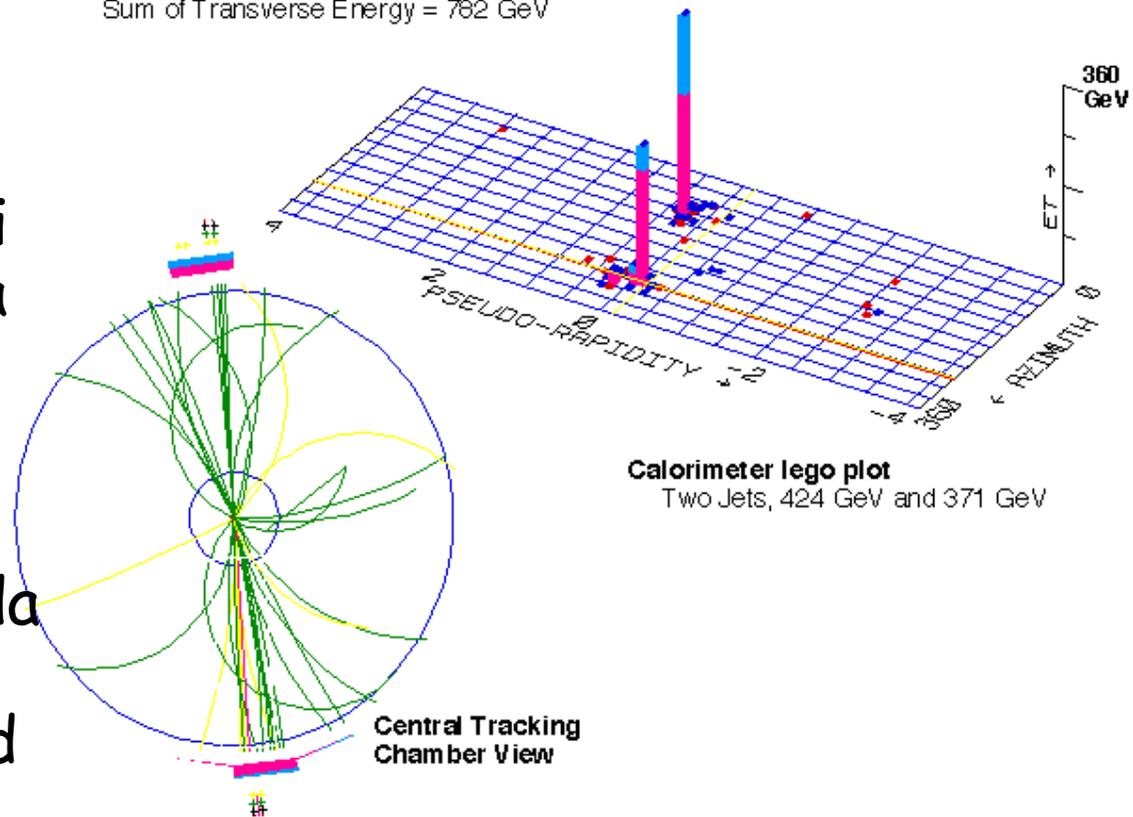
- ☞ Cluster di torri adiacenti sopra soglia

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:

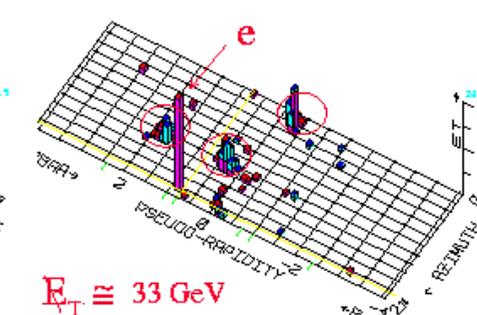
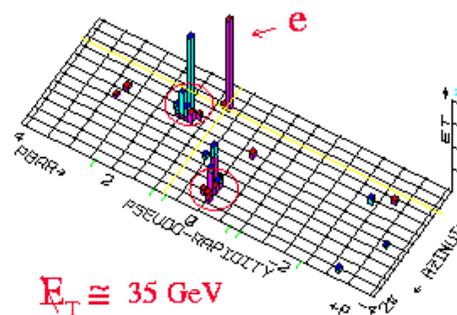
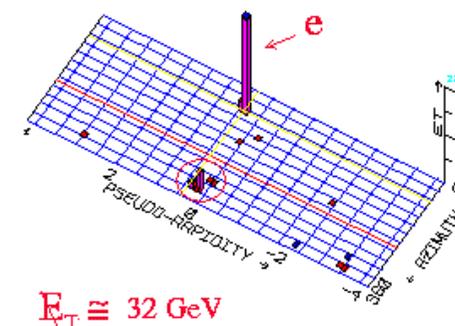
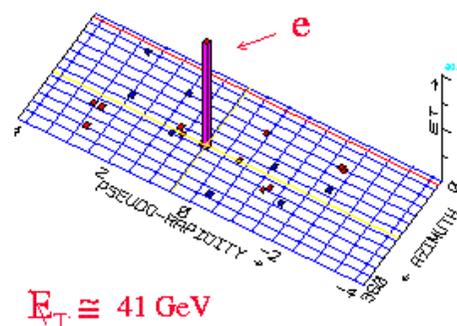
- ☞ Sbilanciamento dell'energia trasversa sopra soglia
 - ⇒ **Calcolo vettoriale dell'energia nelle torri**

Fondi:

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

CDF:

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



Vertici secondari

Misure:

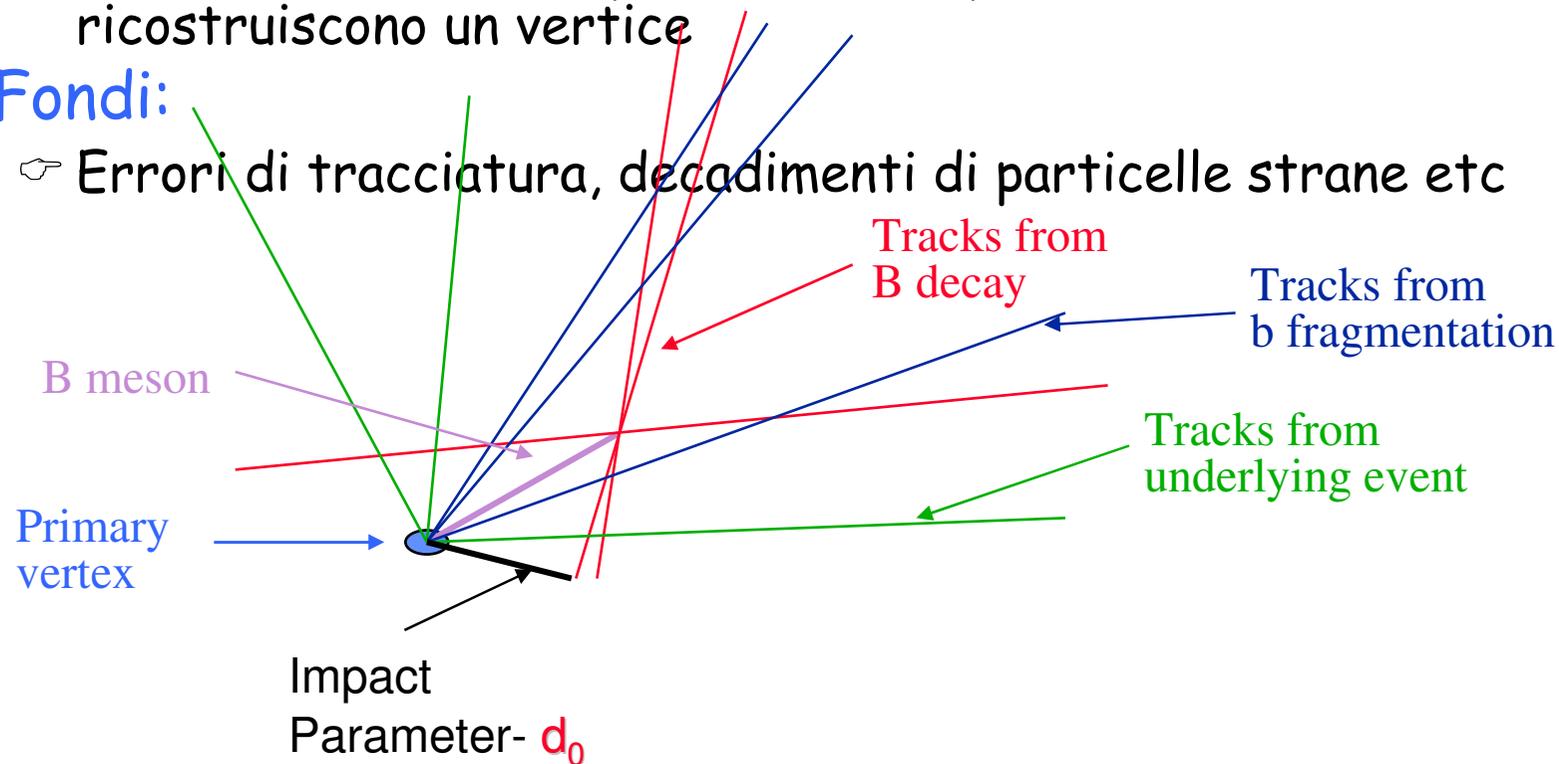
- ☞ Misurare il parametro d'impatto delle tracce con grande accuratezza

Richieste:

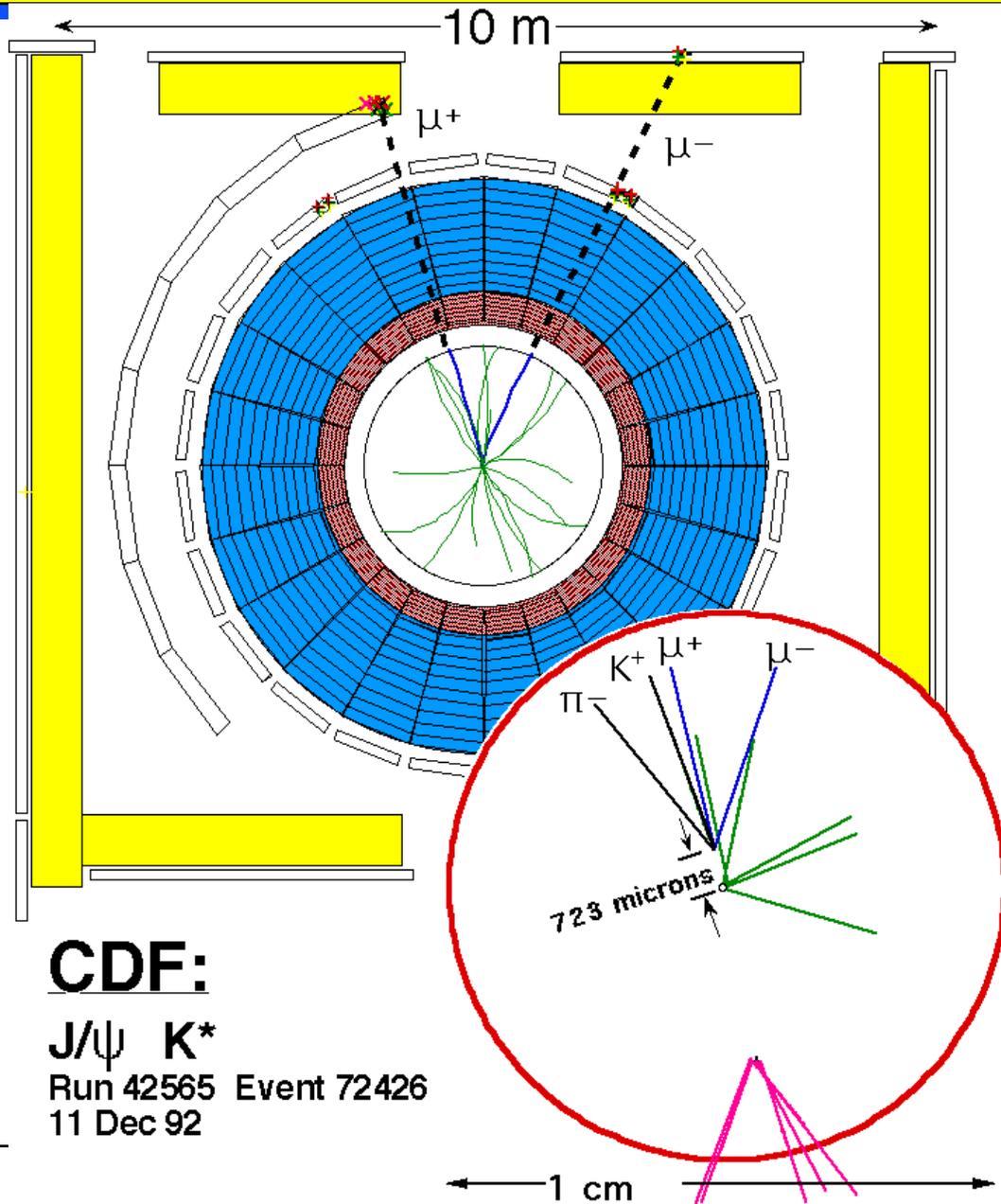
- ☞ Ricercare tracce con parametri d'impatti non-zero che ricostruiscono un vertice

Fondi:

- ☞ Errori di tracciatura, decadimenti di particelle strane etc



Un vero evento di B



CDF:

J/ ψ K*

Run 42565 Event 72426

11 Dec 92

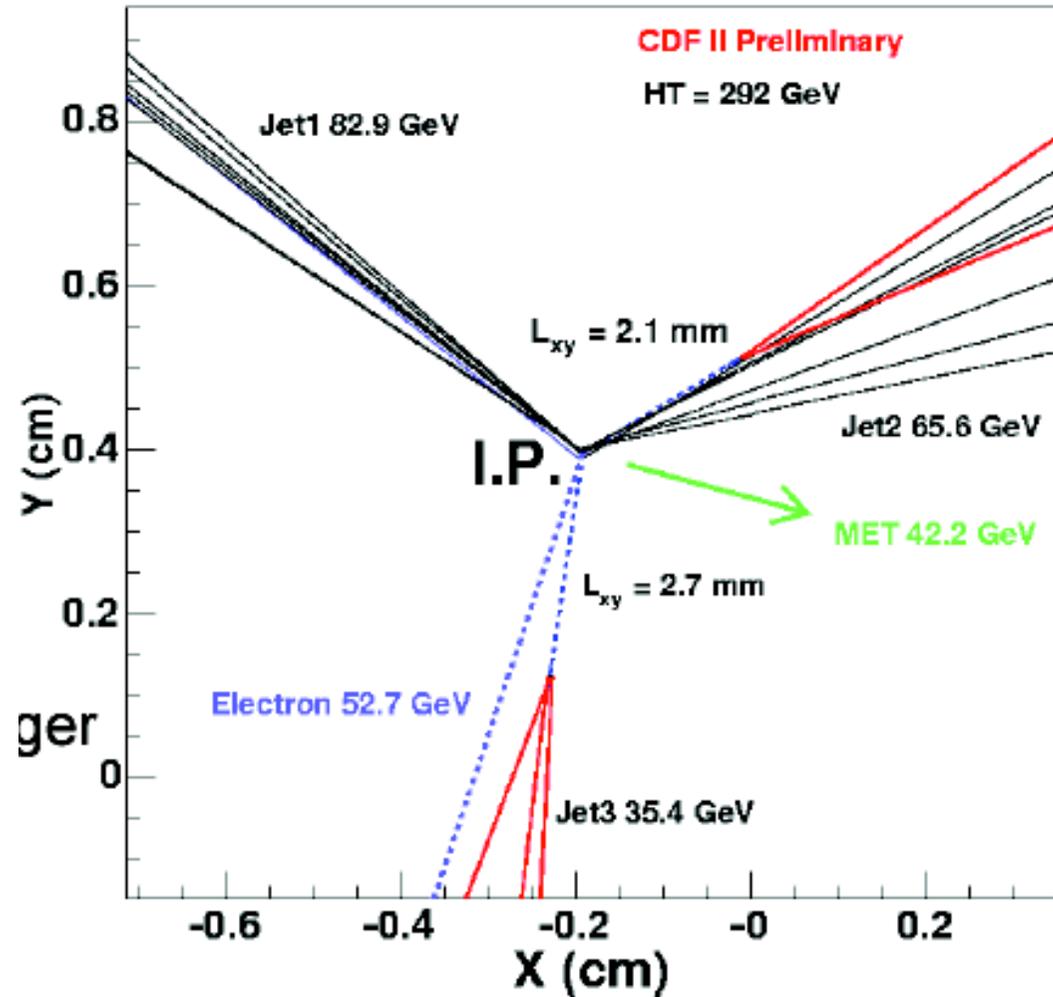
Un vertice secondario in un candidato top

Un evento candidato
 $Tt\bar{b}$

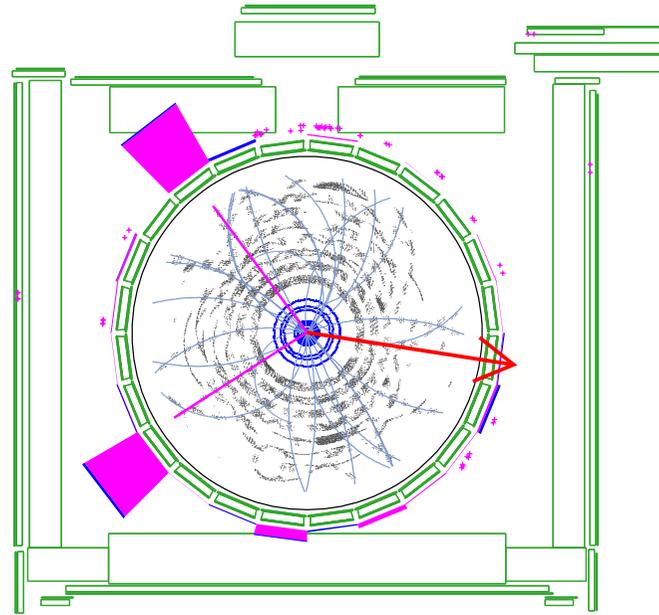
☞ $tt\bar{b}$ → $WbWb$

⇒ $W \rightarrow jj$

⇒ $W \rightarrow e\nu$



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

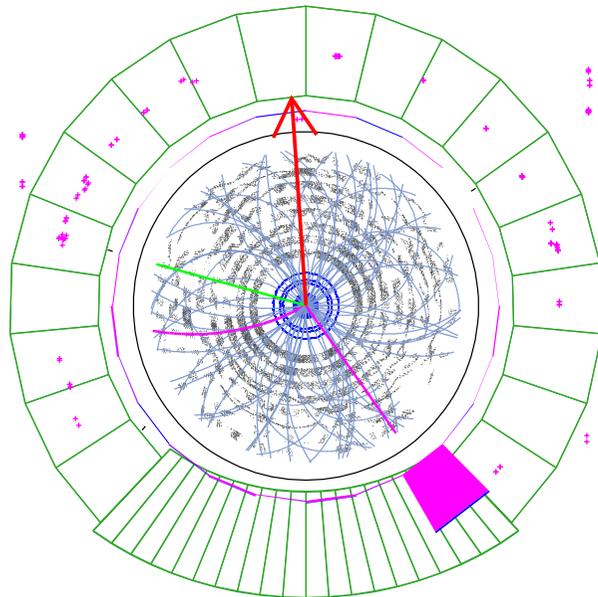
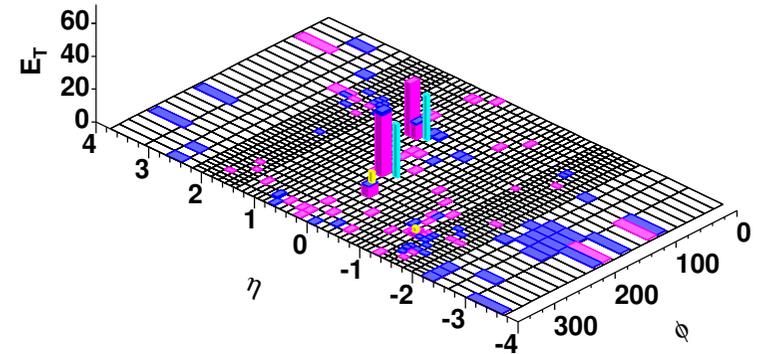


