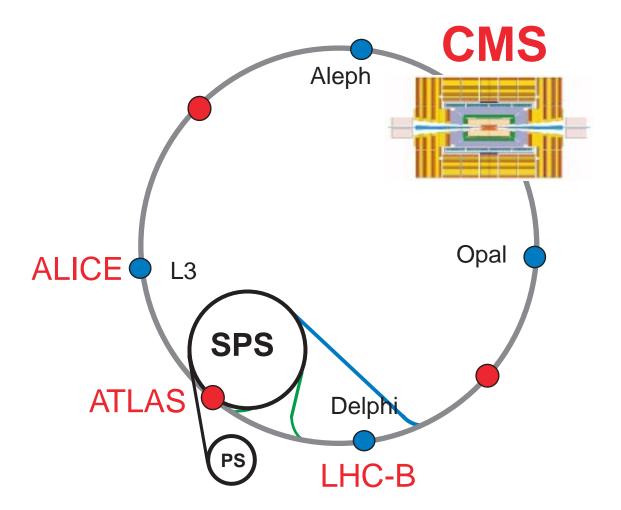
I Rivelatori dell'esperimento CMS al Large Hadron Collider



G. Zumerle, Univ. Padova
VIII giornate di studio sui rivelatori
Torino, villa Gualino
17-20 febbraio 1998

L'esperimento CMS a LHC

I rivelatori dell'esperimento CMS a LHC

G. Zumerle, Univ. Padova

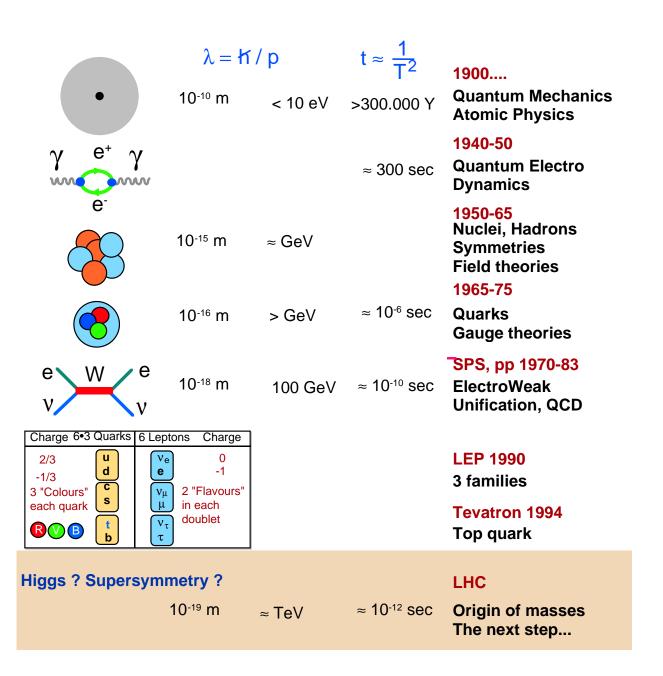
VIII giornate di studio sui rivelatori

Torino, villa Gualino

17- 19 febbraio 1998

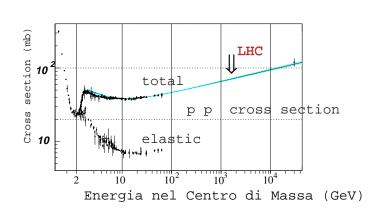
- Obbiettivi sperimentali
- Caratteristiche di LHC
- Metodi di misura
- La concezione di CMS
- I sottorivelatori:
 - · magnete
 - · rivelatori di tracce
 - · calorimetri
 - · rivelatori di μ
 - trigger e data acquisition
- Conclusioni

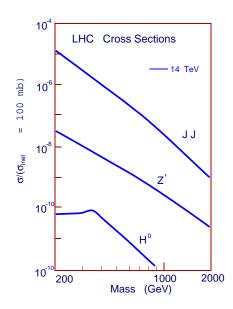
Breve storia



Prossimi obbiettivi

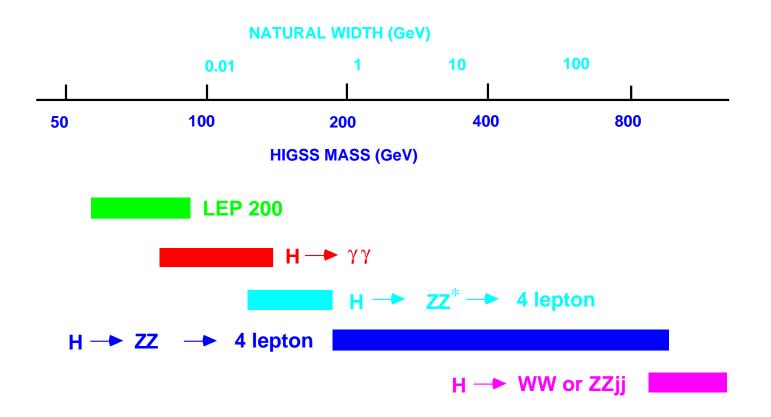
- Il prossimo obbiettivo e' la ricerca di oggetti di massa elevata, da ~100 GeV a 1 TeV.
- Le sezioni d'urto di produzione sono quindi piccole.
- Un collider p p puo' fornire luminosita' elevata in un ampio spettro di energie di collisione dei costituenti
- Il prezzo da pagare e' che gli eventi interessanti saranno complessi e spersi in un mare di eventi di fondo





sezione d'urto totale ed elastica per collisioni p p Rapporto tra sezioni d'urto "interessanti" e sezione d'urto inelastica

RICERCA BOSONE di HIGGS



•	La rivelazione del bosone di Higgs tra 100 e 1000
	GeV richiede un rivelatore con buone prestazioni
	per svariati stati finali. Esso e' quindi in grado di
	gettar luce su numerose altre questioni
	fondamentali ancora aperte.

0	esistenza	particel	le supersi	mmetri	che
---	-----------	----------	------------	--------	-----

- presenza di sottostrutture nelle particelle elementari
- esistenza di altre famiglie di quark e leptoni oltre alle 3 note
- proprieta' quark top
- proprieta' quark b, e misura degli elementi della matrice CKM
- esistenza del quark-gluon plasma nelle interazioni tra ioni pesanti
- o ed altre . . .

Caratteristiche di LHC

Energia 7 + 7 TeV

o n. di bunch 2835 + 2835

periodo degli incroci25 ns

o Luminosita' 10³⁴ cm⁻²s⁻¹

Sezione d'urto p p- 100 mb

Frequenza delle

interazioni (L· σ) 10⁹ Hz

o numero di interazioni per

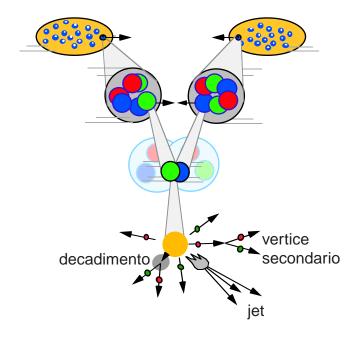
incrocio ~ 20

o frazione eventi interessanti 1 / 10 000 000 000

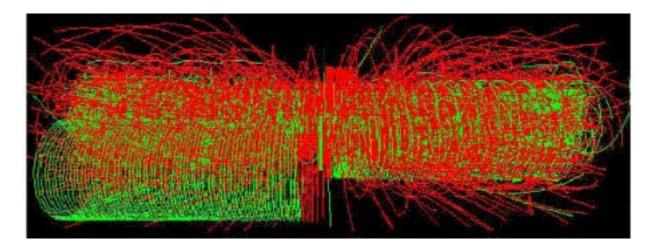
Le conseguenti richieste per i rivelatori sono impegnative

- elevatissimo numero di canali
- tempo di risposta rapido (possibilmente <25 ns)
- o resistenza a radiazione
- o elevata affidabilita', dato che l'accesso sara' difficile
- costo sostenibile

Cosa misurare, e come

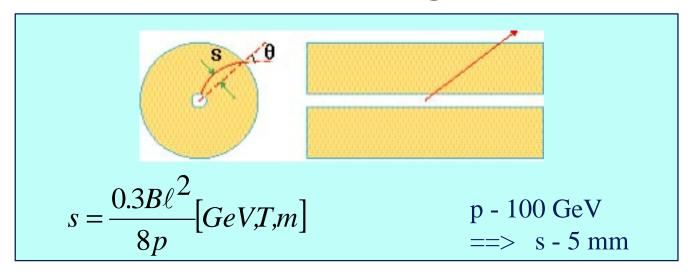


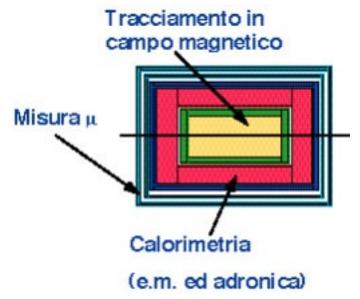
In ciascuna delle 20 interazioni ad ogni incrocio sono prodotte centinaia di particelle cariche e neutre.



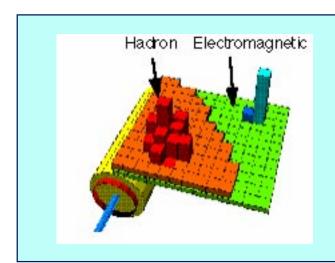
- Come misurare eventi cosi' complessi?
- Quali variabili conviene misurare? Con che precisone?
- o Come risalire alla interazione primaria tra i partoni?

Misura momento ed energia





L'esperimento e' composto da gusci di sottorivelatori specializzati



$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus \frac{b}{E} \oplus c$$

La risoluzione migliora al crescere dell'energia.

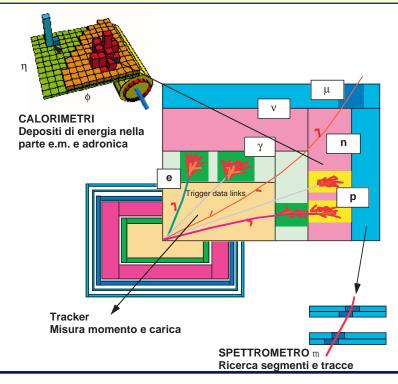
Altri aspetti (ermeticita') possono diventare prevalenti

Identificazione delle particelle

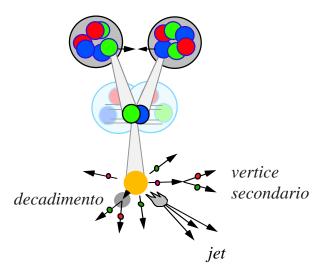
La presenza di strati successivi di rivelatori con proprieta' diverse permette l'identificazione del tipo di particella dal confronto dei diversi segnali.

Se l'esperimento e' sufficientemente ermetico possono essere misurate anche particelle neutre "non" interagenti (neutrini o altro) tramite la presenza di un flusso di energia non bilanciato

	Track	e.m.	had	μ	
е	X	X			
γ			X		
had carich	i x	(x)	X		
had neutri		(x)	X		
μ	x	(x)	(x)	X	
ν					E _T
·	X	(x)	(x)	X	E _T



Risalire all'interazione primaria



Le particelle che si osservano e misurano sono i prodotti finali di vari processi: adronizzazione dei quark o decadimenti. I progenitori si ricostruiscono attraverso varie tecniche:

- quarks ⇒ jets ⇒ clusterizzazione di tracce/depositi di energia. Serve buona capacita' di riconoscimento tracce in presenza di un'alta densita' delle stesse
- decadimenti a vita media molto corta (Z,W,H, top...) ⇒
 massa invariante. Serve buona precisione di misura
 per separare il segnale dal fondo
- decadimenti a vita media "lunga" ⇒ ricostruzione dei vertici secondari. Particolarmente importante per tutta la fisica del quark b. Serve ottima precisione nella misura della direzione delle tracce per riconoscere la presenza del vertice secondario dal fatto che le tracce non puntano al vertice d'interazione, cioe' hanno parametro d'impatto ≠ 0

Per particelle con vita media dell'ordine di 1 ps (b, τ), il parametro d'impatto e' dell'ordine di 100 μ m

Variabili cinematiche

- Due variabili significative
 - P_T (E_T) nel piano trasverso alla direzione dei fasci
 - P_L componente parallela ai fasci. Si preferisce quantificare la direzione rispetto ai fasci usando la rapidita' (o meglio la pseudorapidita' η)

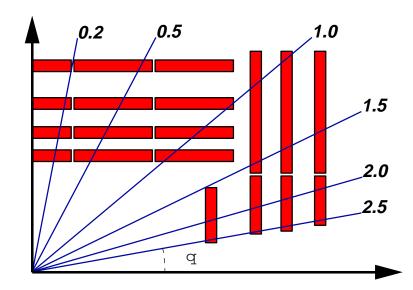
$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + P_L}{E - P_L} \approx \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \cos \vartheta}{1 - \cos \vartheta} = -\ln tg(\vartheta/2) = \eta$$

Vantaggi

Δη e' invariante per boost lungo i fasci (così come P_T)

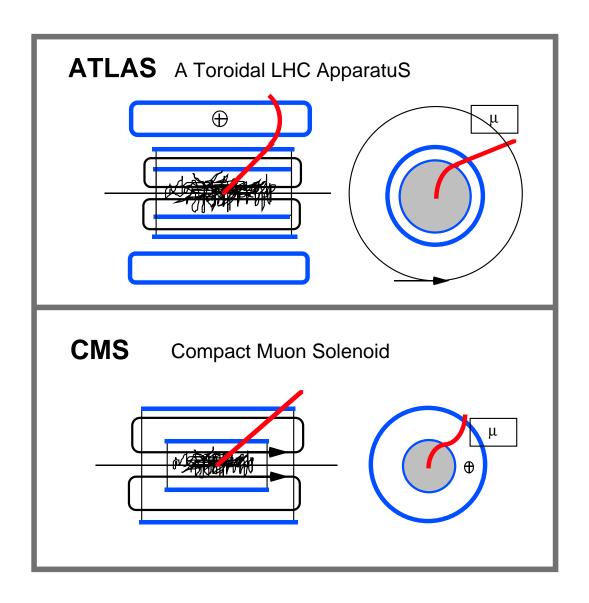
o la densita' delle particelle prodotte nelle interazioni per unita' di rapidita' e' circa costante in un largo intervallo $(\partial_n^{\pm,\gamma} \partial_n - 1 \partial_n)$

 $\left(\frac{\partial n^{\pm,\gamma}}{\partial \eta} \approx 8, \quad \frac{\partial n}{\partial \vartheta} = \frac{1}{\sin \vartheta} \frac{\partial n}{\partial \eta}\right)$



Scelta del campo magnetico

La scelta della configurazione del campo magnetico caratterizza l'aspetto generale del rivelatore. Il sistema per l'identificazione e la misura dei leptoni μ e' influenzato in modo determinante da questa scelta.



Obbiettivi di progetto di CMS

- Elevato campo magnetico solenoidale (4 T), sufficientemente lungo da permettere la misura del momento sino a η = 2.5
- Sistema per μ preciso e ridondante, sia per il trigger che per la misura
 - Risoluzione temporale <5 ns
 - Soglia in momento precisa a livello di trigger
 - o Precisione spaziale 100 μm
- Il miglior calorimetro e.m. compatibile con le richieste precedenti
 - Processo chiave H-->γγ
- Calorimetro adronico ermetico fino a $\eta = 5$ $(\theta \sim 0.8^{\circ})$
- Sistema di tracciamento di elevata qualita'
 - 12 punti per traccia in media
 - bassa occupanza dei detector (~1%), quindi buona efficienza di riconoscimento (~90÷98%)
 - Capacita' di misurare la carica fino al limite cinematico (7 TeV)
 - o Riconoscimento vertici b, τ sia nel piano r ϕ che rz

Il solenoide

 Esiste una consolidata esperienza nella costruzione di solenoidi superconduttori di grandi dimensioni :

ZEUS(84), ALEPH+ DELPHI (86), FINUDA+KLOE+BABAR (97)

• CMS richiede un ulteriore salto tecnologico

	ZEUS	ALEPH	DELPHI	CMS
Campo (T)	1.8	1.5	1.2	4.0
Diam. (m)	1.8	5.0	5.2	5.9
Lungh. (m)	2.5	7.0	7.4	12.5
Energia (MJ)	12	137	108	2520

• Soluzione:

- Avvolgimento su 4 strati
- Nuovo conduttore con rinforzo strutturale incorporato

Central Tracking: Conceptual Design

On average 12 precision hits per high p_t track

Pixel tracking: $\sigma_{r\phi}$ and $\sigma_{z} \le 15 \ \mu m$

Microstrip tracking:15 $\leq \sigma_{_{r\phi}} \leq$ 50 [µm]

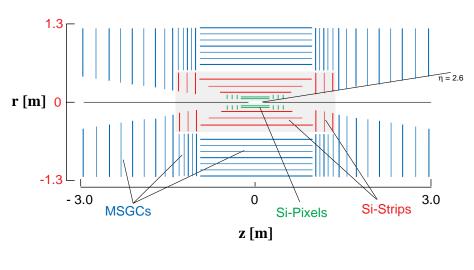
⇒ Track finding efficiency: 90-98%

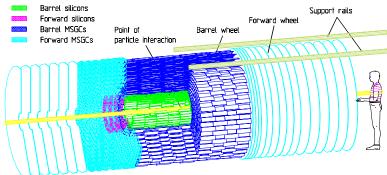
Stereo or pad readout for z-vertex (~1 mm)

Light and stable structure: 20 μm

⇒ Wheel concept

External alignment





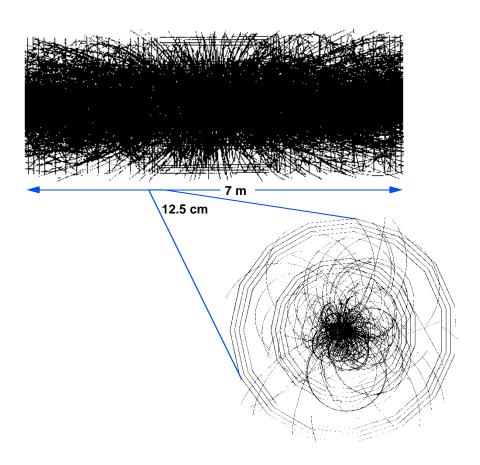
CMS, LHCC Meeting, 19 January 1995 Tracking 2

Il rivelatore centrale di tracce

Ad ogni bunch crossing 20 interazioni, che nella regione del barrel producono circa 300 particelle cariche (senza contare interazioni, particelle che spiralizzano, ...)