Run 162838 Event 627050 : $WW \rightarrow e^+\nu_e e^-\bar{\nu}_e$ Candidate

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

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

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

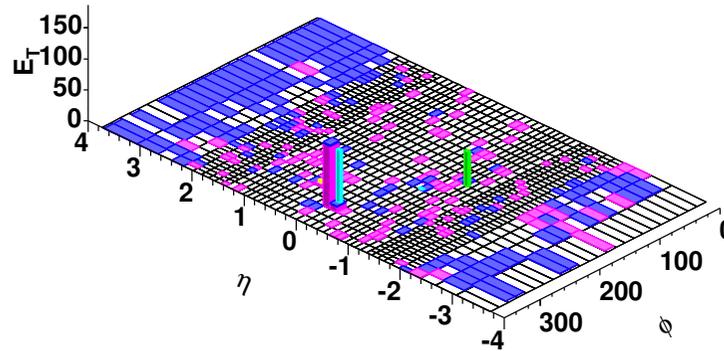


Run 162175 Event 1550545 : $WW \rightarrow e^+\nu_e \mu^-\bar{\nu}_\mu$ Candidate

$p_T(e) = 112.7$ 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

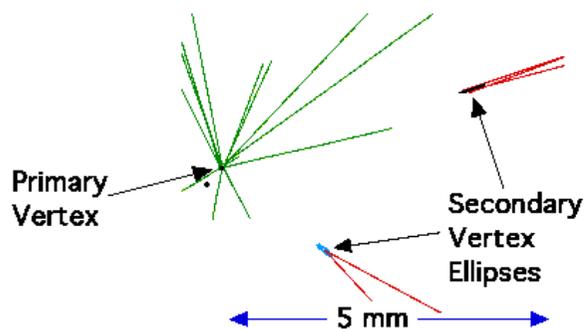
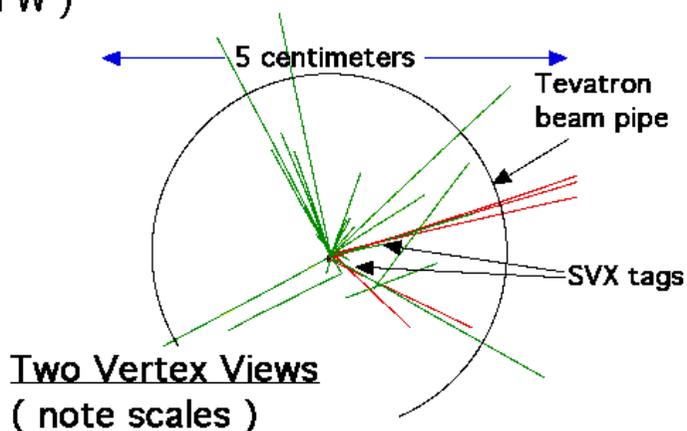
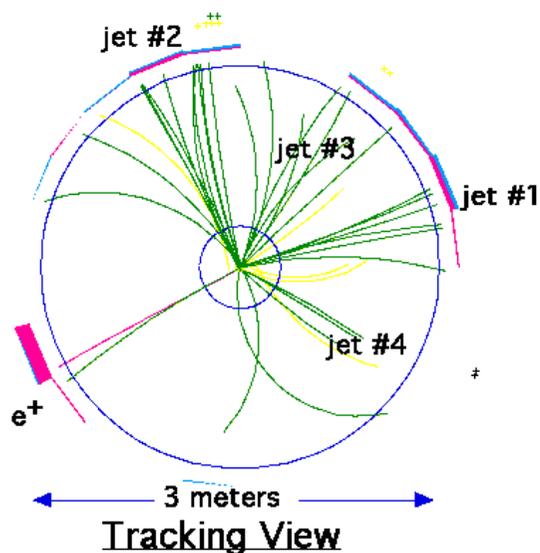
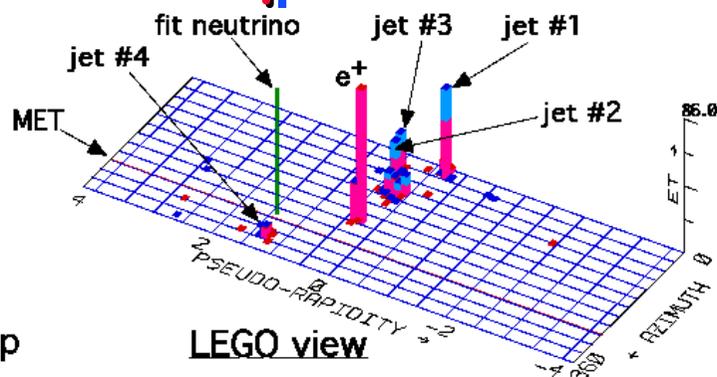
24-September, 1992

TWO jets tagged by SVX

fit top mass is 170 ± 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)

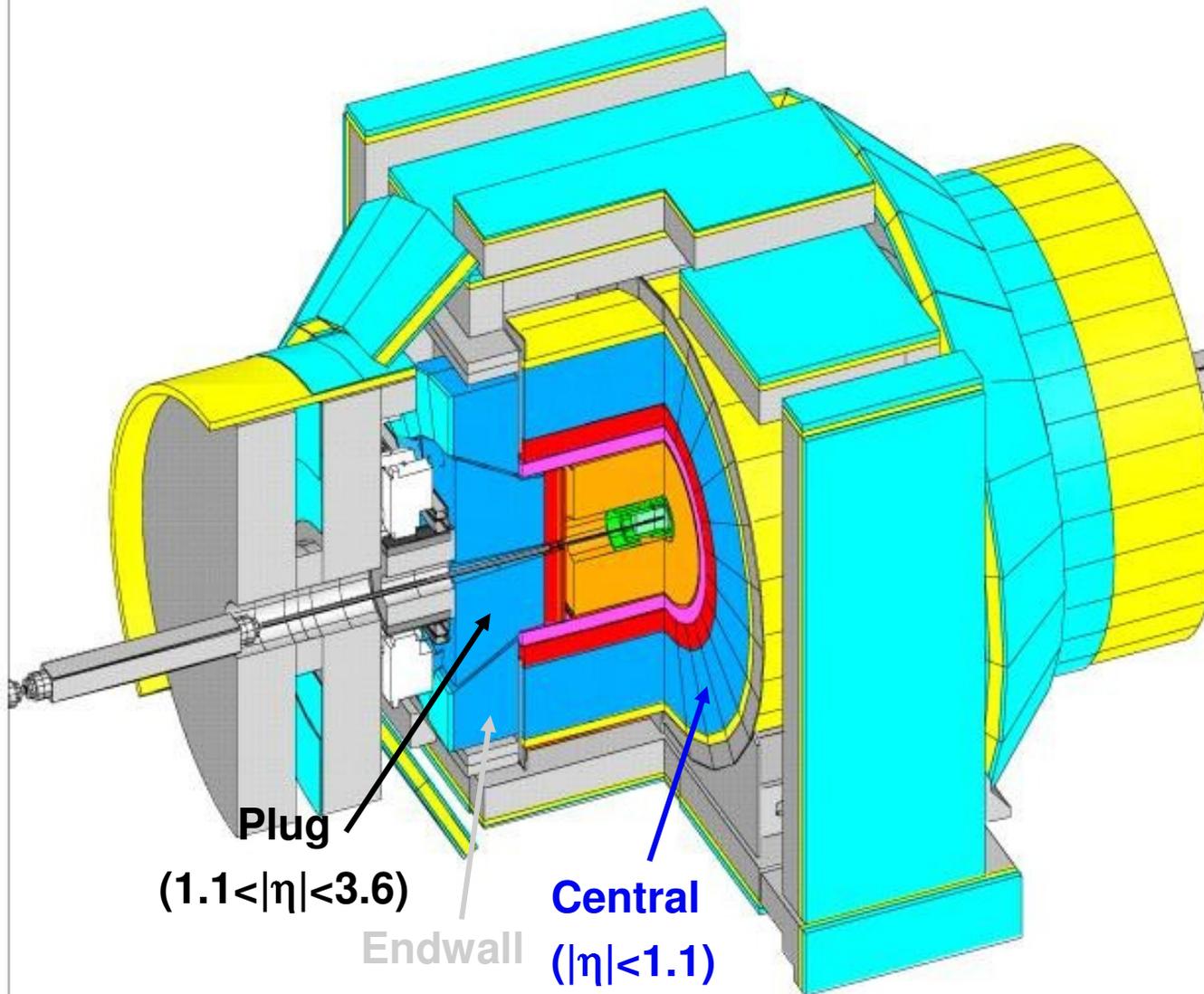
- ☞ C'erano idee ma andavano messe in pratica
- ☞ C'erano dei rivelatori ma andavano utilizzati
 - ⇒ Alcuni migliorati o ricostruiti ex-novo
- ☞ Alcuni rivelatori non c'erano ed andavano inventati

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

I calorimetri

Segmentati
in eta, phi

η 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

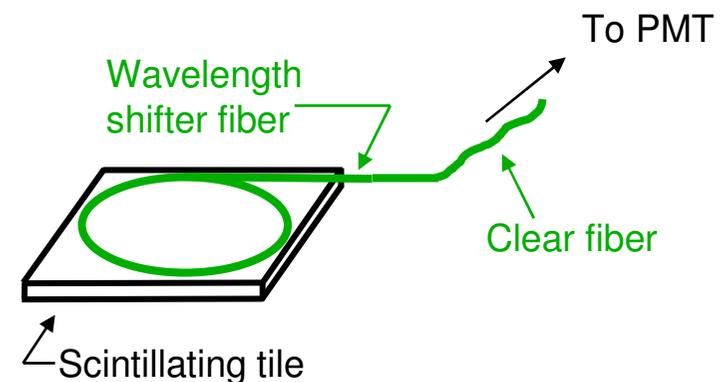
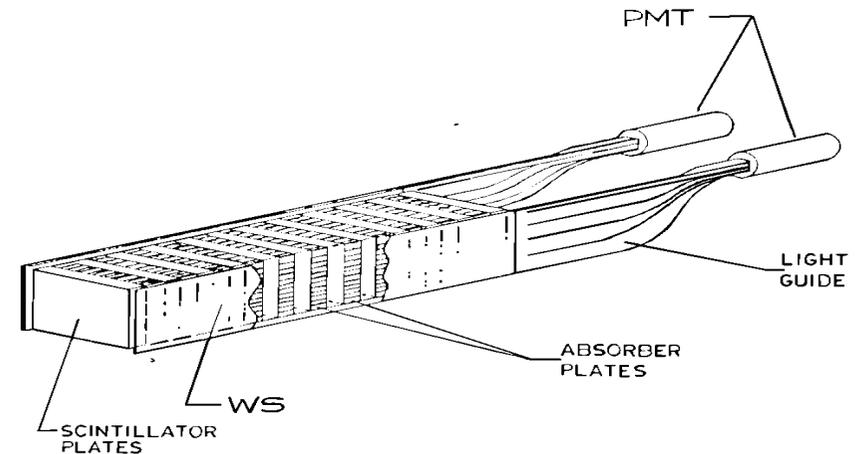
Calorimetria

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:

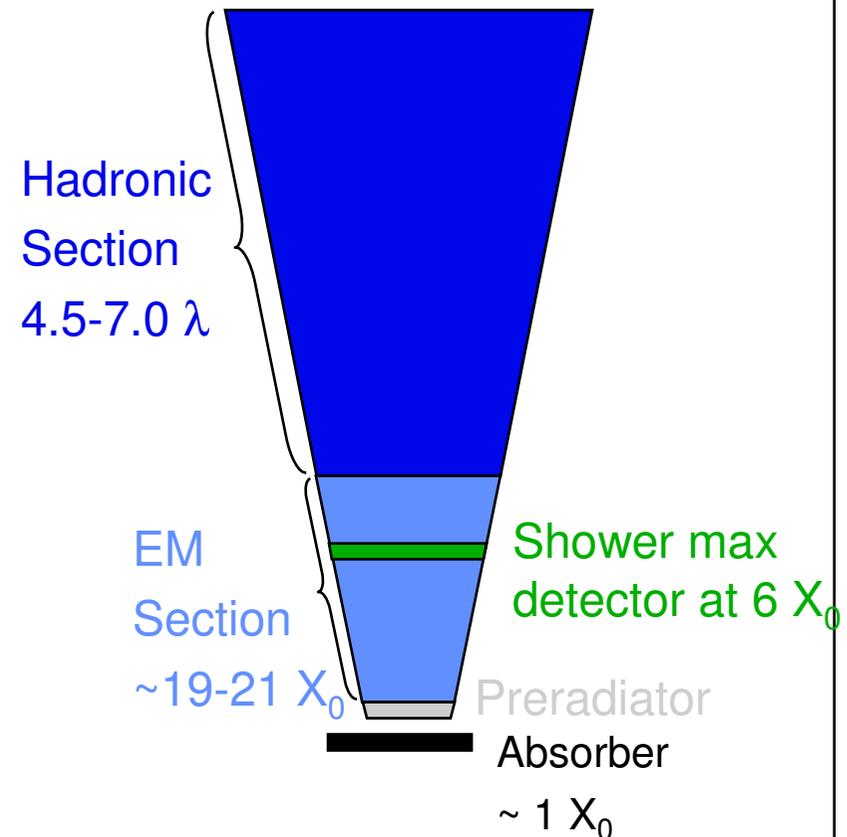
- ☞ La particella primaria sciama nell'interazione con il materiale
- ☞ La luce emessa nello scintillatore è $\propto E$ persa dai secondari (fluttua con il numero dei secondari)
- ☞ Luce di scintillazione "shiftata" verso λ matching la QE dei FT
- ☞ Luce trasferita ai FT con fibre ottiche/guide di luce



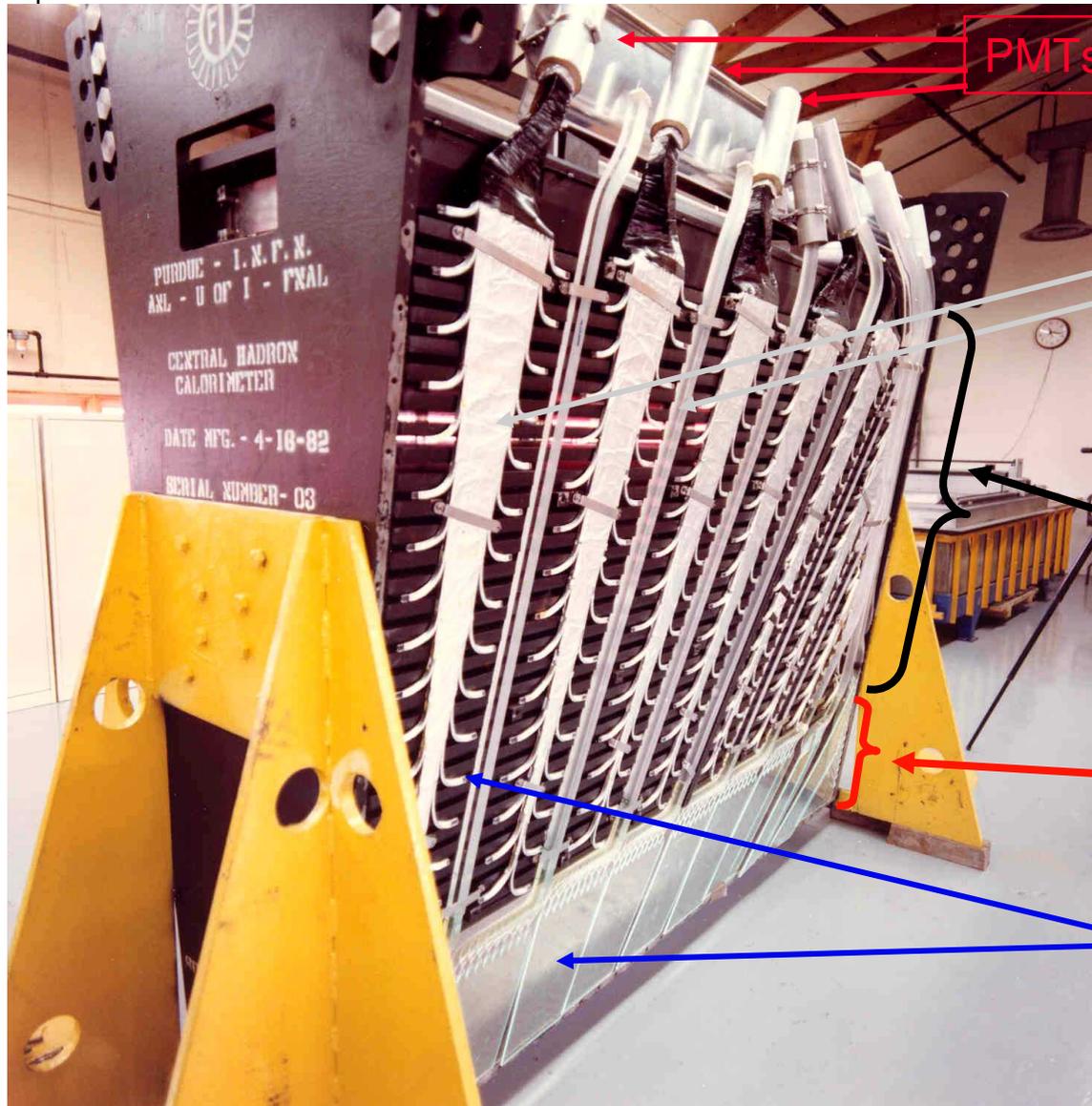
Calorimetria

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 γ/π^0 nei rivelatori shower max /preshower