Se un rivelatore non discrimina tra due incroci successivi (25 ns) tale numero aumenta in proporzione al numero di incroci integrato.

la ricetta: segmentazione in z



Il^a ricetta: variare la granularita' dei rivelatori in proporzione inversa al raggio.

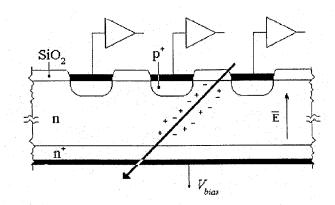
Distanza	<r></r>	pitch	lungh.	<n>/bx</n>
	(cm)	(μm)	(cm)	
pixel	10	150	150 μ m	10 ⁻³
Si μ-strip	40	100	12.5	10 ⁻²
MSGC	80	200	25	2*10 ⁻²

La granularita' necessaria per la ricostruzione delle tracce fornisce la precisione necessaria per la misura del momento

purche' si riescano a controllare gli errori sistematici

... e purche' si riescano a far funzionare i rivelatori in un ambiente cosi' ostile per tutta la durata di LHC.

Principi di funzionamento dei rivelatori a Si



Si tratta di una camera ad ionizzazione.

Segnale: 72 e⁻/ μ m * 300 μ m \approx 20.000 e⁻

Reverse bias per minimizzare corrente e quindi noise

 V_{bias} sufficiente a svuotare completamente la giunzione ($\approx 100~V) \Rightarrow C_D$ minima, quindi noise minimo

Tempo di risposta rapido (≈20 ns)

Segmentazione (pitch \approx 100 μ m) per misurare una coordinata. Precisione:

- lettura digitale : pitch/√12 (≈30μm)

lettura ampiezza segnale ≈10μm (dipende da S/N)

Per avere due coordinate:

- segmentazione in entrambe le facce (complesso e costoso)
- due rivelatori singoli accoppiati

Danno da radiazione

Il passaggio di radiazione ionizzante modifica la struttura del materiale provocando la creazione di accettori (fino all'inversione del tipo di silicio).

Conseguenze;

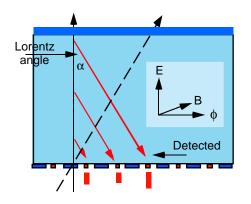
- crescita della corrente di leakage, quindi del rumore
- aumento della tensione necessaria per lo svuotamento

Rimedi

- diminuzione della superficie degli elettrodi (area pixel 10⁻² ÷ 10⁻³ inferiore ad area strip)
- aumento tensione massima sopportata dai rivelatori (si arriva a V_{breakdown} ≈ 1000 V)
- operazione a bassa temperatura (0° C)
- drogaggio materiale per eliminare il problema alla sorgente (R&D ROSE)

Effetto del campo magnetico

Nei rivelatori basati su drift di cariche la forza di Lorentz piega le linee di drift.



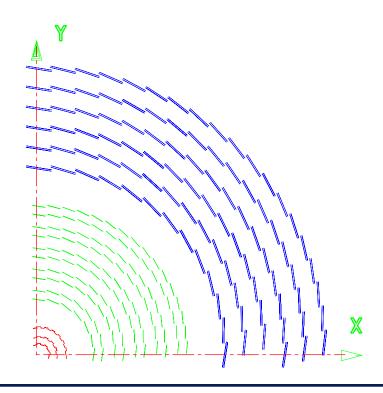
Le linee di deriva sono inclinate dal campo magnetico.

L'effetto e' analogo a quello che si ha in presenza di una traccia inclinata (linea tratteggiata)

- il segnale si distribuisce su piu' elettrodi (su ciascuno di essi e' minore)
- la risoluzione spaziale peggiora

Cura:

inclinare i rivelatori sino a che le linee di drift tornino perpendicolari alla faccia ⇒ risoluzione ottimizzata per tracce di alto momento



Micro Strip Gas Chambers (MSGC) e Micro Gap Chambers (MGC)

Amplificazione della ionizzazione rilasciata in una sottile (~3 mm) gap di gas.

I "fili" sono costituiti da sottili strisce conduttive depositate su un substrato isolante.

Gas ad elevata ionizzazione (Ne/DME 30/70%)

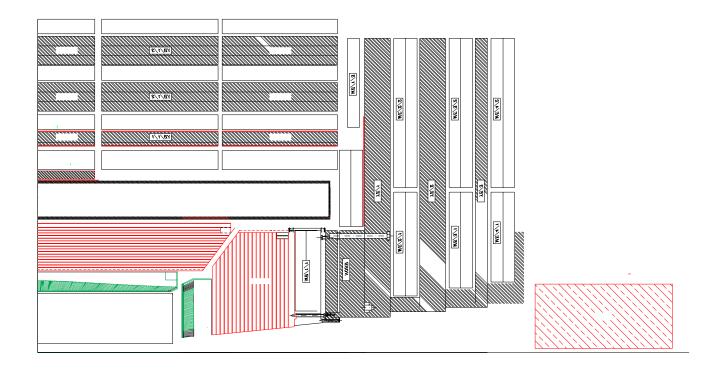
Vantaggi rispetto a contatori a gas convenzionali

- Granularita' molto elevata (pitch 100 ÷ 200 μm)
- elevata risoluzione spaziale (30 μ m) e risoluzione di due tracce (\approx 200 μ m) ottenuta in un tempo molto breve (< 50 ns)
- capacita' di sostenre rate molto piu' elevate, per il breve tempo di raccolta degli ioni
- migliore risoluzione energetica (≈12% FWHM a 6 keV) a causa della definizione estremamente precisa (≈0.1 μm)

Svantaggi

- piccola area (≈30 x 30 cm²)
- guadagno in gas limitato (≈10⁴)

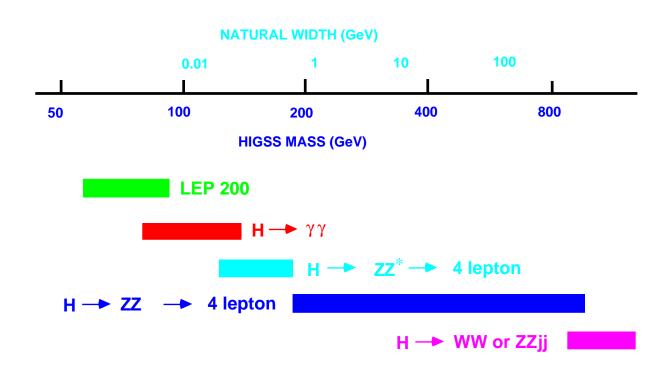
Calorimetria



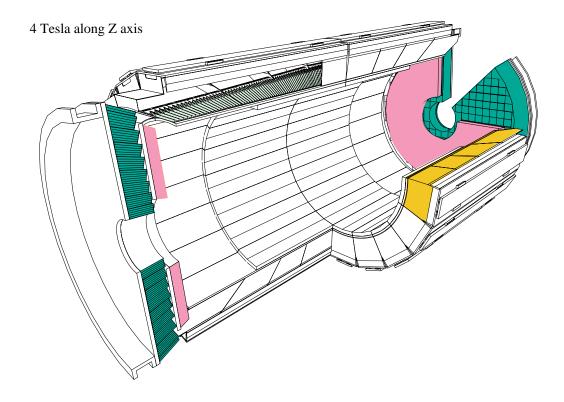
Calorimetro elettromagnetico

Principale obbiettivo:

Rivelazione del bosone di Higgs nell'intervallo di massa 80 - 130 GeV/c².



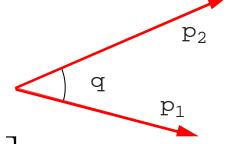
Calorimetro e.m.



Parameter	Barrel	Endcaps
η coverage	$ \eta < 1.48$	$1.48 < \eta < 3.0$
r inner, r outer [mm]	1238, 1750	316, 1711
z inner, z outer [mm]	$0, \pm 3045$	$\pm 3170, \pm 3900$
Δη x Δφ	0.0175 x 0.0175	0.0175 x 0.0175 to 0.05 x 0.05
Crystal dim.[mm3]	21.8 x 21.8 x 230	24.7 x 24.7 x 220
Depth in X0	25.8	24.7
Off-pointing	3 deg.	Å 3 deg.
No. of crystals	61 200	21 523
Volume [m3]	8.14	3.04
Crystal weight [t]	67.4	25.2
Modularity	36 supermodules	4 Dees
crystals	1700 per SM (20 in φ, 85 in η]	5382 per Dee

Risoluzione nella massa invariante

$$M^2 = 4 E_1 E_2 \sin^2 \frac{\vartheta}{2}$$



$$\frac{\sigma_{\scriptscriptstyle M}}{M} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sigma_{\scriptscriptstyle E_1}}{E_1} \oplus \frac{\sigma_{\scriptscriptstyle E_2}}{E_2} \oplus \frac{\sigma_{\scriptscriptstyle \vartheta}}{\tan \vartheta/2} \right]$$

Con

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus b \oplus \frac{c}{E}$$

$$\frac{a}{\sqrt{E}}$$
 termine intrinseco + statistica fotoni b calibrazione + stabilita' rumore elettronico

Per un calorimetro omogeneo si puo' avere

Per dare un contributo paragonabile :

ed una risoluzione angolare

$$\sigma_{\theta} \sim 50 \text{ mrad} / \sqrt{E} \text{ (GeV)}$$

Scelta PbO₄

Cristallo scintillante omogeneo ⇒ risoluzione in energia ottima

Lunghezza di radiazione X_0 corta \Rightarrow 23 X_0 nello spazio disponibile

raggio Moliere piccolo \Rightarrow possibilita' di fine segmentazione laterale, quindi buona risoluzione spaziale e buona discriminazione π^0/γ

costante di tempo di scintillazione molto breve ⇒ poco pile-up da eventi precedenti

Buone capacita' produttive esistenti

Proprieta' PbWO₄

Parametro	Valore
Lunghezza radiazione cm	0.89
Raggio di Molière cm	2.2
Indice rifrazione	2.3
Picco di emissione nm	440
% di luce in 25 ns	80%
Light yield γ/MeV	100

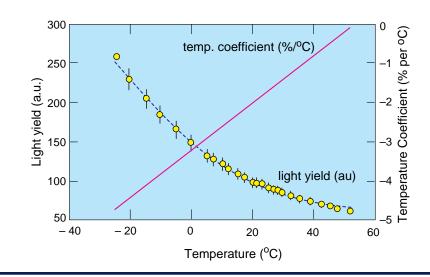
Aspetti problematici:

Emissione di luce non abbondante

⇒ uso di fotorivelatori con amplificazione (APD)

Sensibilita' marcata a variazioni di temperatura

⇒ termostatazione accurata ± 0.05°



Come ottenere la risoluzione di progetto

Ottenere la risoluzione di progetto richiede l'ottimizzazione di svariate caratteristiche dei singoli cristalli e del sistema calorimetro

uniformita' longitudinale e trasversale della risposta dei cristalli

resistenza a radiazione

stabilita' di risposta del fotorivelatore

sistema di monitor per correggere instabilita' residue

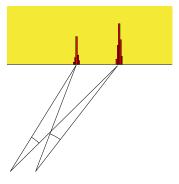
calibrazione accurata

assenza di spazi morti tra cristalli

correzione per materiale di fronte al calorimetro

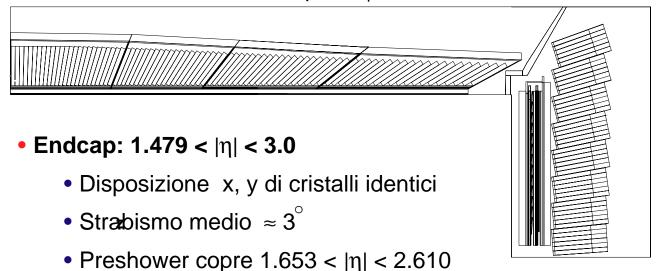
catena elettronica con grande range dinamico (10 MeV ÷ 1 TeV necessari 16 bit)

misura direzione fotoni (individuazione vertice)



Geometria

- Barrel: $|\eta| < 1.479$ (17 trigger towers di 0.087)
 - Forma cristalli dipende da η
 - Strabismo di 3°sia in η che φ



Assemblaggio quasi ermetico ottenuto con strutture in fibra di carbonio (sottili e a basso Z):

(assorbitore $2 + 1 X_0 + Si strips 1.9 mm)$

spazio tra cristalli < 0.5 mm

spazio tra moduli < 6 mm

Effetto spazi morti minimizzato dallo strabismo nel puntamento

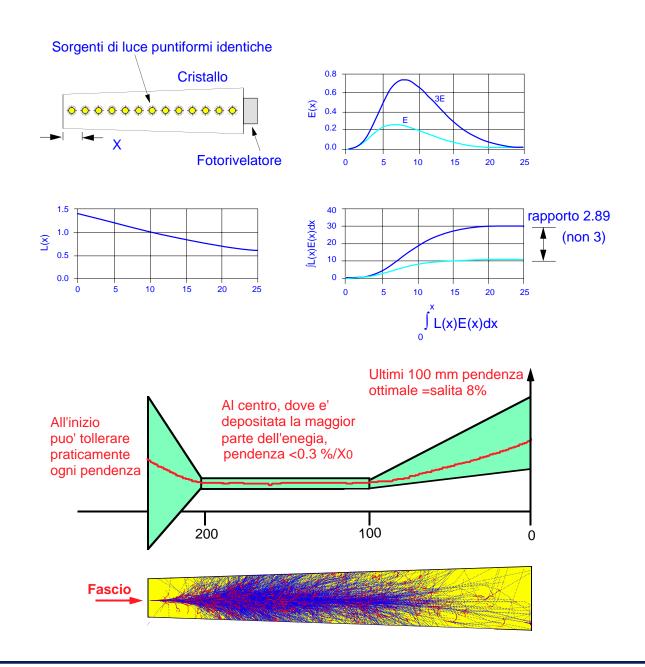
Uniformita' longitudinale

Dipende da:

trasparenza

focalizzazione luce per riflessione su pareti inclinate

Ha effetto su linearita' e risoluzione



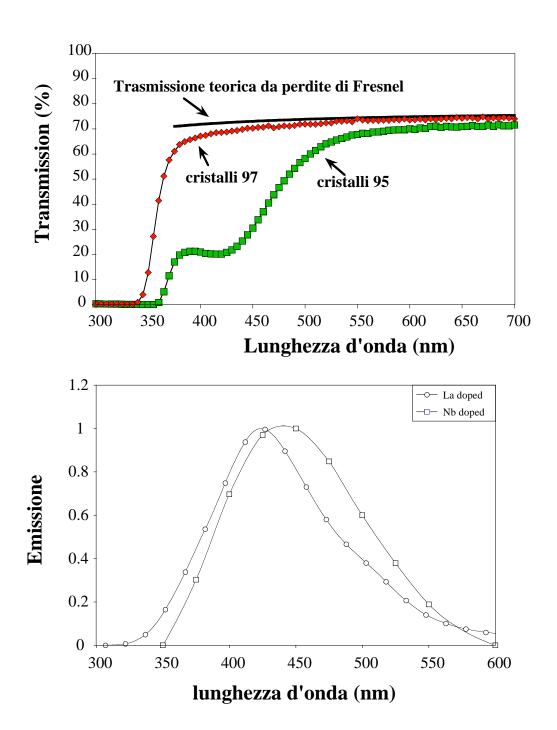
Resistenza a radiazione dei cristalli

Intenso lavoro di R&D per capire il fenomeno e quindi minimizzarlo.

Conclusioni:

- > Il danno e' prodotto solo da radiazione e.m.
- il meccanismo di scintillazione non viene danneggiato
- la trasparenza diminuisce per la formazione di centri di colore
- → Se L_{ass} >> L _{intr} la curva di uniformita' non viene modificata dall'irraggiamento (la risoluzione non viene peggiorata)
- Il danno dipende dall'intensita' della dose, per il gioco contrapposto di danneggiamento ed annealing del danno a temperatura ambiente
- → La resistenza a radiazione e' migliorabile eliminando alcune impurita' e scegliendo opportunamente la tecnologia di crescita dei cristalli

La comprensione dei meccanismi di scintillazione ha portato un miglioramento complessivo della qualita' dei cristalli



Localizzazione del vertice

- La zona di incrocio dei fasci ha dimensione lungo z $\sigma_{\text{vertice}} \sim$ 53 mm
- se Z vertice e' sconosciuto, l'errore angolare contribuisce con ~1.5 GeV a σ_{massa} (H->γγ)

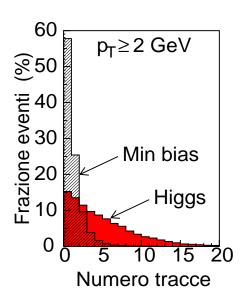
Come individuare la posizione del vertice ?