Central calorimeters



Dettagli di un modulo del cal. centrale

Clear plastic light guides

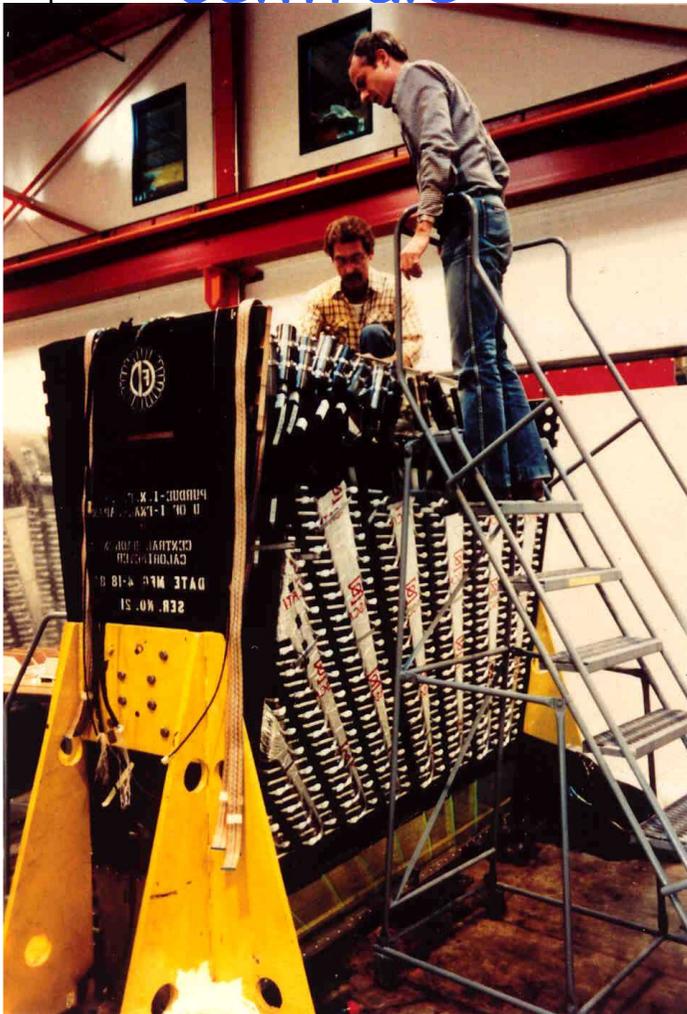
Hadronic section
(Iron absorber plates)

EM section
(lead absorber plates)

Wavelength shifter

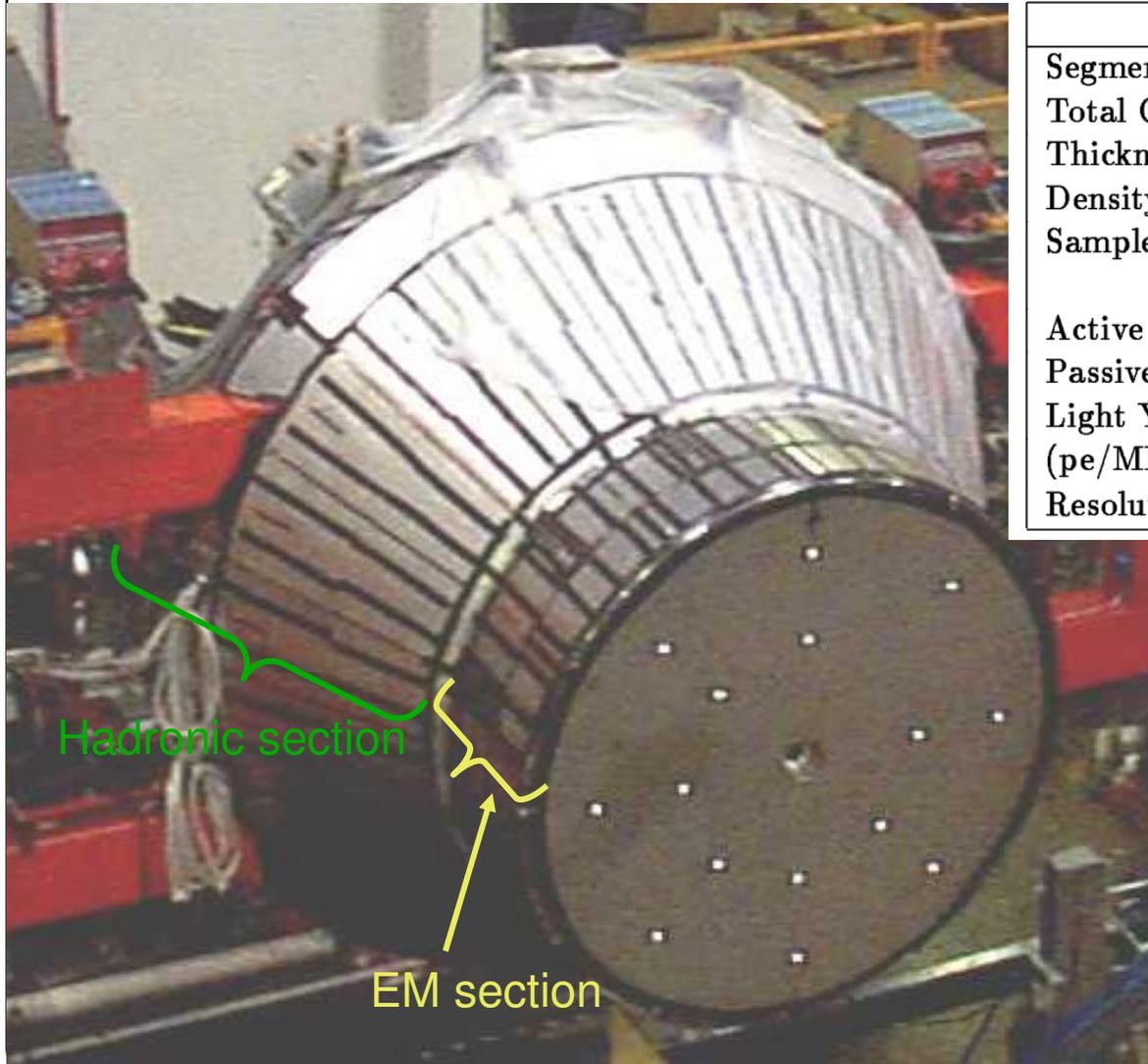
Calorimetro centrale

Assemblaggio e test
del calorimetro
centrale

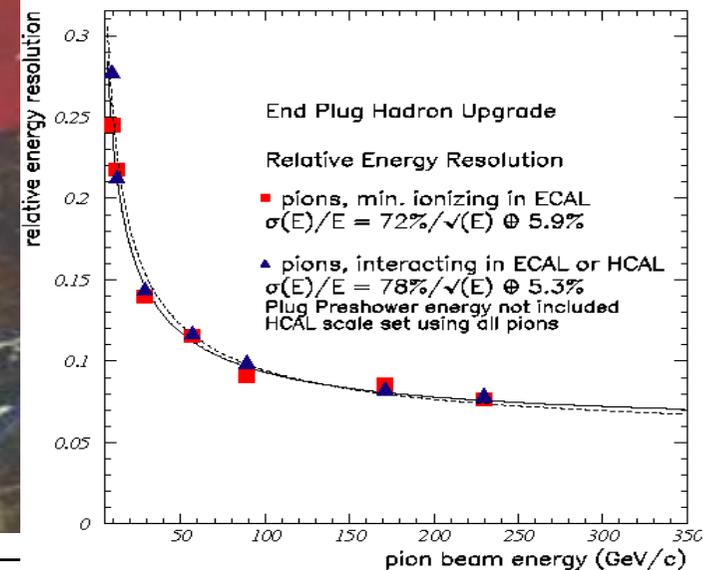


	EM	HAD
Segmentation	$\sim 50 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$	$\sim 70 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$
Total channels	956	1344 (with endwall)
Thickness	$18 X_0, 1 \lambda_0$	$4.7 \lambda_0$
Samples	21-30	32
Active	5 mm Scint.	1.0 cm Scint.
Passive	3.2 mm lead	2.5 cm steel
Resolution	$13.5\%/\sqrt{E}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

Calorimetri "Plug"

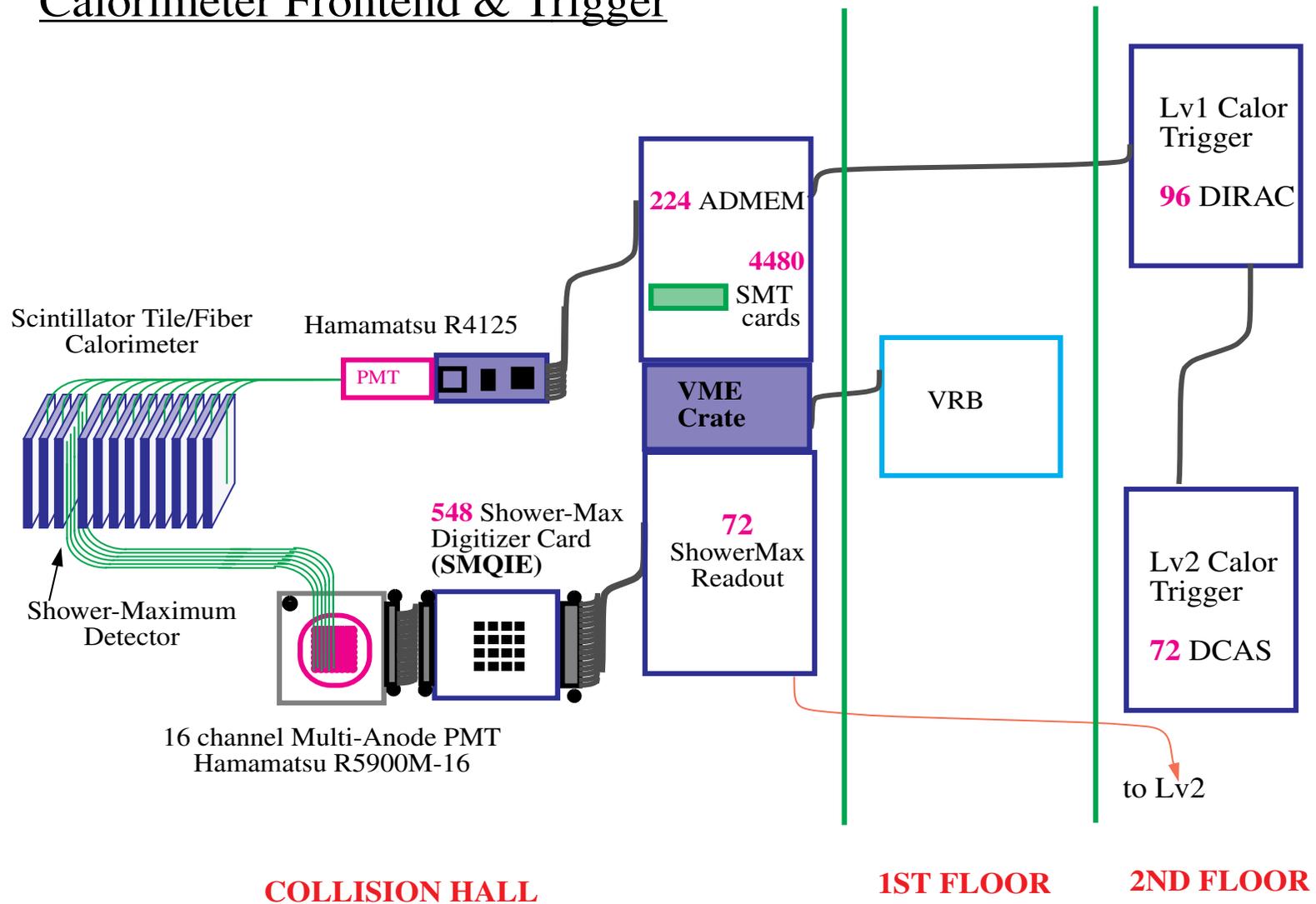


	EM	HAD
Segmentation	$\sim 8 \times 8 \text{cm}^2$	$\sim 24 \times 24 \text{cm}^2$
Total Channels	960	864
Thickness	$21 X_0, 1 \lambda_0$	$7 \lambda_0$
Density	$0.36 \rho_{Pb}$	$0.75 \rho_{Fe}$
Samples	22 + Preshower	23
Active	4 mm Scint	6 mm Scint
Passive	4.5 mm Pb	2 inch Fe
Light Yield (pe/MIP/tile)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



Readout e trigger calorimetri

Calorimeter Frontend & Trigger



Identificazione dei mu

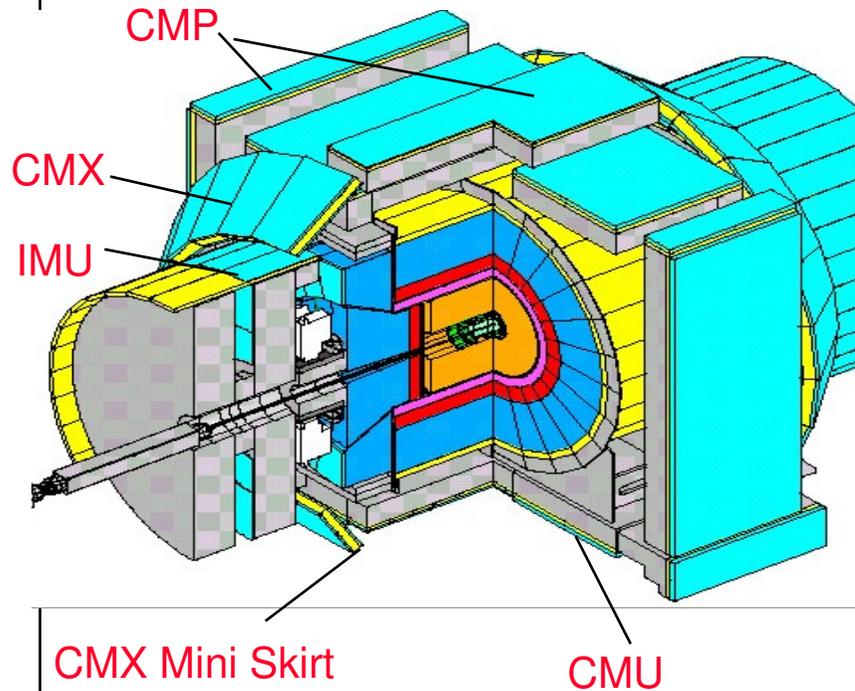
I muoni sono particelle che, ad energie relativistiche, interagiscono poco con la materia

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

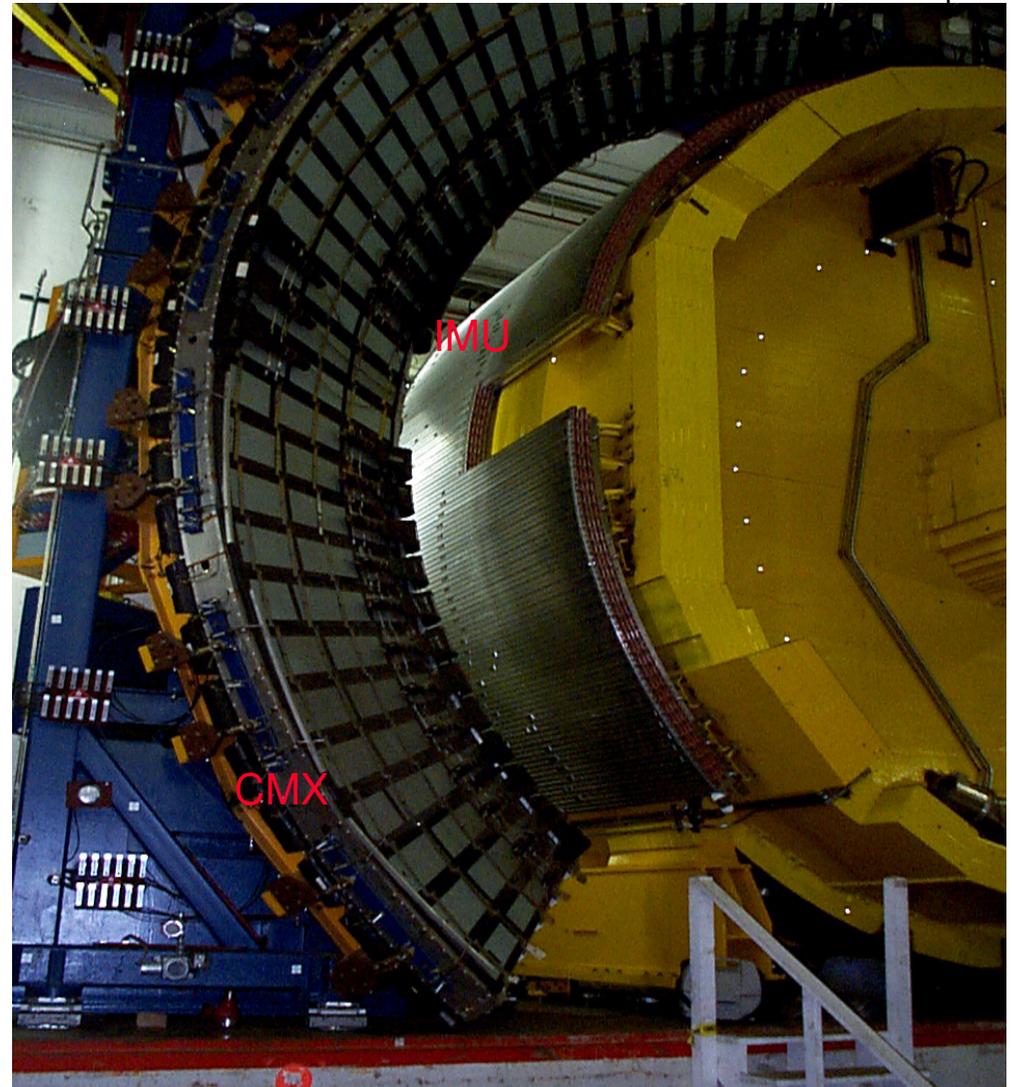
"Firma" caratteristica a CDF-I/II:

- ☞ 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

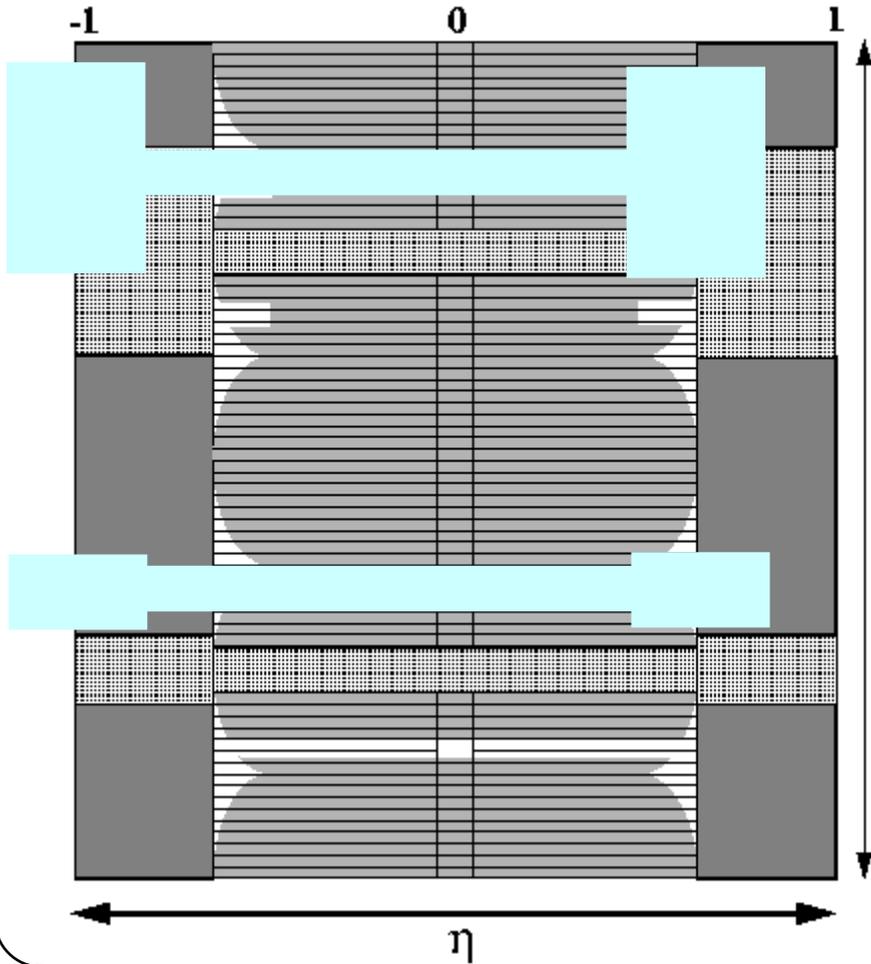


Copertura dei mu

Run 1

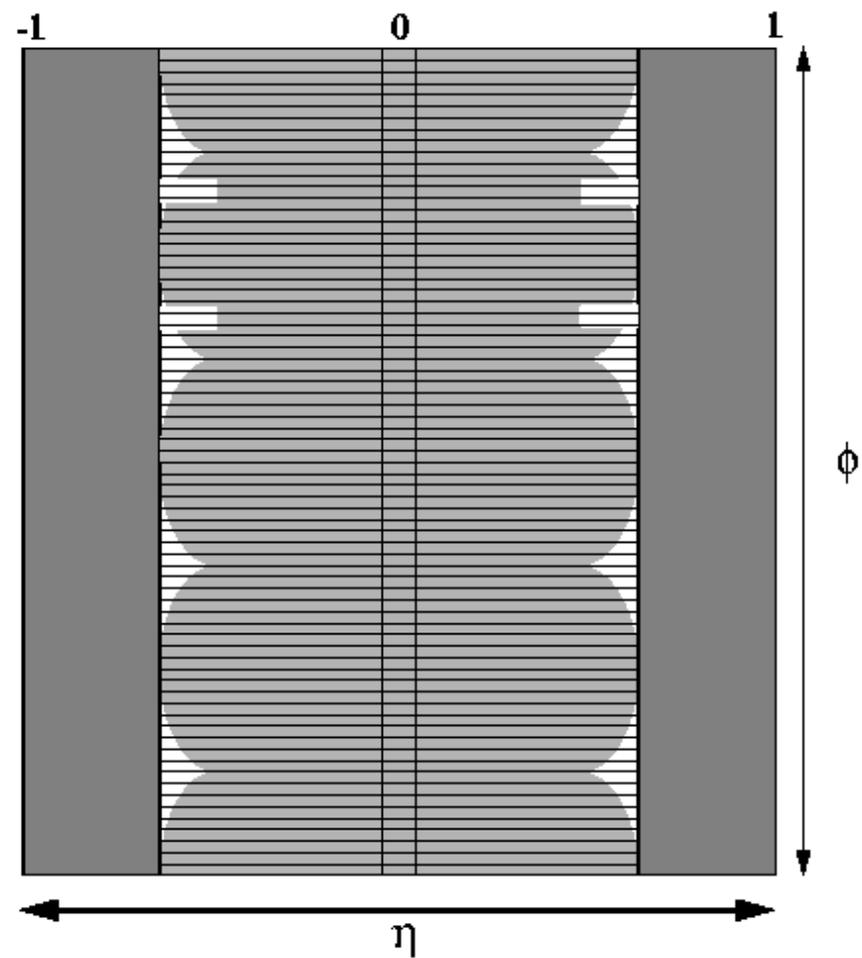
■ - No coverage

■ - CMX ▨ - CMP ▩ - CMU



Run 2

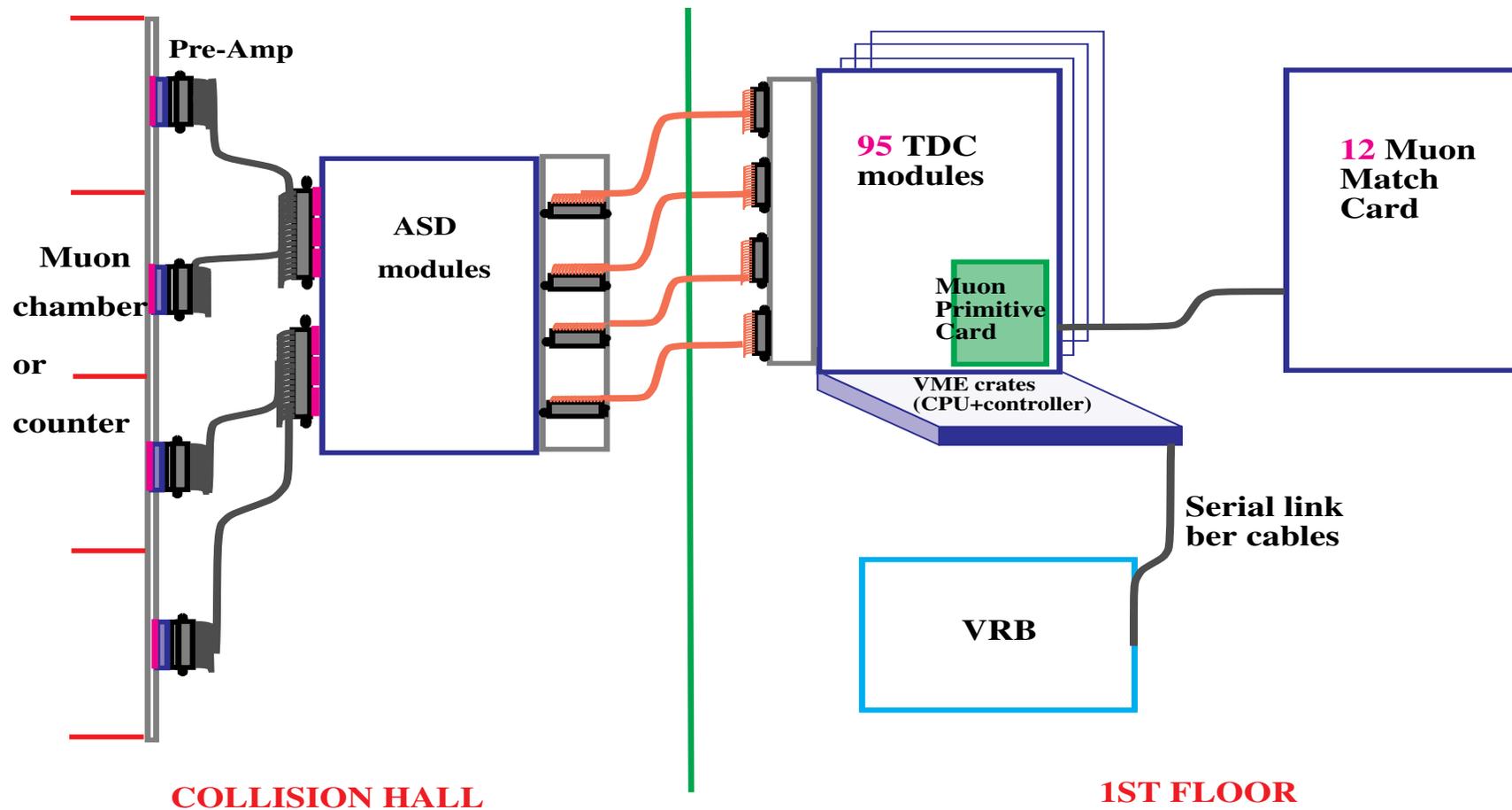
■ - CMX ▨ - CMP ▩ - CMU



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

Readout e trigger dei mu

Muon Frontend & Trigger



Sistema di tracciatura

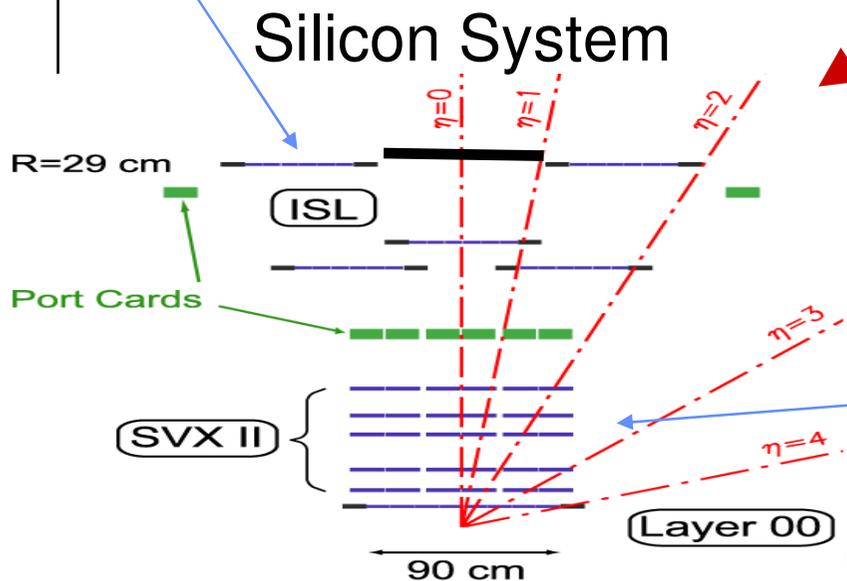
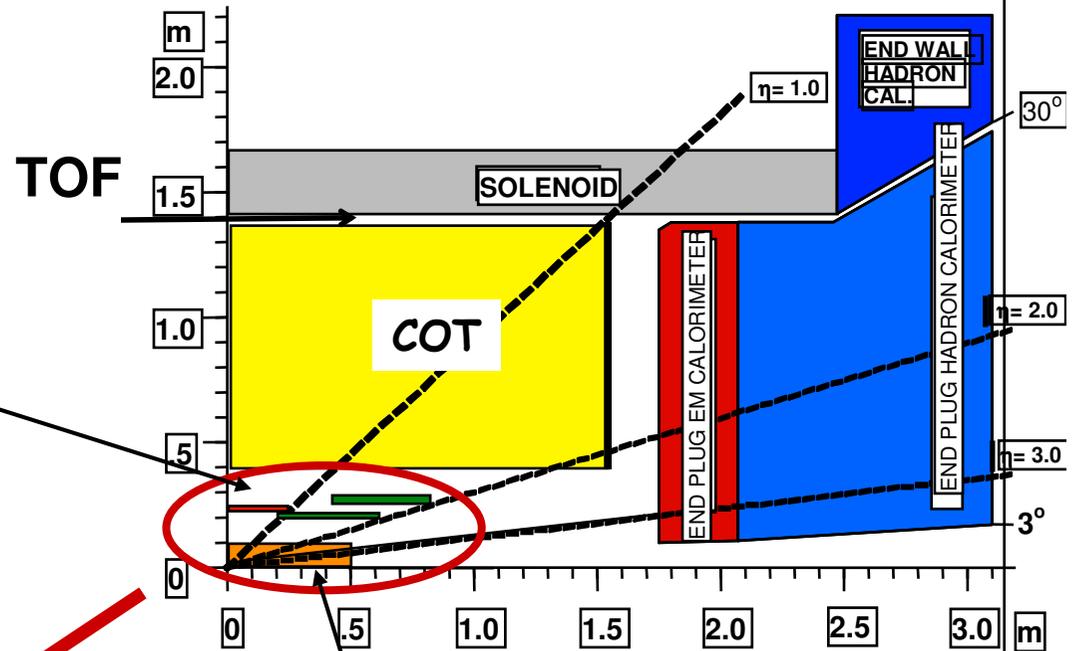
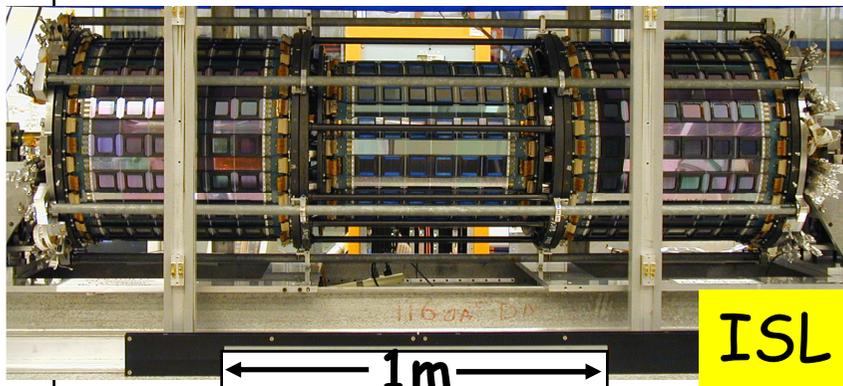
Proposito: ricostruire le traiettorie di particelle cariche

- ☞ 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



ab, Agosto 2008

Central Outer Tracker

Risoluzione in impulso

☞ Misurare la sagitta con risoluzione costante

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

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

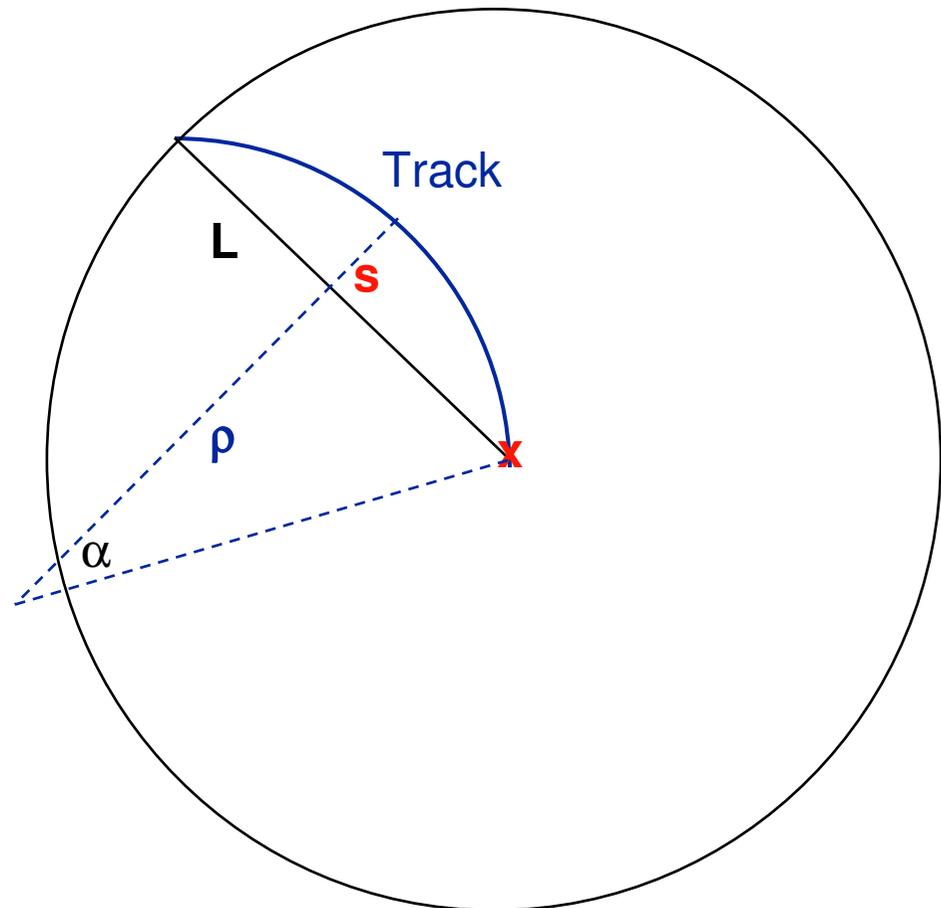
$$\Rightarrow s = L^2/(8\rho)$$

☞ $\rho \propto p_T/B$

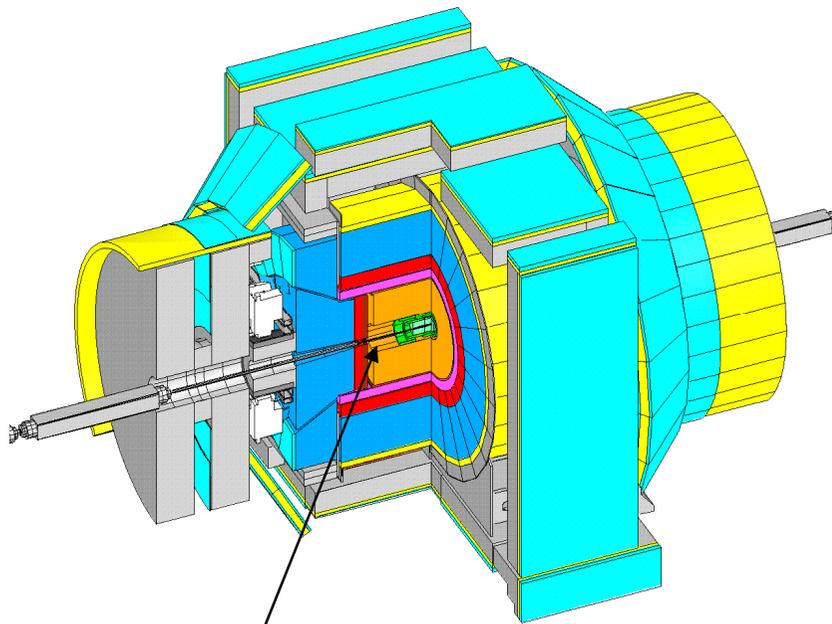
☞ $s \propto L^2 * B/p_T$

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

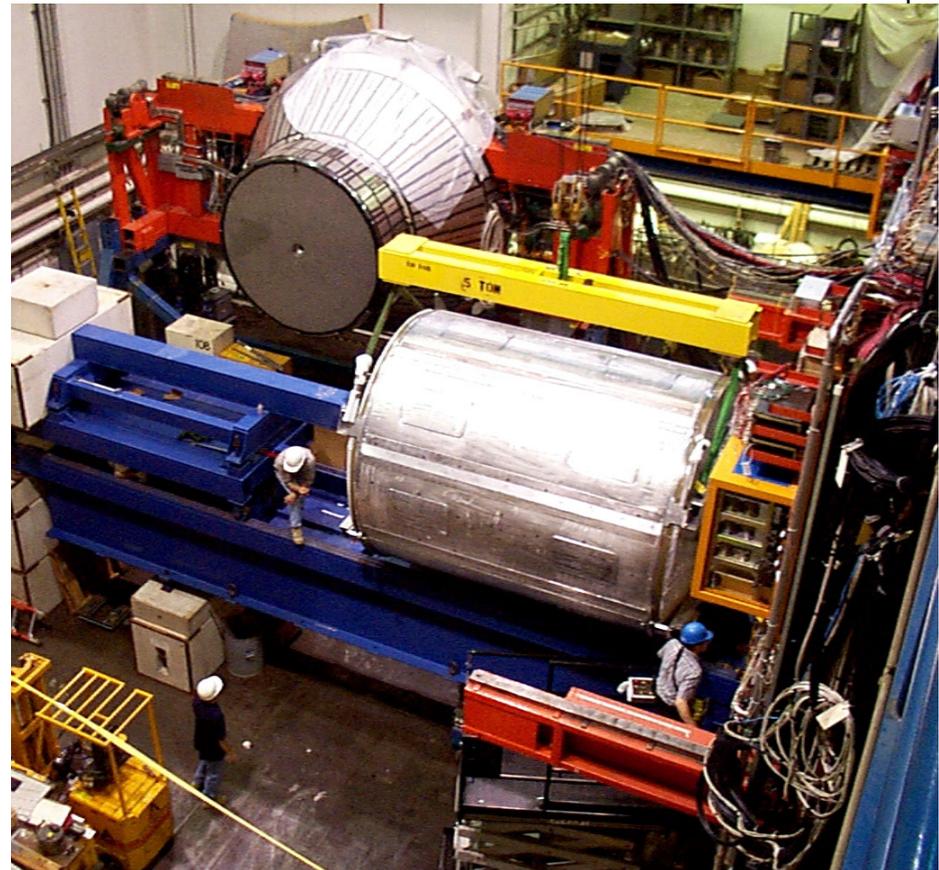
$$\sigma_{p_T}/p_T^2 \propto \sigma_s / BL^2 = \text{cost.}$$