- 1) Hardware: misurare la direzione dei fotoni.
 - punto di ingresso misurato con preshower
 - posizione media nel calorimetro da ripartizione energia in cristalli adiacenti

Comporta leggera degradazione nella misura dell'energia

- 2) Software: sfrutta le caratteristiche peculiari degli eventi in cui e' prodotto un bosone di Higgs:
 - gli eventi con Higgs hanno piu' energia trasversa
 - hanno piu' tracce con alto p_T
 - le tracce ad alto P_T sono opposte alla direzione dell'Higgs

Questo metodo richiede luminosita' non troppo elevata



Fotorivelatori

Requisiti:

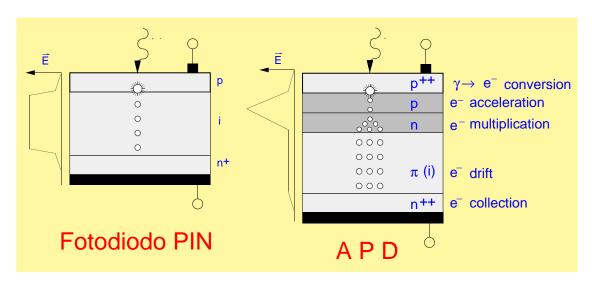
funzionamento in 4 T amplificazione del segnale

Scelta per End Cap: Vacuum Photo Triode

gia' usati a LEP

funzionano con campo magnetico quasi assiale

Scelta per barrel: Avalanche Photo Diode



Vantaggi APD rispetto a PIN

amplificazione (~50)

poco sensibili all'attraversamento di particelle cariche

Problemi

dipendenza guadagno da temperatura (dM/MdT=2%/°C) e da tensione alimentazione (dM/MdV=1%/V)

problemi di resistenza a radiazione tipici del silicio

Calorimetro adronico

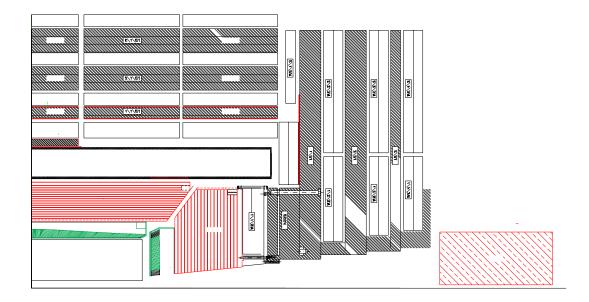
Obbiettivi:

- Misura di energia e direzione dei jet
- Misura di energia mancante
- Risoluzione energetica:

 $\sigma/E = 100\%/\sqrt{E \oplus 5\%}$ (E in GeV)

Requisiti:

- Estendere l'accettanza in η il piu' possibile
- Garantire la miglior ermeticita' (piu' importante della risoluzione!) del sistema HCAL (Barrel, Forward, Very Fwd)
- Assicurre una adeguata profondita' di campionamento per evitare leakage



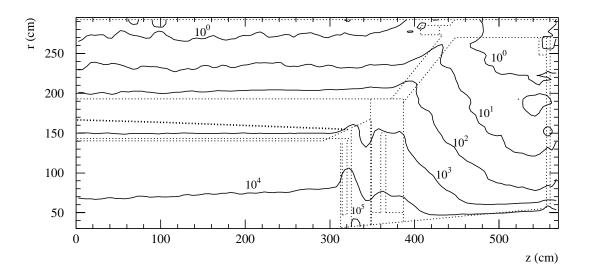
Soluzioni diverse nelle diverse regioni angolari

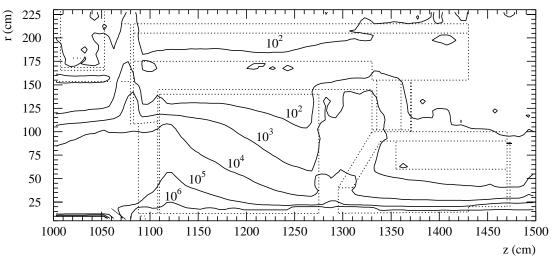
• |η| < 3

Rame + scintillatore

• 3 < | η | < 5

Rame + fibre quarzo





radiation dose in Gy for 5 10⁵ pb⁻¹

HCAL design

- Copper Scintillator tile calorimeter in barrel (1η1<1.5) and endcap (1.5<1η1<3)
 Tail Catcher (TC) covers (1η1<0.4) to provide adequate depth
 Coil instrumented with a scintillator layer ("massless gap")
- Separate forward calorimeters cover IηI>3 → see /æer

• Thickness: $HCAL \sim 5.5 \lambda (\eta = 0) + 1.1 \lambda$ in ECAL, 1.5λ in coil, 1.1λ in TC behind coil

~ 10.8 λ (η = 1.3) ~ 11 λ in endcap

Segmentation: longitudinal — two depths (finer absorber plates in first layer)

transverse — projective towers with $\Delta \eta \times \Delta \phi = 0.087 \times 0.087$

Readout: Embedded wavelength-shifting fibres (as in CDF forward upgrade)

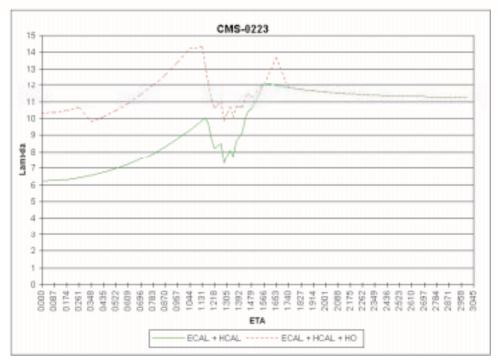


Dynamic range: 20 MeV (muon) → 2 TeV (maximum jet energy)

Calibration: 137Cs sources in tubes, Taser light, and collider data



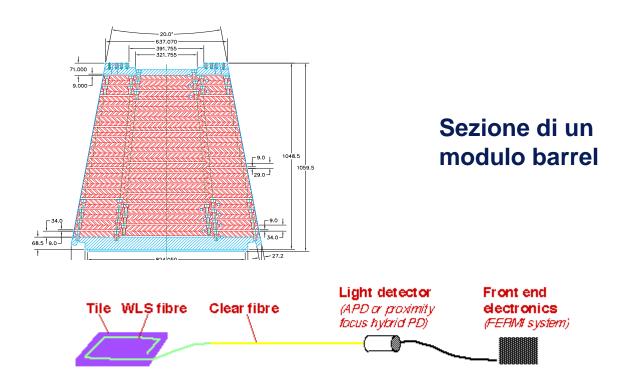
J.Womersley / UCL A Feb 1995



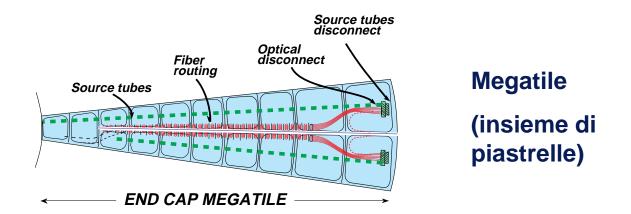
HCAL

Calorimetro a campionamento rame/scintillatore

Segmentazione longitudinale (x2) e trasversale ($\Delta \phi x \Delta \eta = 0.087 x 0.087$)



Tile (piastrella) di scintillatore e sistema di raccolta luce

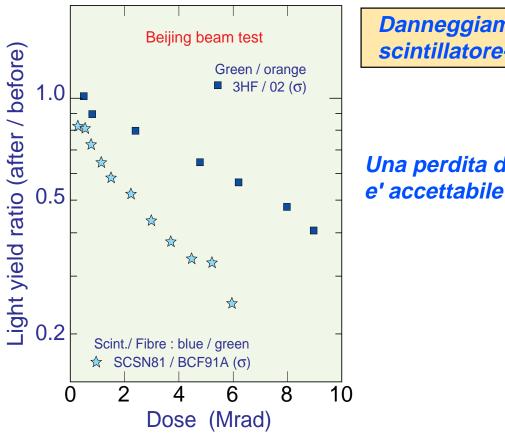


HCAL - scintillatore

Alle dosi aspettate lo scintillatore e la fibra vengono danneggiate (light yield, trasparenza).

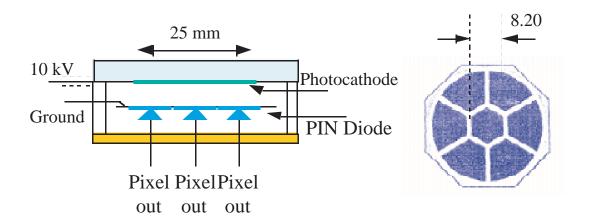
La perdita puo' essere monitorata con sufficiente precisione.