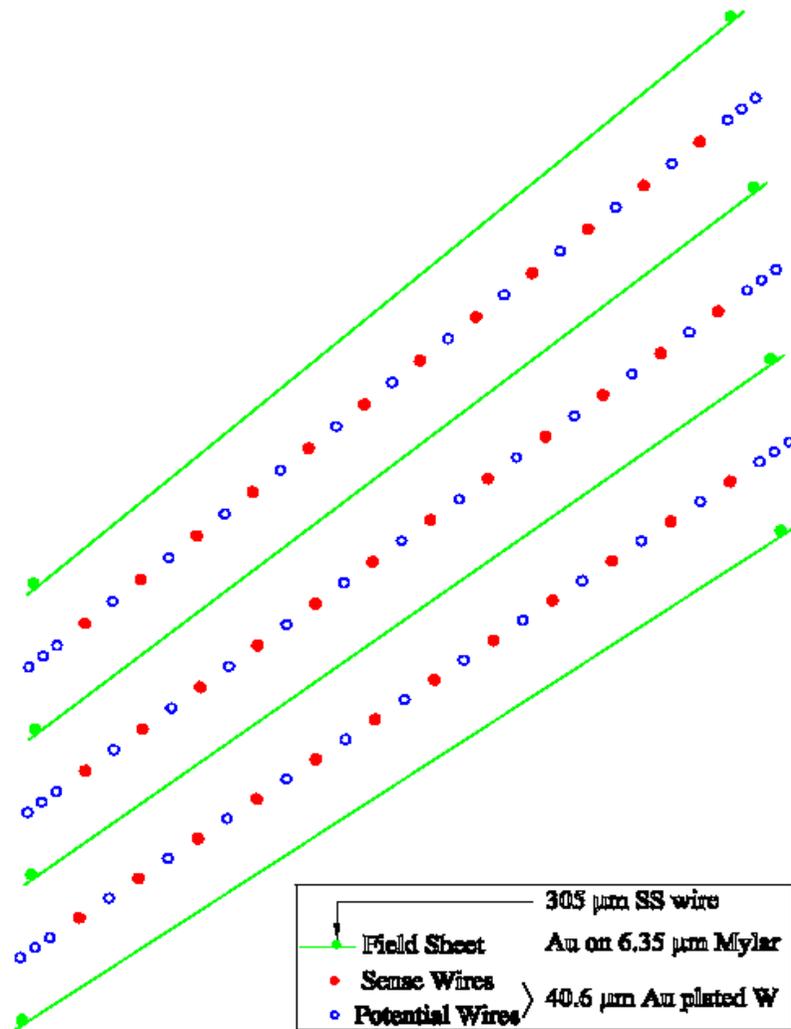
Geometria e costruzione COT



COT



Geometria delle celle



Catodi

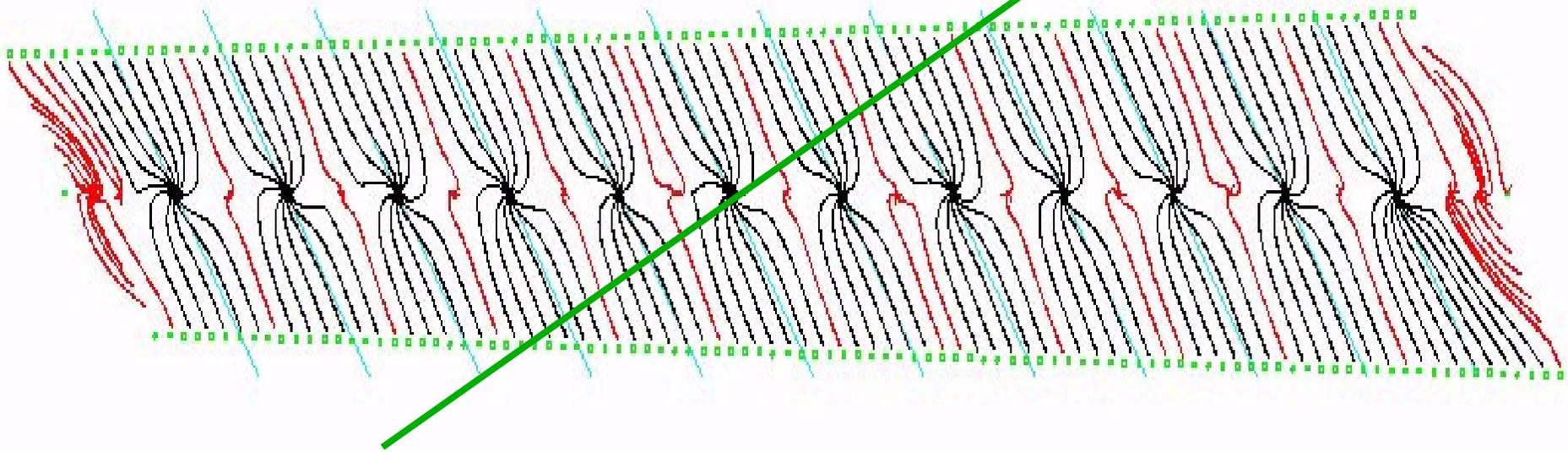
- ☞ Oro su Mylar
- ☞ Mylar spesso 6.4 μm
- ☞ Oro $\sim 350 \text{ \AA}$ per lato

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 ϕ)

Traiettorie di deriva



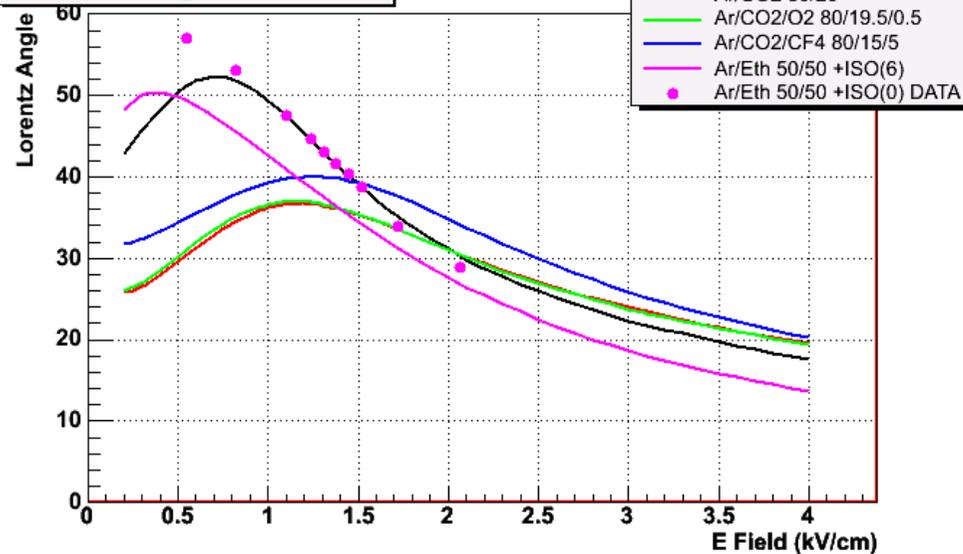
Scelta del gas (usiamo Ar:Et 50:50)

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

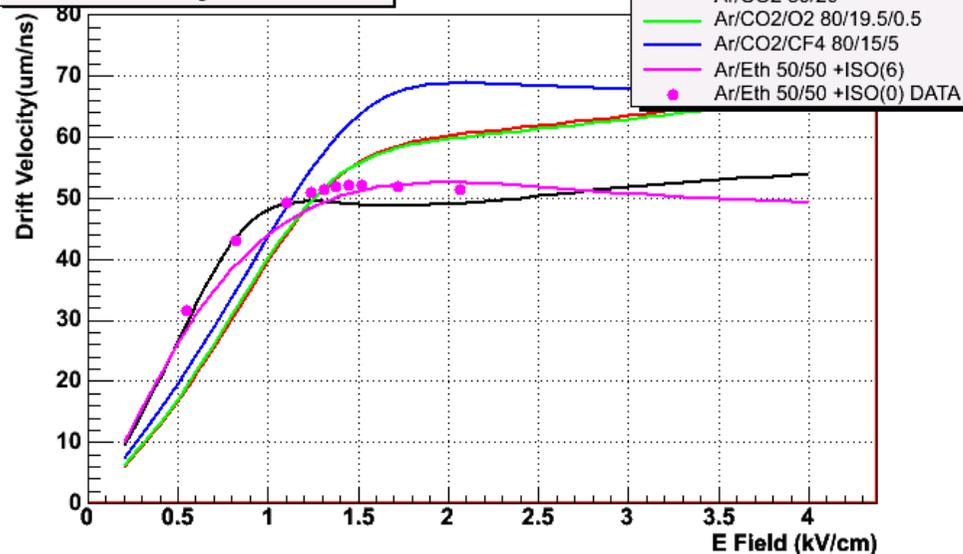
Set charge sui file di potenziale per controllare il campo di deriva

Traiettorie di deriva

Lorentz Angle vs E Field



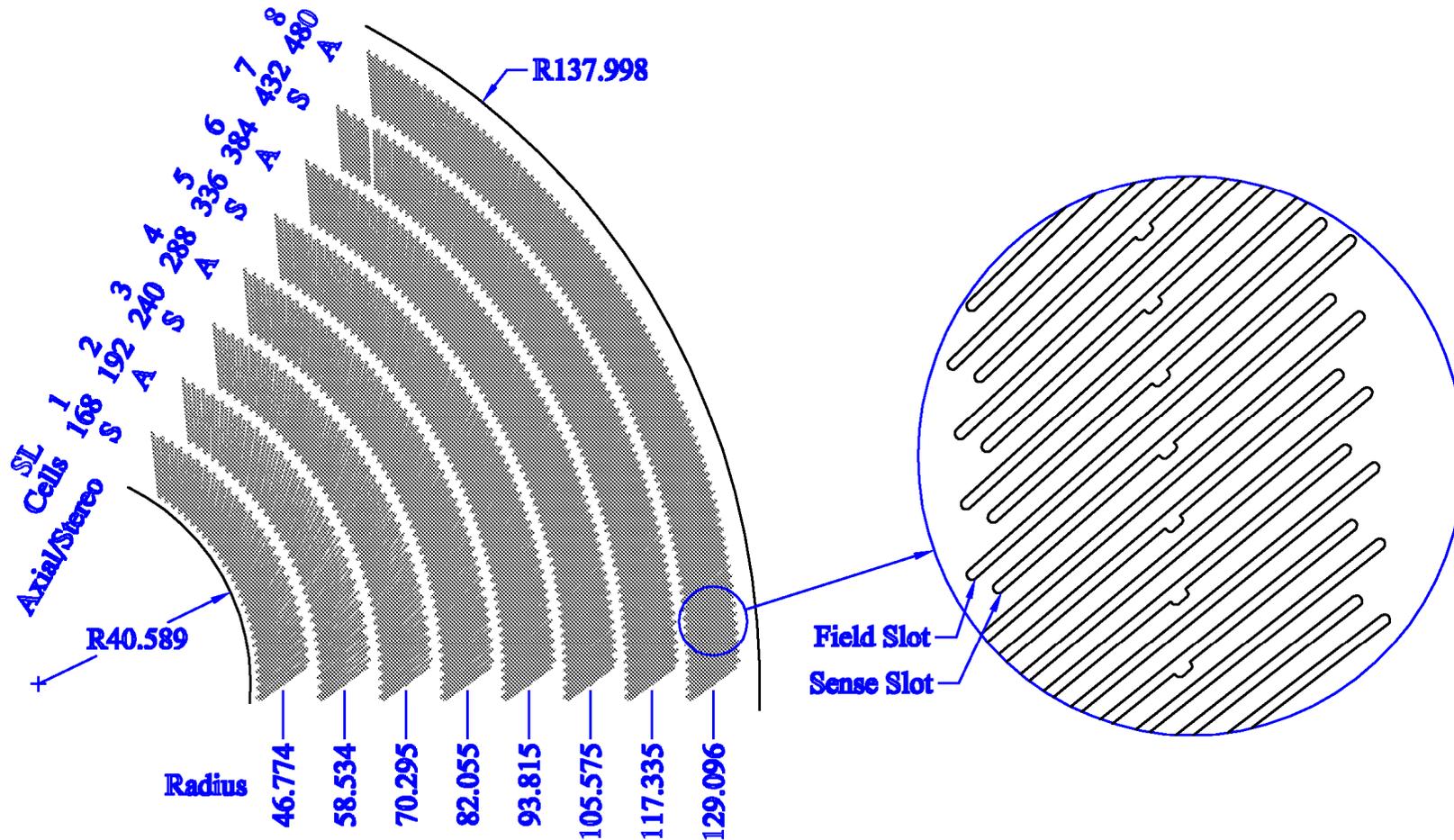
Drift Velocity vs E Field



Vogliamo

- ☞ ~50 μm/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)
- ☞ ~35° drift angle (basandoci sulla rotazione delle celle)

Endplates: 2520 sense, 2520 field slots per plate

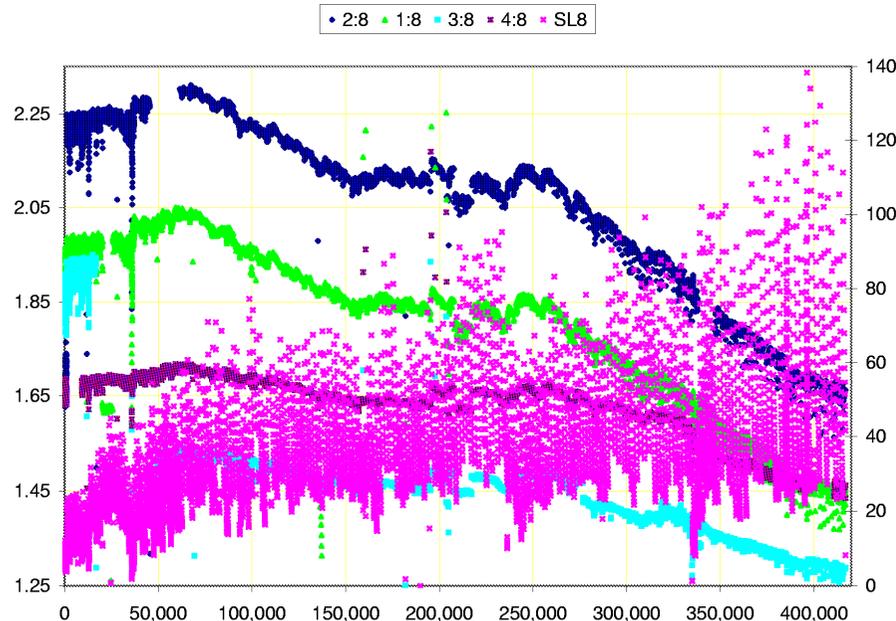
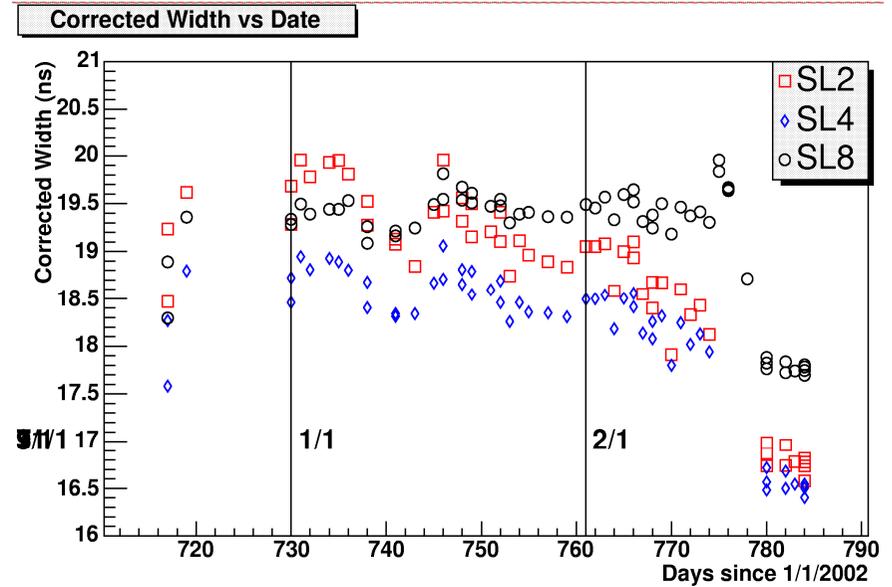
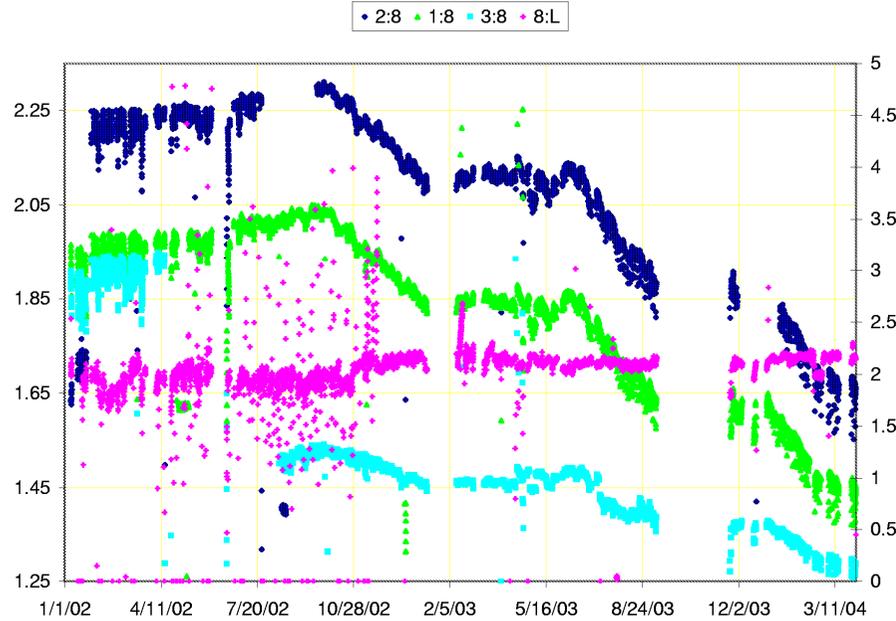