Anche il campo magnetico influenza la efficienza di emissione dello scintillatore. L'effetto, leggermente diverso per i diversi tipi di particelle, e' predicibile con sufficiente accuratezza.



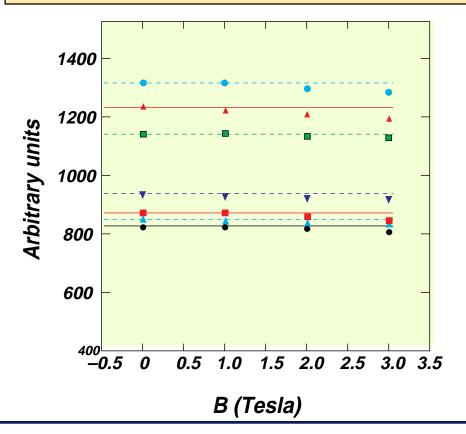
Una perdita del 30%

Fotorivelatori (Hybrid Photo Detector)



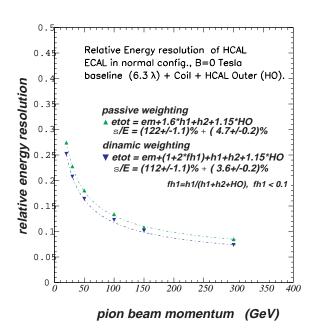
HPD Schematic and tube structure.

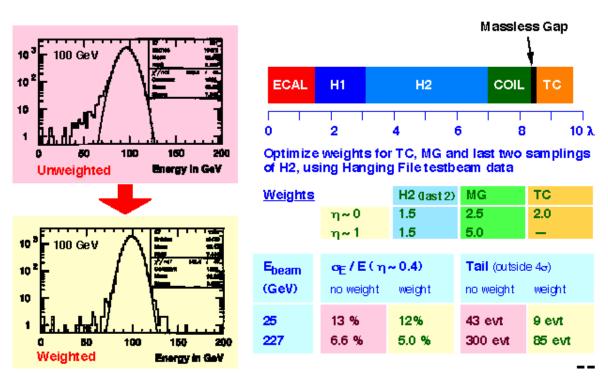
Effect of axial magnetic field on gain of proximity focussed hybrid photomultipliers



Risoluzione

Viene ottimizzata, riducendo contemporaneamente le code a bassa energia, pesando opportunamente i segnali delle diverse parti.





Very Forward Calorimeter

Importante per migliorare la precisione su $E_{T \, miss}$

Ambiente molto ostile:

elevato flusso di radiazioni (1 Grad) elevata densita' di particelle

Soluzione: fibre di quarzo in matrice di rame

Si misura la luce Cerenkov prodotta nella fibra fibre parallele ai fasci, torri quasi puntanti

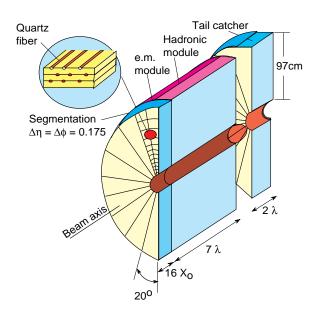
Vantaggi:

elevatissima resistenza a radiazioni (30 Grad)

non sensibile a neutroni o adroni di bassa energia e a radioattivita' indotta

sensibile prevalentemente alla componente e.m. degli sciami (piccole dimensioni laterali)

risposta molto rapida

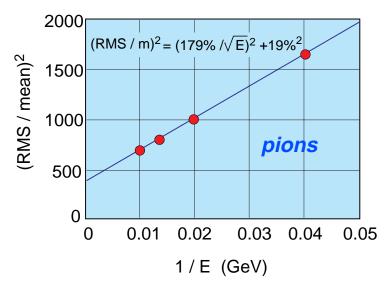


VF Cal - prestazioni

Quartz Fibre VF : Performance

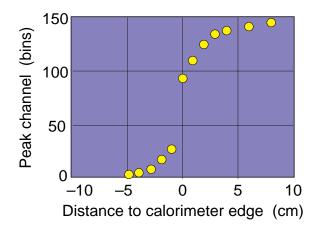
7λ deep Cu / clear plastic fibre prototype

 ϕ_{fibre} = 1.5 mm, packing fraction = 2.8% projective modules, FF = 22 x 22 cm²



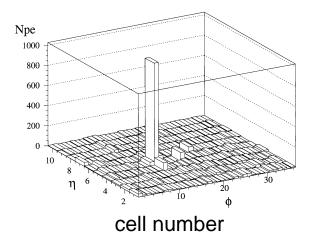
Predicted performance for jets $\sigma/E \approx 180\% / E \approx 5\%$

hadron showers are narrow



typical QCD jet + 20 MB events

tower size : $\Delta \eta x \Delta \phi = 0.175 x 0.175$



Spettrometro per µ

Scopi:

- o identificazione e misura momento dei μ
- o trigger sui μ anche in presenza di fondi elevato

Richieste:

- grande spessore di materiale di front alle camere
- o rivelatori veloci
- camere precise connesse al tracker da un adeguato sistema di allineamento

Ambiente diverso ad angoli diversi:

Barrel: rate < 10 Hz/cm2

campo magnetico molto basso

End Cap rate fino a 1000 Hz/cm2

campo magnetico elevato e disuniforme

Quindi soluzioni diverse

Drift Chambers nel barrel

Cathode Strip Chambers in avanti

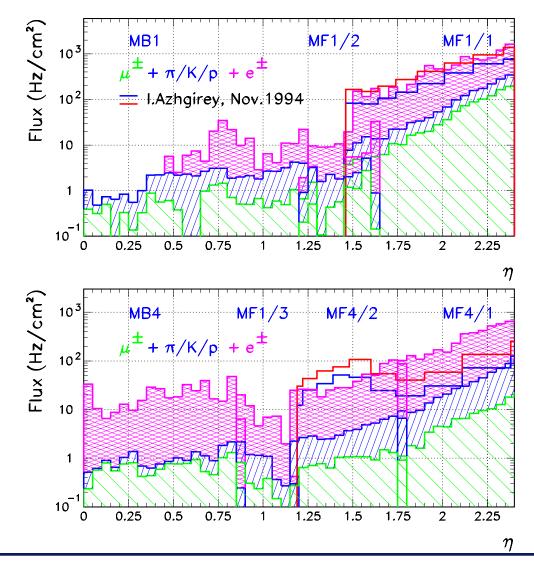
Resistive Plate Chambers ovunque

Rate

Vari sorgenti di background:

- μ pronti di bassa energia
- π punchthrough
- μ dal tunnel dell'acceleratore (halo)
- elettroni indotti da neutroni

$$n + N \rightarrow N'^* \rightarrow N' + \gamma \rightarrow e^+ e^-$$



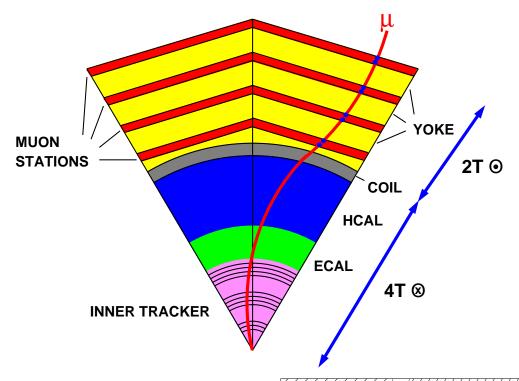
Camere a drift

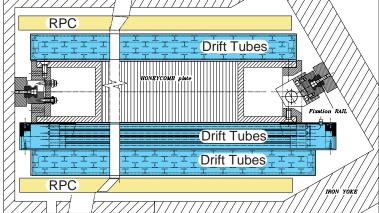
4 stazioni

Ciascun piano costituito da celle di drift di 40 mm

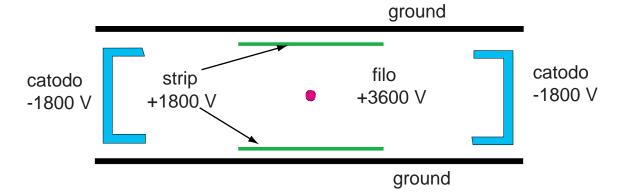
Il numero totale di canali e' cosi "ridotto" a 200.000

Il forte bending power presente consente una cella di risoluzione spaziale non esasperata (~250 μm)





Cella di deriva



- Cella con 3 elettrodi, permette il controllo indipendente di
 - campo di deriva

- campo sul filo (amplificazione) ~(V_{filo} V_{strip})
- campo di drift molto uniforme, linearita' ottima anche senza correzioni (serve per trigger)
- Miscela gas Ar/CO2 (85%/ 15%) (ottimo contro l'invecchiamento)
- Tempo massimo di deriva ~350 ns
- Tensioni nominali

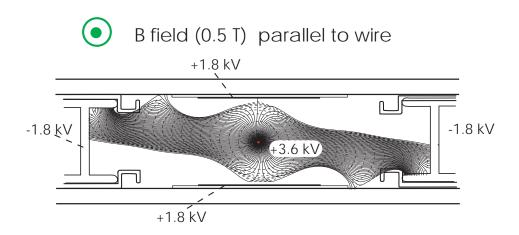
- guadagno a tensioni nominali 9-10⁴
- carica tipica segnale 1 pC
- carica accumulata in 10 anni
 0.1 C/cm

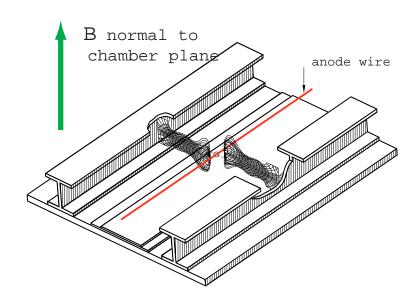
Effetto del campo magnetico

In alcune zone e' presente un (debole) campo magnetico.