Assemblaggio



Fermilab, Agosto 2008

Aging

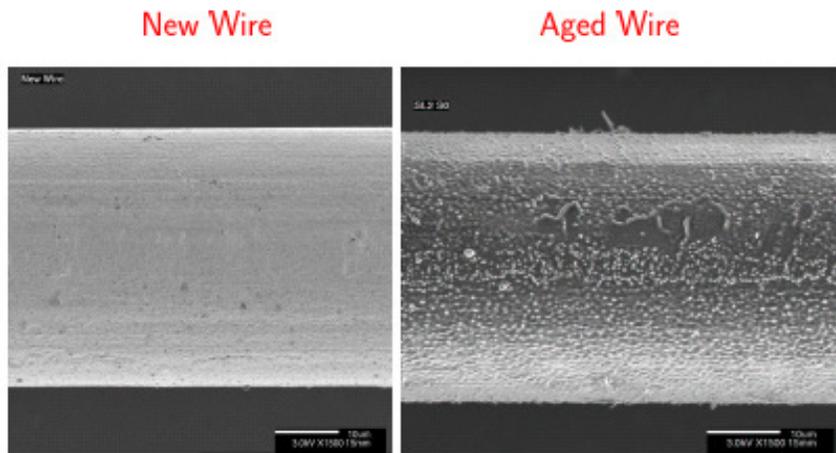


- Il guadagno scende nel tempo
- Collegato alla luminosità integrata
- NON si osserva nelle camere di monitoraggio

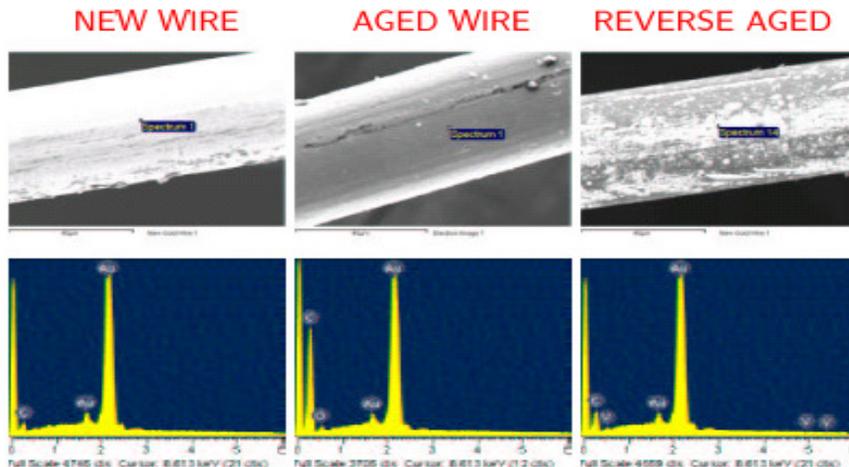
Identificazione e soluzione problemi

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

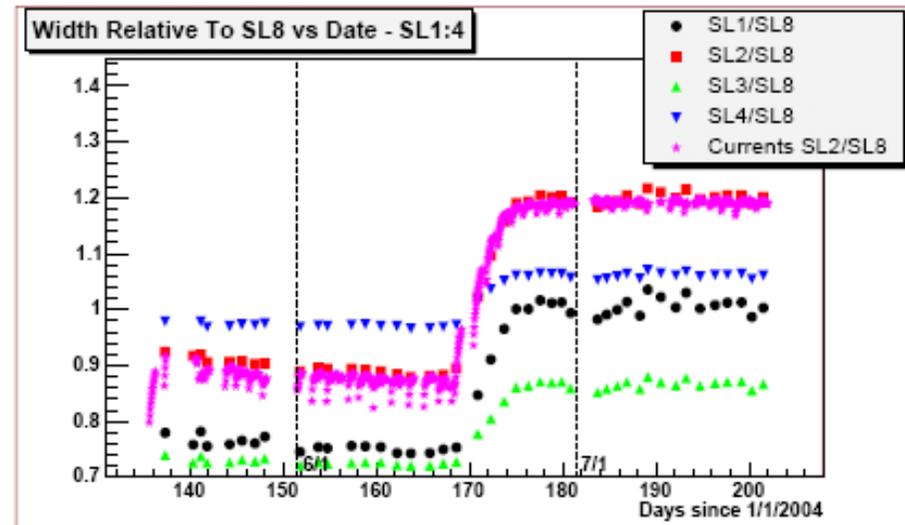
- SEM analysis showed hydrocarbon growths on aged wires



Results from SEM Analysis of Wire Samples



Data since recirculation started, through last week



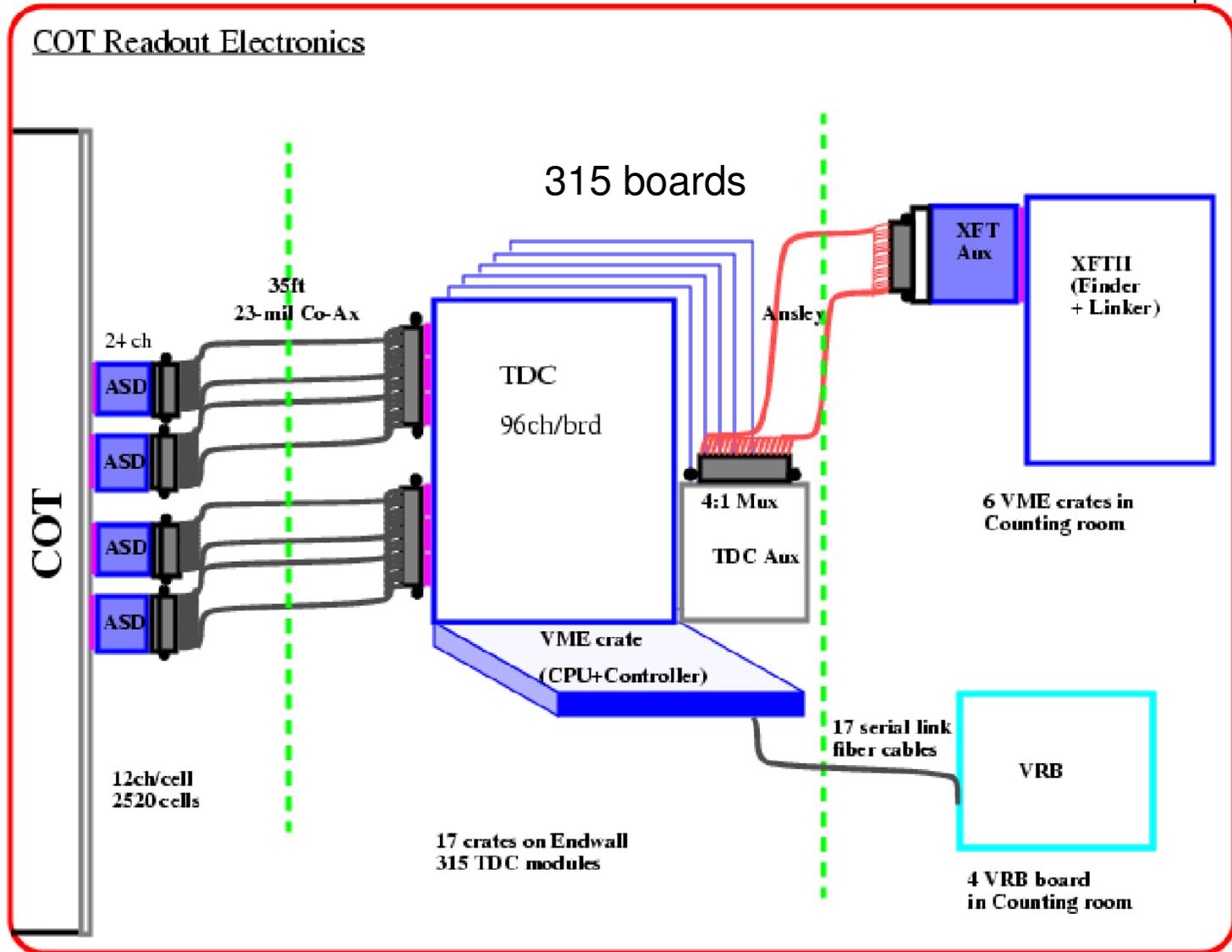
Ora flussiamo 180 ppm di O₂ nella camera

Anche ai rivelatori fa bene l'aria pulita!

Agosto 2008

Central Outer Tracker

Chambe
readout



Rivelatori a semiconduttore a CDF

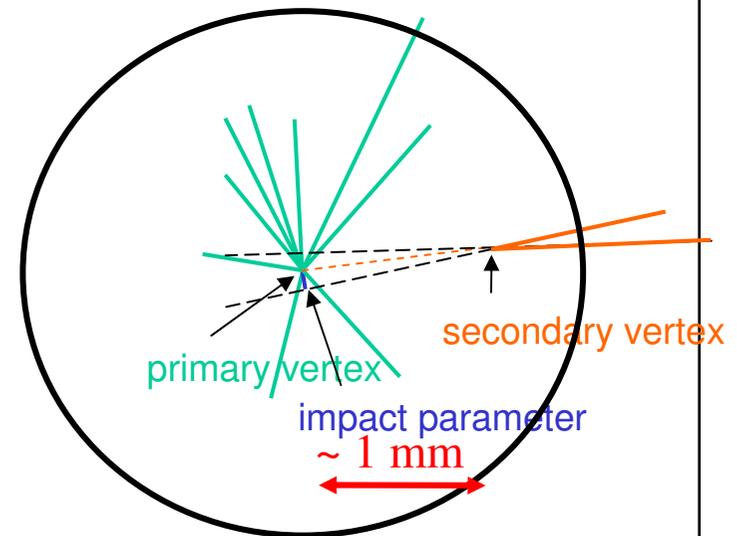
Rivelatore di vertice (Run I, Run II)

Sistema di tracciatura

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

Rivelatori di vertice:

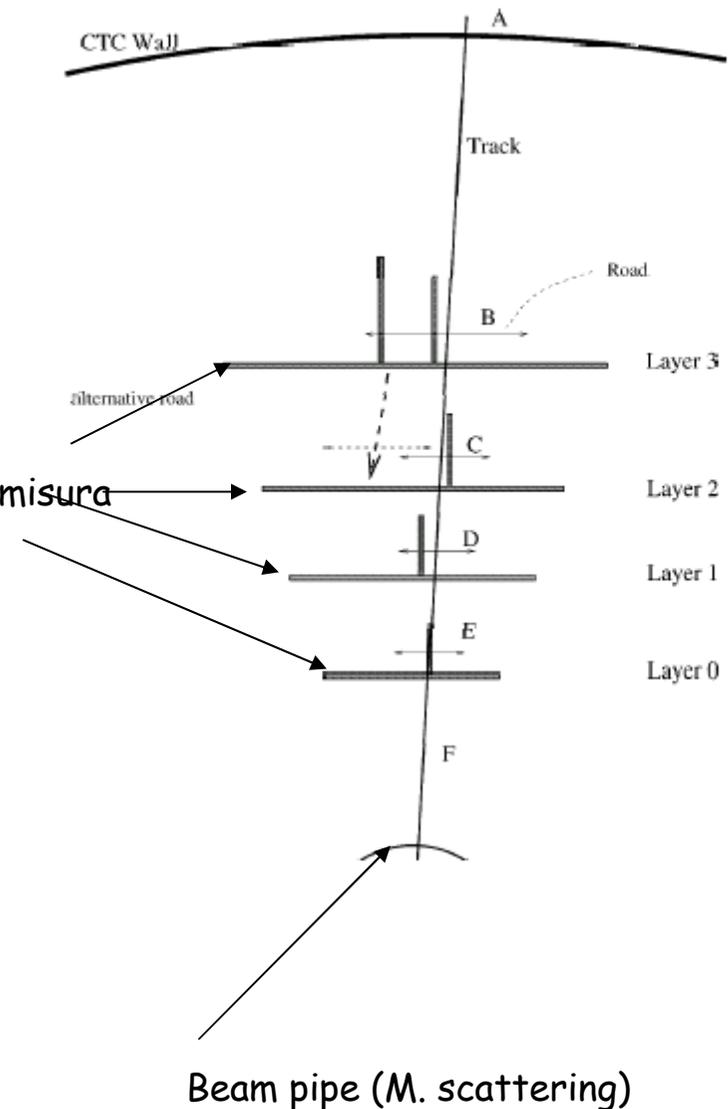
- ☞ Utilizzati per ricostruire vertici generati da particelle con vita media dell'ordine dei picosecondi
- ☞ Aggiungere pochi punti, estremamente precisi, a tracce i cui parametri sono misurati da un tracciatore diverso
Importante minimizzare il Mult.scatt. e posizionare i rivelatori il più possibile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

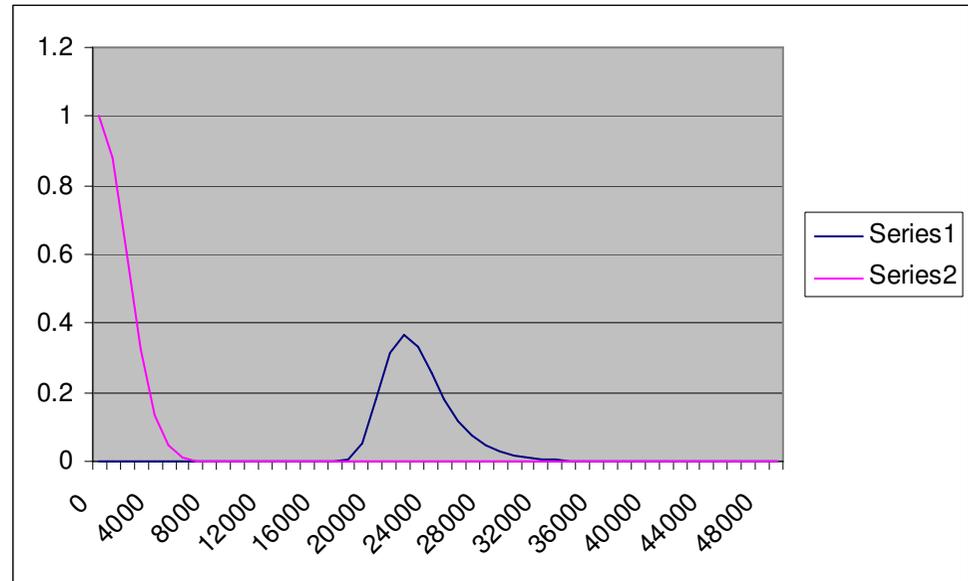
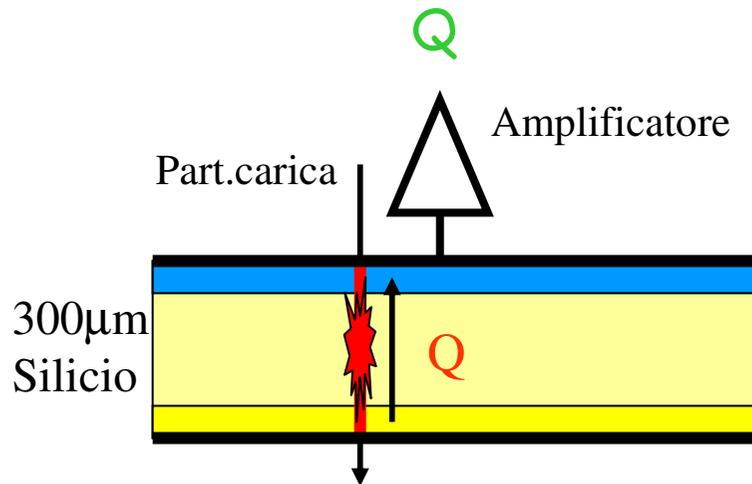
In un sistema in cui il rivelatore di vertice partecipa alla tracciatura (CMS, CDF ad $|\eta| > 1$), bisogna avere un numero sufficiente di punti a garantire ridondanza e capacità di effettuare il pattern recognition:

- ☞ 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



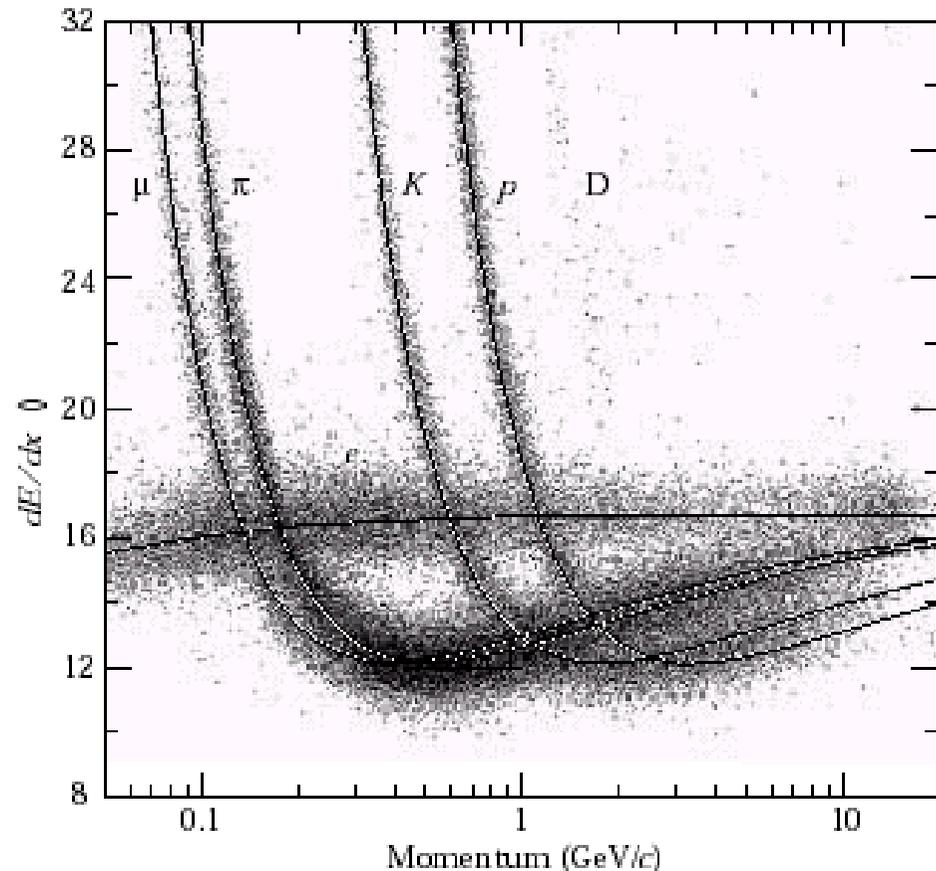
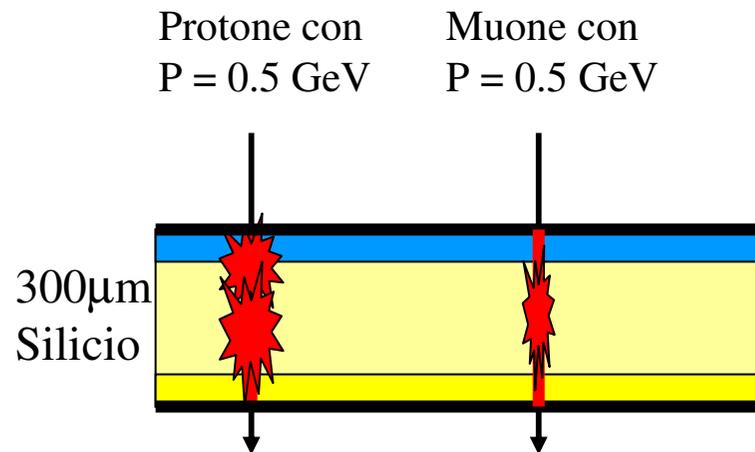
Carica generata dal rilascio di energia : $Q = Q_0 + \delta Q_{Landau}$ con $Q_0 \sim 24,000 e^-$
 e $\delta Q_{Landau} \sim 2,000 e^-$ Parametro importante è la corrente di leakage.
in media, si ottengono ~ 80 coppie $e-h/\mu m$ di silicio