L'effetto sulle linee di deriva (angolo di Lorentz) dipende dall'intensita' e dalla orientazione di B

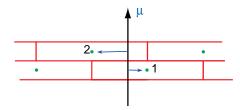
Per i valori presenti in CMS (B_{norm} <0.8 T, B_{par} <0.3 T) linearita', risoluzione ed efficienza non sono peggiorate



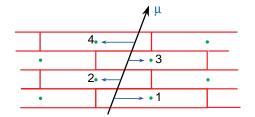


DT - uso nel tigger

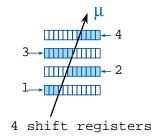
Nonostante che il ritardo del segnale rispetto al passaggio della particella possa variare da 0 a 350 ns, le camere possono essere usate per individuare il tempo di passaggio con precisione di ~5 ns.



Con tracce a 90 la somma dei due tempi (mean-time) non dipende dal punto di passaggio. Il mean-time coincide col massimo tempo di deriva



Con tracce inclinate, lo stesso vale per la media di due mean-time successivi



Inserendo i segnali in registri che scorrono con la velocita' di deriva, dopo un tempo $T_{\text{drift}\,\text{max}}$ i 4 (3) segnali sono allineati, con stessa direzione del mu. Verificando la condizione di allineamento otteniamo sia i l tempo di passaggio che i parametri geometrici della traccia

Il metodo descritto funziona solo con una relazione spazio tempo lineare.

Non e' disturbato dalla presenza dalla presenza di hit singoli casuali (neutroni)

In circa il 5% delle celle la misura e' falsata dalla presenza di un raggio δ . Con alta efficienza permane comunque l'allineamento di tre tubi.

Cathode Strip Chambers

Nella regione in avanti:

Campo magnetico intenso e non uniforme

Rate elevata

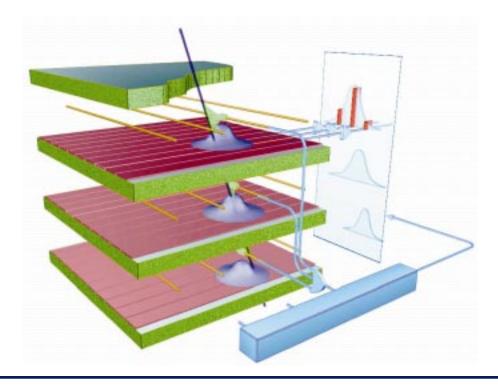
1000 Hz/cm hit random,

100 Hz/cm tracce

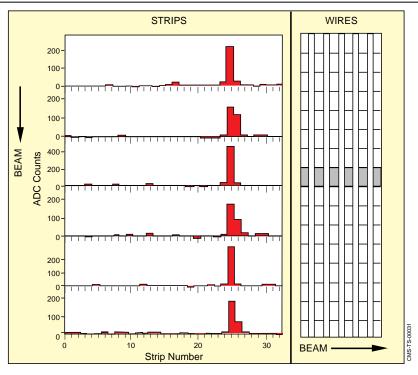
Bending power ridotto, quindi serve maggior precisione

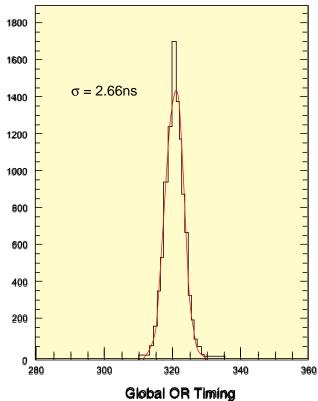
Scelta: Camere con lettura catodica.

- Precisione spaziale elevata: non dipende dalla precisione dei fili, ma da quella delle strip.
- Gli elettrodi possono essere sagomati con la forma piu' opportuna
- Sopportano alta rate
- Lettura stereo possibile



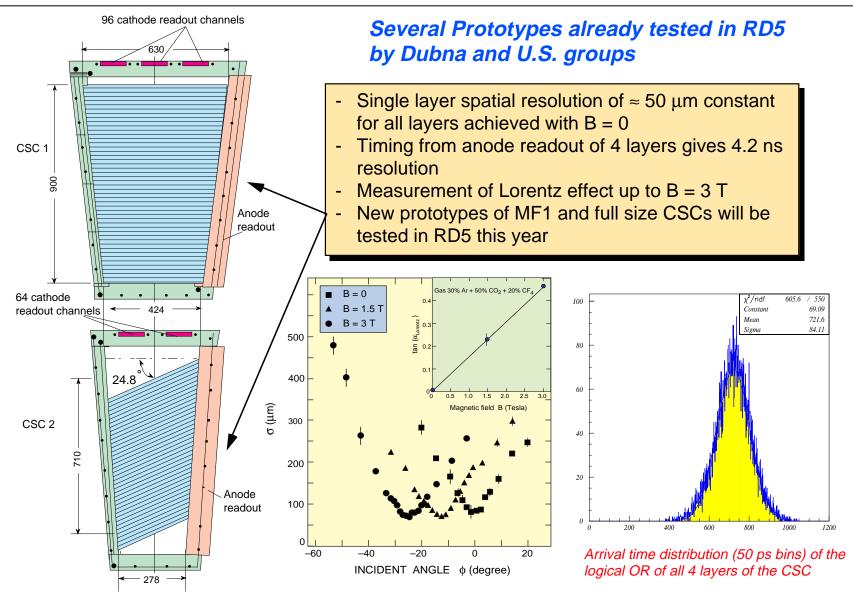
Performance of Cathode Strip Ch.





CMS_RRB_TALK_23-04-96

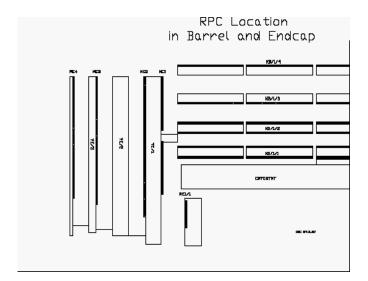
CSC Performance

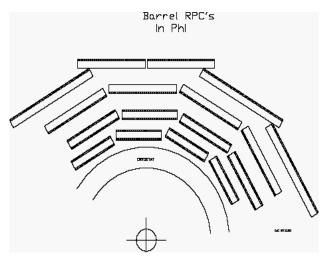


CMS, LHCC Meeting, 19 January 1995

I rivelatori di trigger: Resistive Plate Chambers

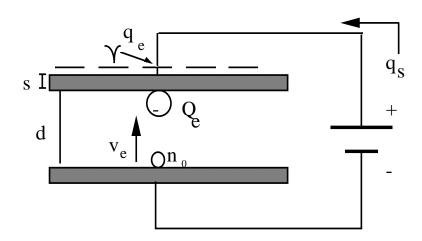
- identificare i candidati μ
- assignare un bunch crossing alle tracce candidate;
- stimare il loro momento trasverso.