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

Rivelatori al silicio

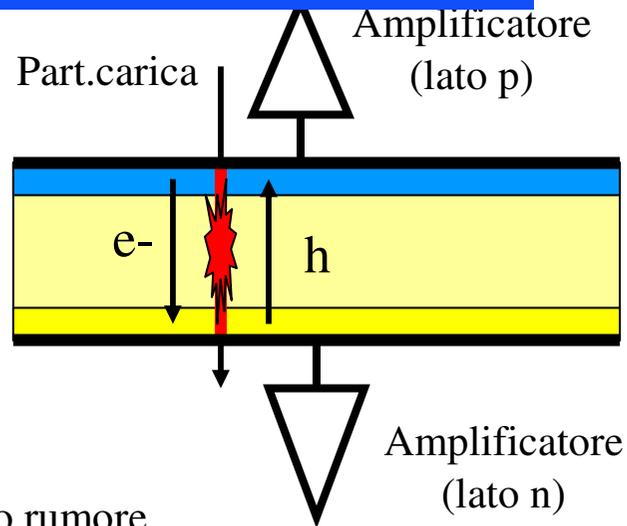
Misura del rilascio di Energia-II

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



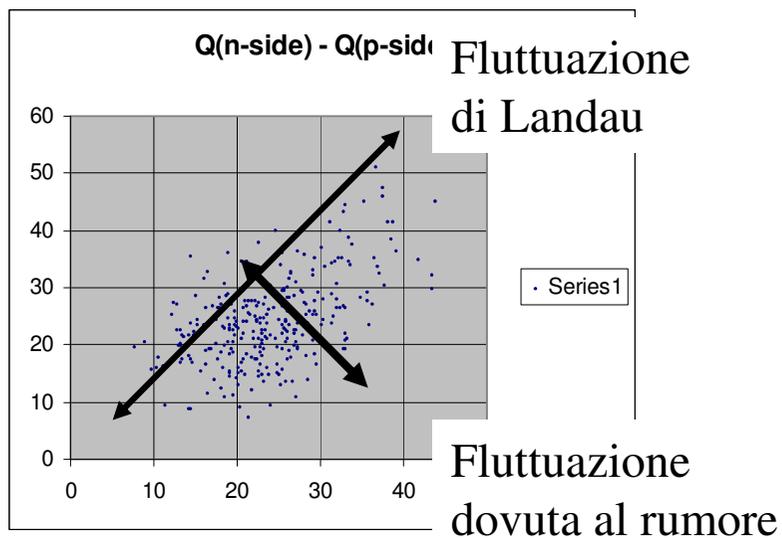
Misura dell'energia rilasciata su entrambi i dati

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



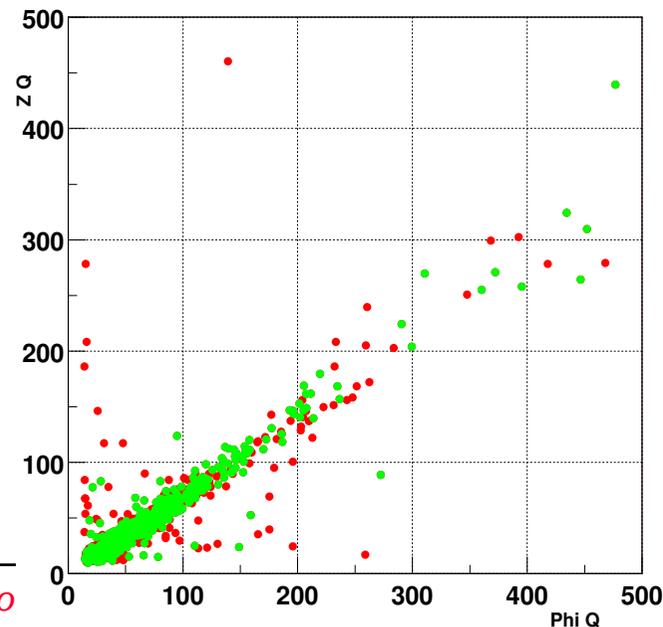
Alto rumore

Dati simulati



Basso rumore

Real data -CDF-ISL 2001



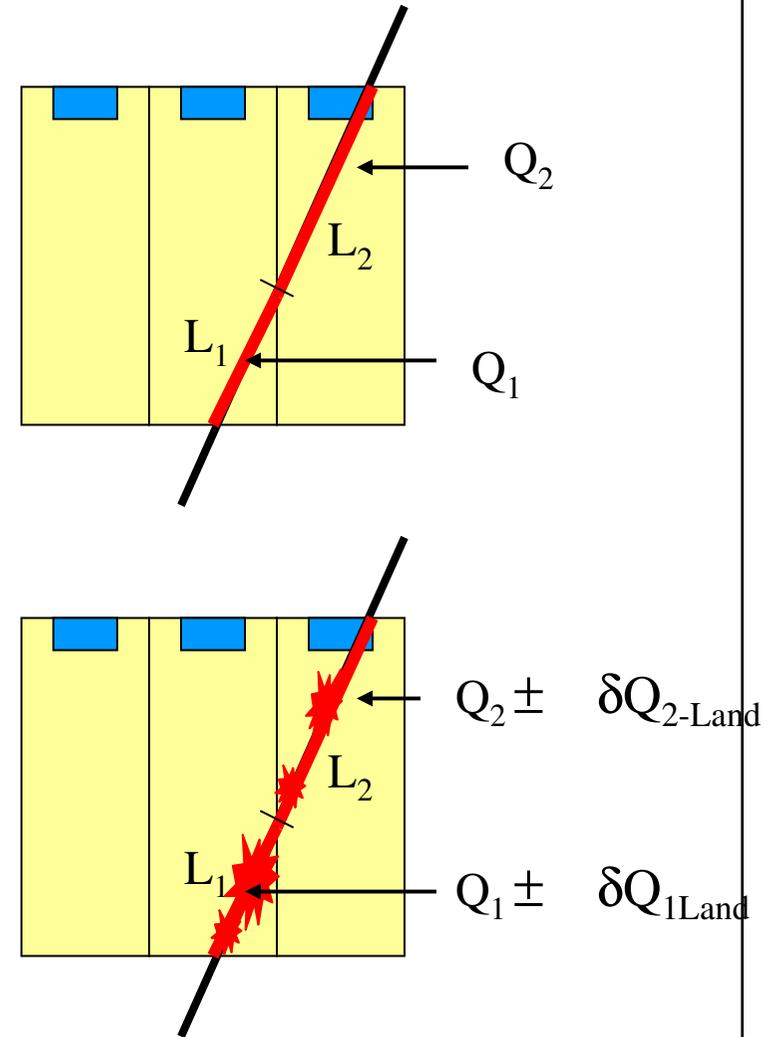
Ripartizione di carica su elettrodi adiacenti

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

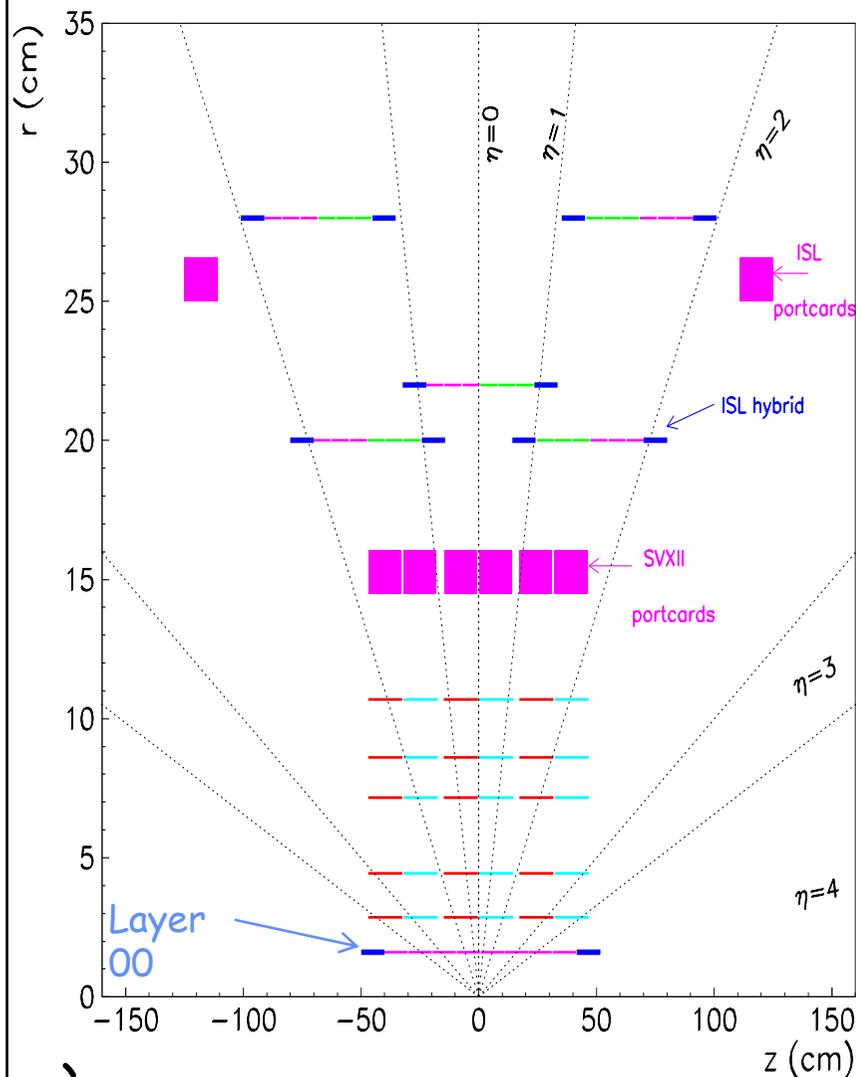
Le fluttuazioni di Landau alterano la proporzionalità fra carica e lunghezza percorsa: δQ_i circa $2000e^-$.

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

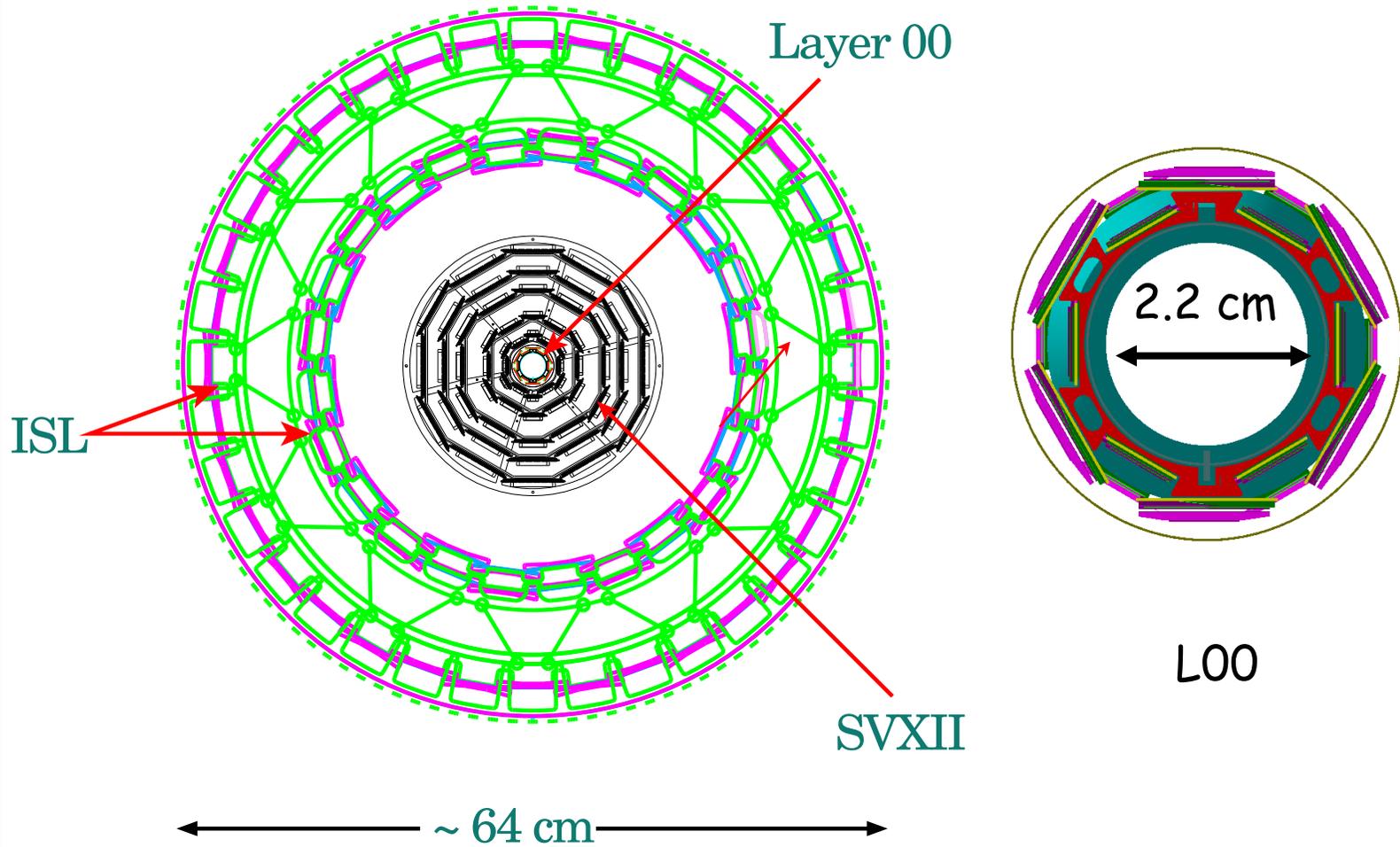
L00 è l'ultimo arrivato (aggiunto), rivelatore singola faccia rad-hard
SVXII è stato il primo:

- ☞ 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 2fb^{-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)

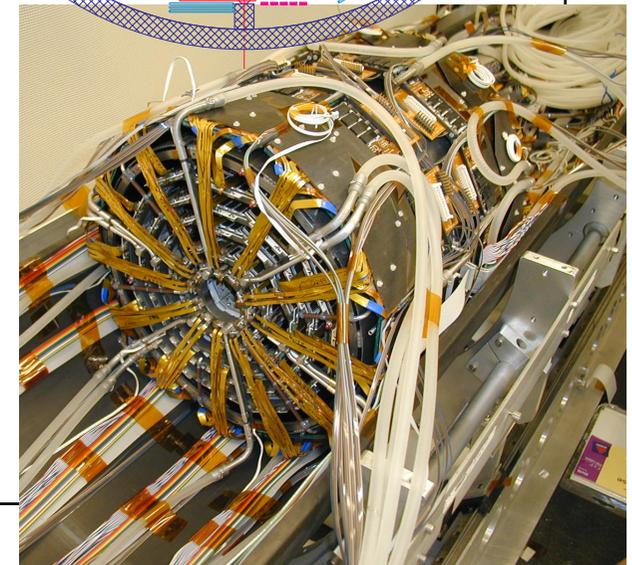
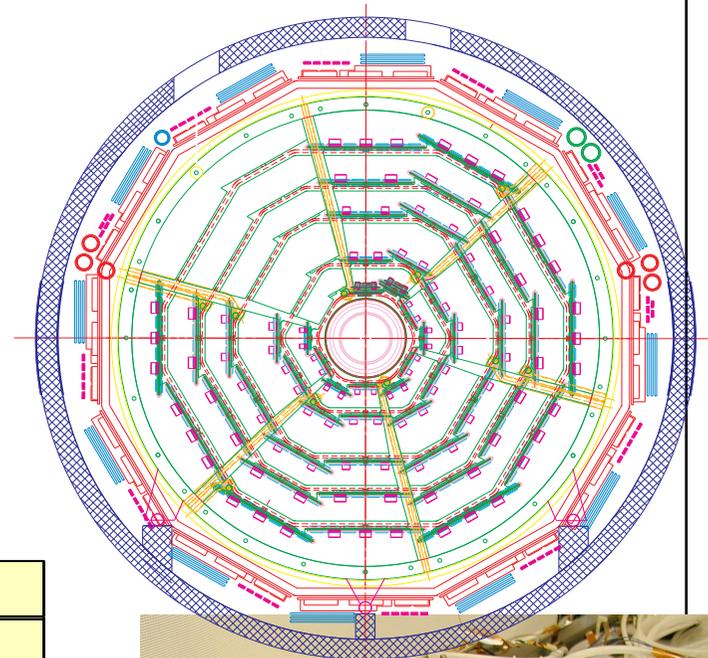
☞ sistema integrato di 7÷8 punti spaziali

⇒ tracciatore

SVXII

Main CDF silicon vertex detector

- ☞ ISL, L00 are improvements to SVX II
- ☞ Sensors are DS:
 - ⇒ $3 \times 90^\circ$ layers + $2 \times$ SAS layers
 - ⇒ $R-\phi$ pitch $\sim 60 \mu\text{m}$,
 - $R-z \sim 60 - 140 \mu\text{m}$ (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 = ϕ sectors	12
Each 1/2 ladder is one electrical unit of length	14.5 cm
Total number of electrical ϕ sector wedges	72
Readout channels: ϕ	211.968
Readout channels: z	193.536
Total	405.504

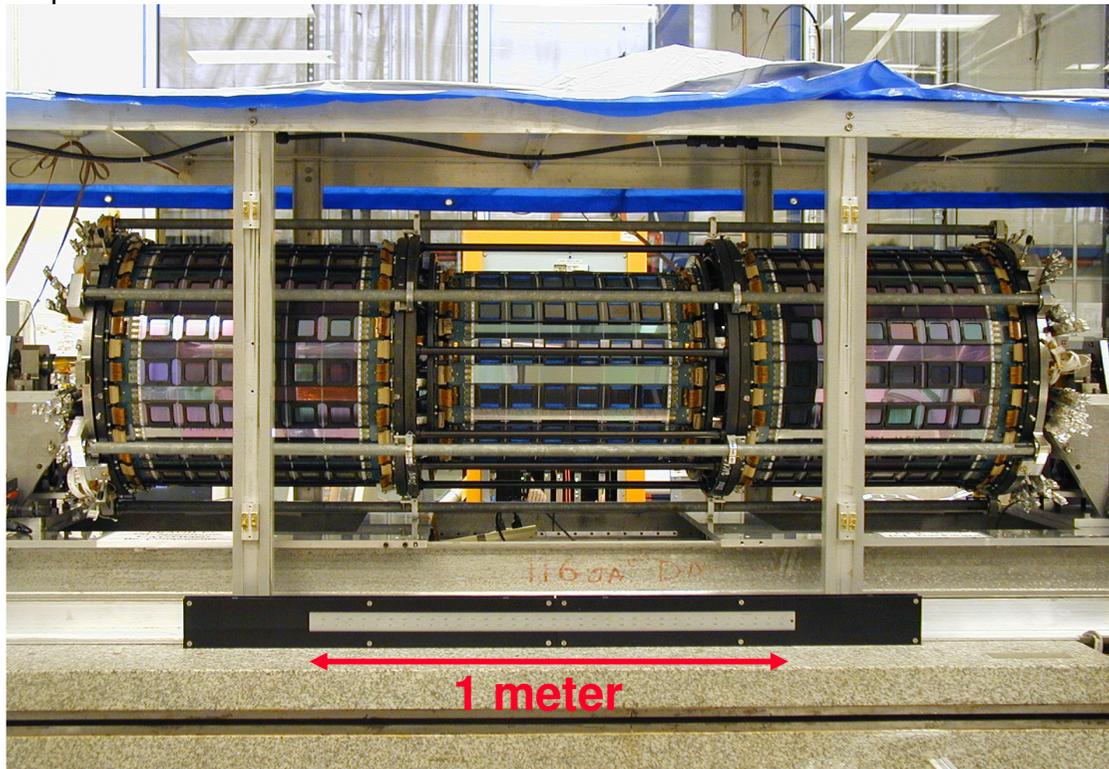
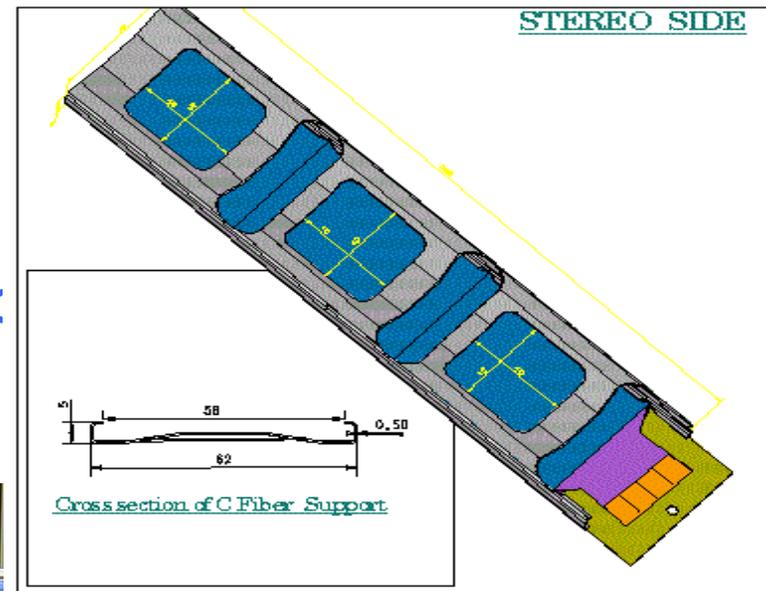
ISL

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

- ☞ raddoppia l'accettanza per *b-tagging* e l'identificazione di elettroni/ γ

Il più grande tracciatore costruito

- ☞ La struttura di supporto è una sfida



• Sensori:

- doppia faccia tutti con angolo stereo a piccolo angolo
- 112 μm pitch

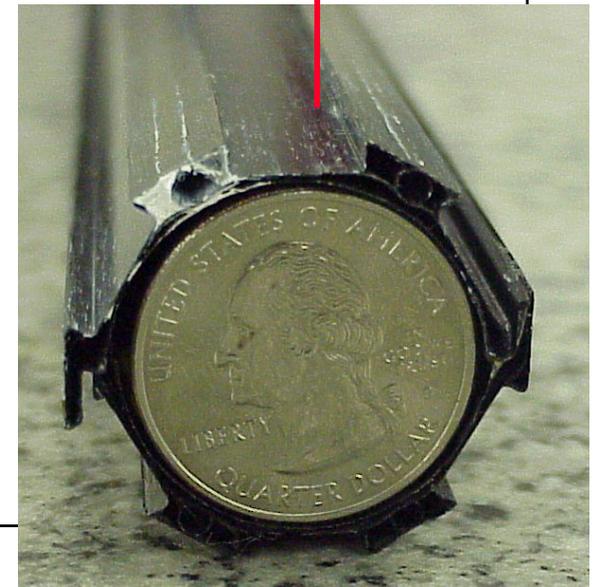
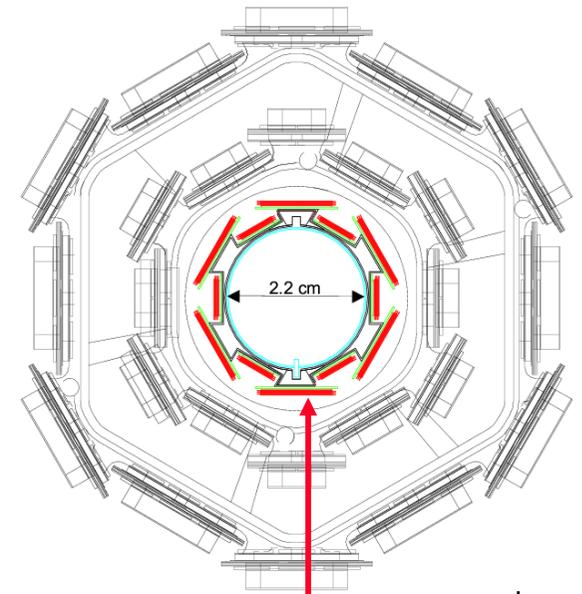
• Supporto

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

LOO

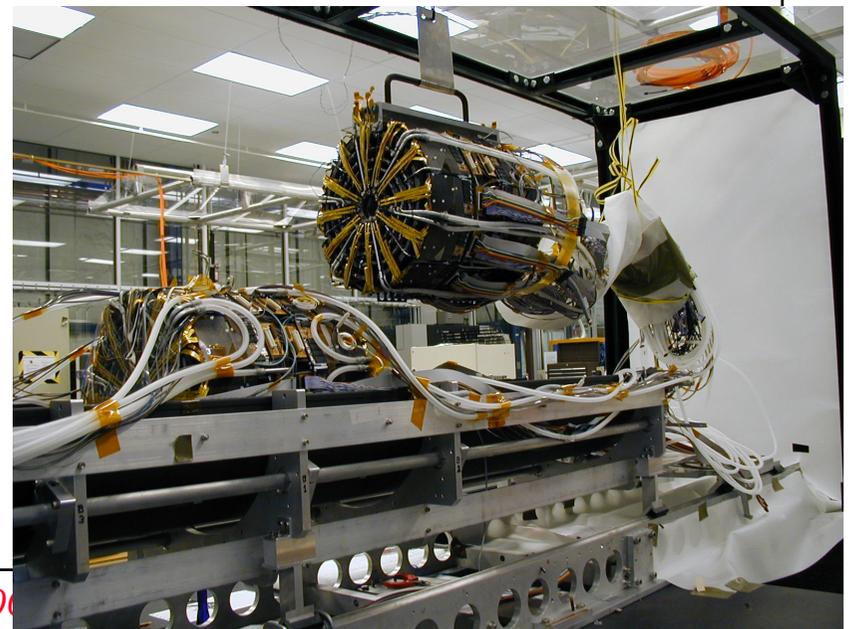
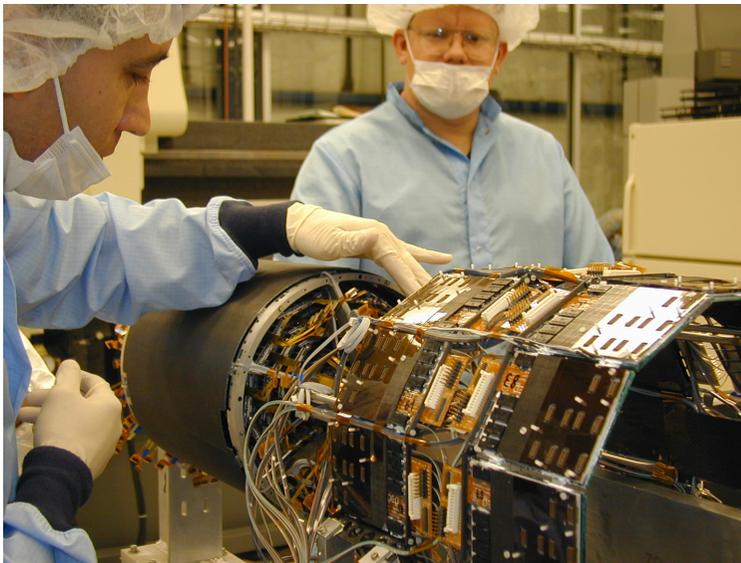
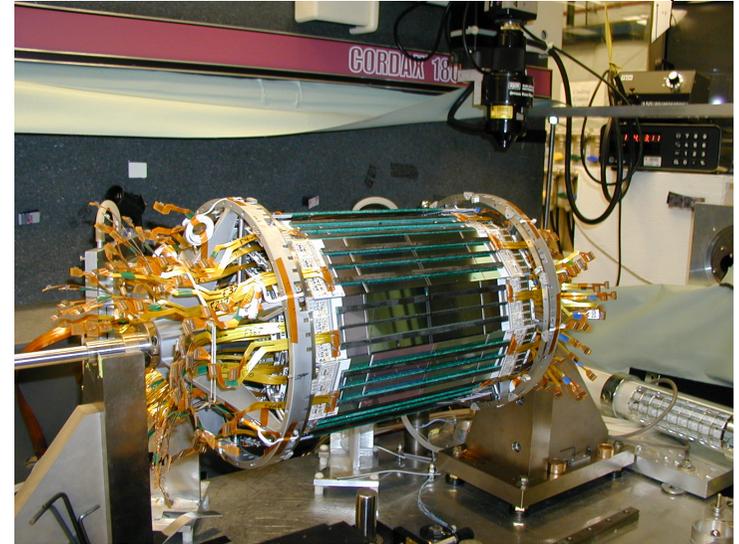
Rivelatore più interno di CDF:

- ☞ 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 μm pitch, 50 μm 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



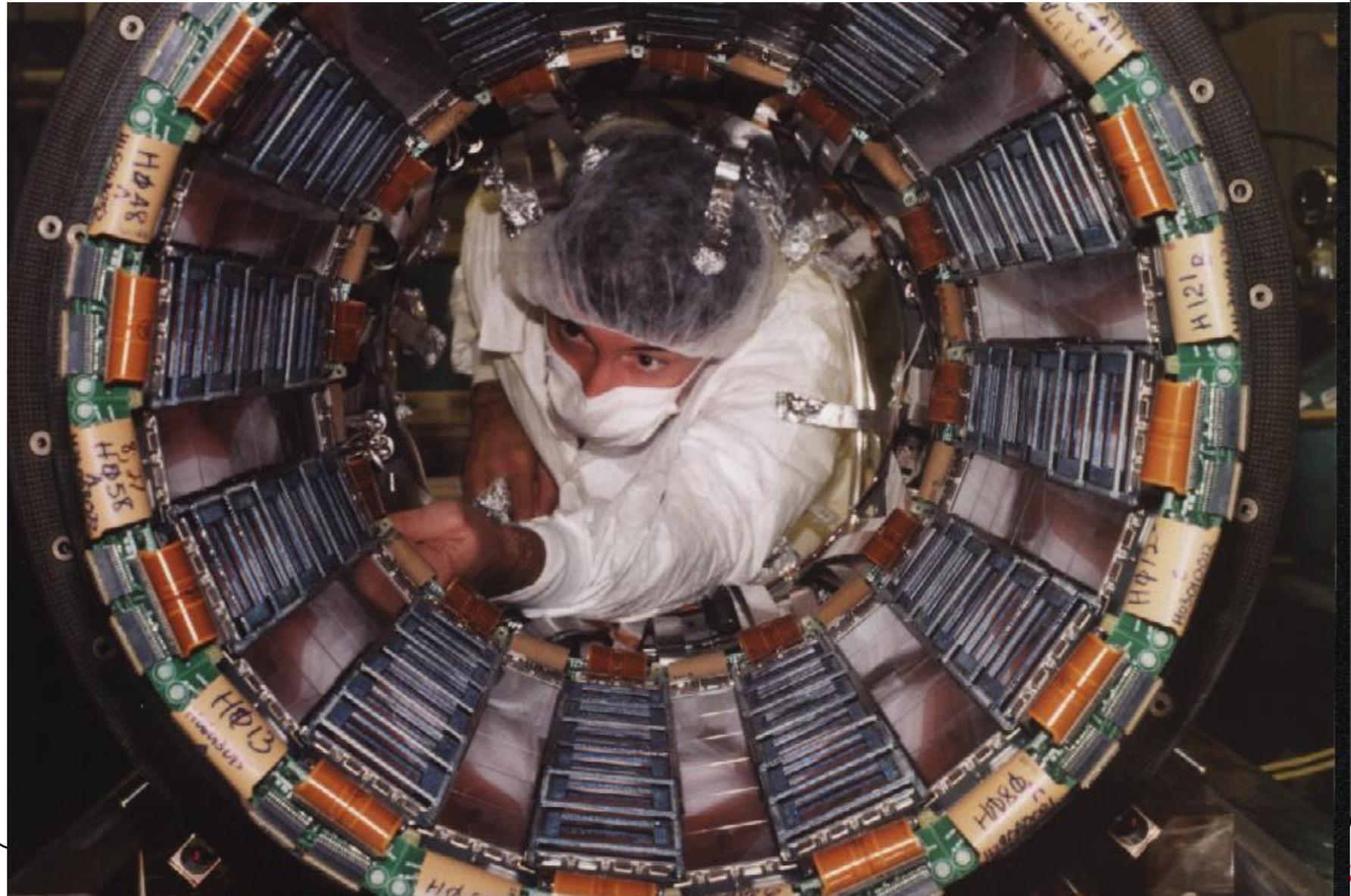
Fermilab, Agosto 200

SVX II

Installation in ISL



ISL

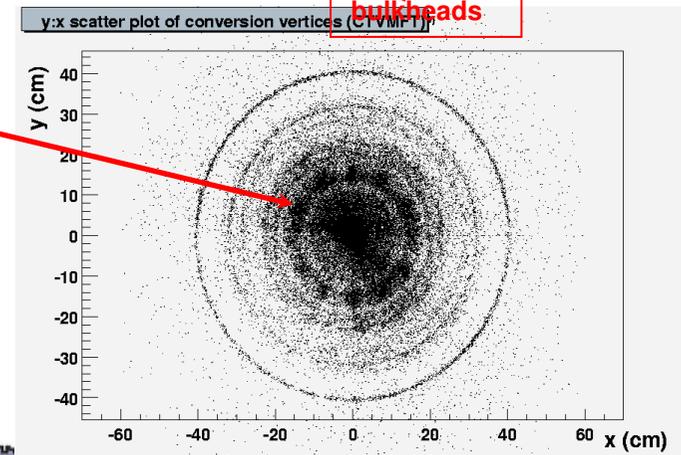
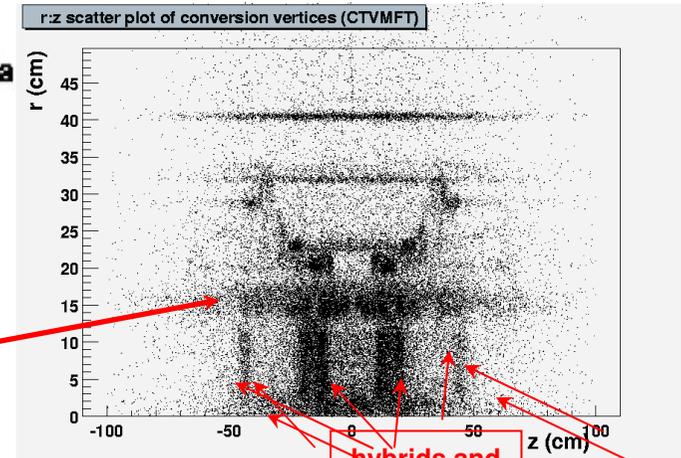
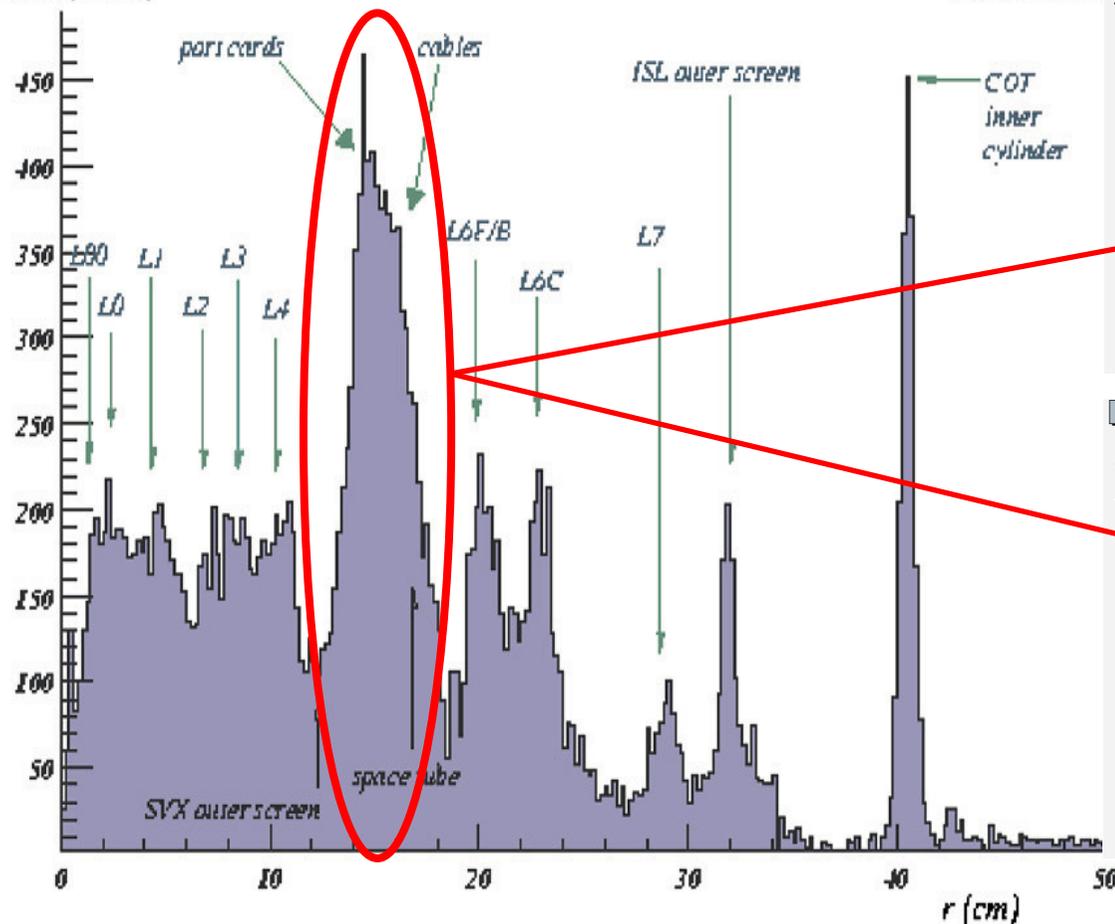


Material budget: il silicio conta poco

Radiografia di un esperimento con le conversioni dei γ

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