RPC - principi di funzionamento

- larghi piani (bakelite) ad elevata resistivita' $(\rho \sim 10^{11} \Omega \text{ cm})$, separati da gap uniforme (2 mm)
- d.d.p. tra i piani produce un campo elettrico uniforme (E~5·10⁶V/m), abbastanza elevato da amplificare la ionizzazione prodotta
- il moto delle cariche negative (v⁻ >> v⁺) verso l'anodo induce un segnale su elettrodi posti all'esterno (elettrodi ~ trasparenti per alte frequenze)
- il segnale e' pronto ed il suo tempo di salita e' molto breve
- il guadagno (dipende dal campo, gas, ...) puo' essere elevato, tipicamente 10⁶ ÷10⁷. Dipende dal punto di partenza dell'elettrone
- gli elettrodi sono indipendenti dal meccanismo di formazione del segnale: possono avere la forma piu' adatta alle esigenze dell'esperimento

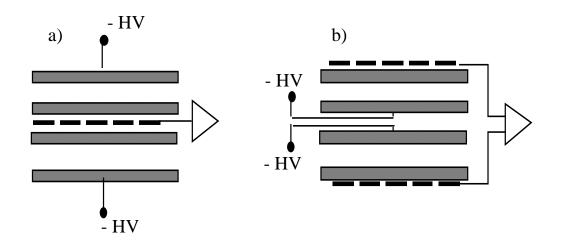


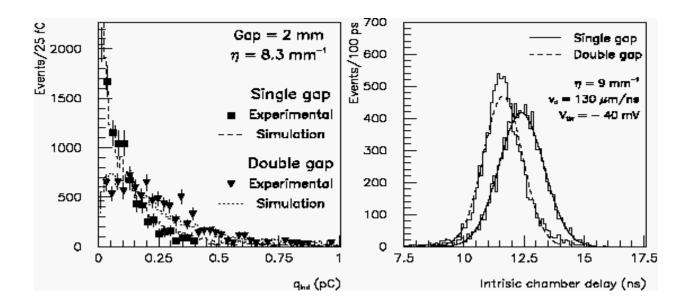
Modo streamer o avalanche

- RPC sono in uso in esperimenti di alta energia da ~20 anni, con funzionamento a streamer limitato:
 - guadagno (10⁷) e carica raccolta (100 pC) elevati, con poche fluttuazioni
- la carica presente sui piani resistivi viene annullata dallo streamer, e ripristinata da corrente attraverso i piani stessi. Il campo, e quindi l'efficienza, diminuiscono localmente
- l'area interessata dal fenomeno e' proporzionale alla carica. Ad alta rate diventa necessario operare gli RPC in modo avalanche (guadagno 106).
- il punto di lavoro diventa un compromesso tra buona efficienza e bassa percentuale di streamer
- la scelta del gas risulta importante:
 - non infiammabile (poco isobutano), non tossico, permesso dalle normative (no freon)
 - scelta caduta su tetrafluoroetano + isobutano
 95% C₂H₂F₄ + 5% i-C₂H₁₀

La doppia gap, ovvero: come aumentare efficienza e risoluzione

 Due gap in OR permettono di operare ciascuna delle due con efficienza minore in un punto di lavoro piu' affidabile senza perdita di prestazioni complessive

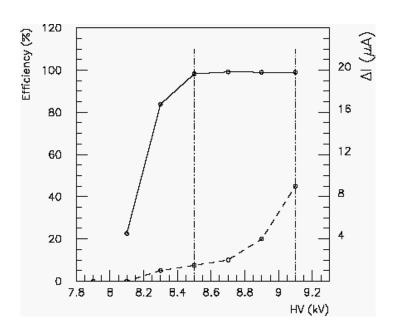




Risultati globali

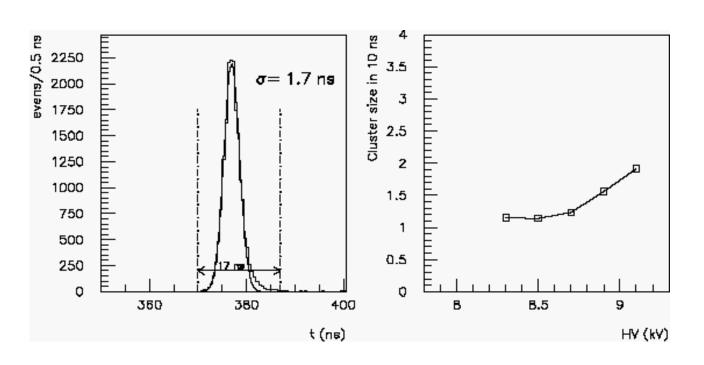
Efficienza in funzione della tensione applicata.

La curva tratteggiata rappresenta la corrente erogata

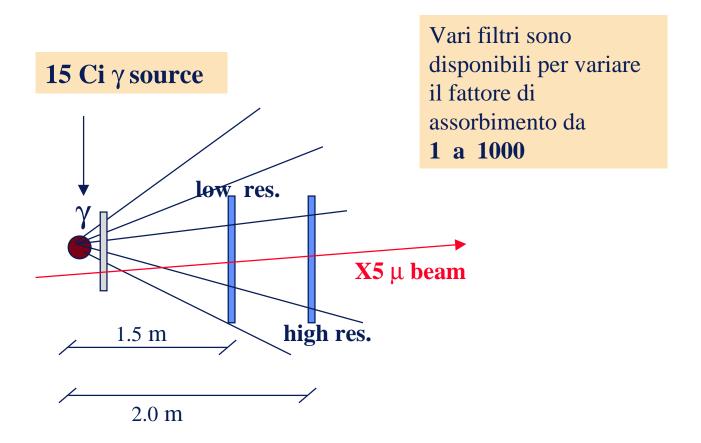


Distribuzione dei tempi di arrivo del segnale a HV=8900

Cluster size



Simulazione irraggiamento di LHC

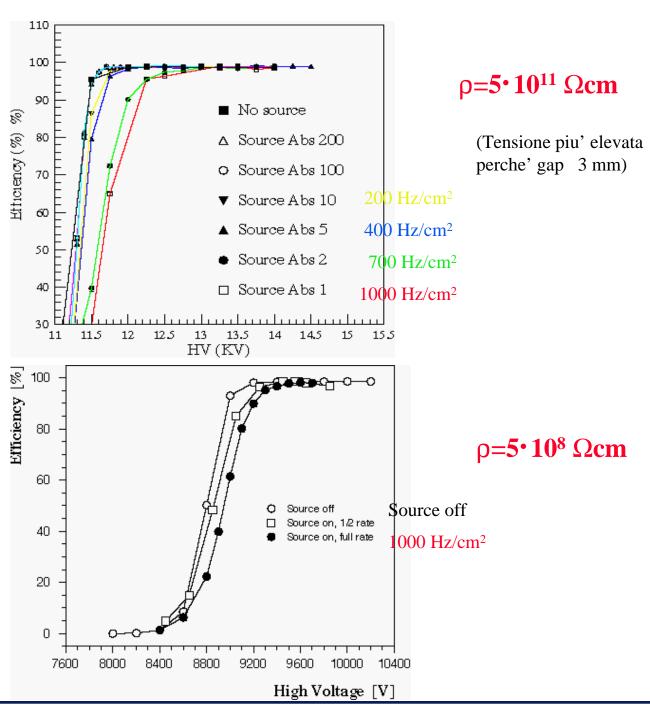


GIF: Gamma Irradiation Facility

Resistivita' alta contro bassa

Abbassando la resistivita' la diminuzione del campo dovuto all'alta rate diminuisce.

CMS: $\rho = 1 \div 2 \cdot 10^{10} \Omega cm$



Trigger e Data Acquisition

• Eventi prodotti 109 Hz

Dimensioni di un evento 1 MBy

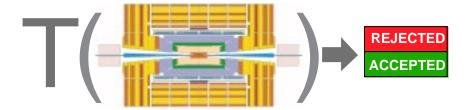
Massima rate di lettura 100 Hz

Dati prodotti
 1 TBy/giorno

Il sistema di trigger

Il trigger e' funzione di :

- dati dell'evento e dati dell'apparato
- canali fisici da selezionare



Poiche' i dati dell'evento non sono tutti disponibili immediatamente e la funzione e' molto complessa, T(...) e' valutata (possibilmente senza tempi morti) con approssimazioni successive, chiamate

LIVELLI di TRIGGER

Da: S. Cittolin CERN/ECP CMS-TriDas. CERN School of Computing

Conclusioni

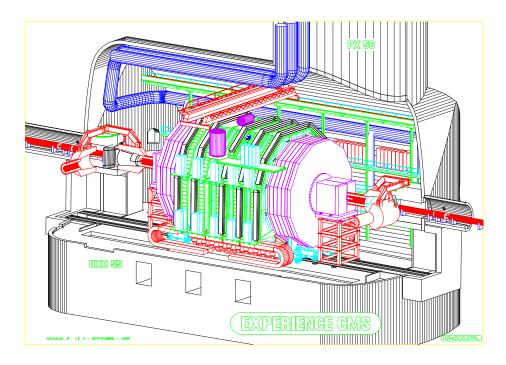
 Numerosi anni di studi sui rivelatori hanno prodotto un progetto realistico per la costruzione di rivelatori operanti a LHC

1990 Aachen workshop on LHC

1992 Letters of Intent

1997/98 Technical Design Reports

 La costruzione e l'installazione prenderanno gli anni dal 1999 al 2004



 e nel 2005, per chi ha avuto, o avra', voglia di affrontare la sfida,



di sicuro le sorprese non mancheranno