

Rivelazione dei raggi cosmici con camere a drift.



Il test finale delle camere a drift dello spettrometro
per muoni dell'esperimento ATLAS a LHC

Incontri di Fisica 2002 - Attività Gruppo H

G.Maccarrone

M. Beretta

V. Russo

B. Ponzio

Vi parlero' di... (1)

- **Un breve punto della situazione attuale**
- **LHC**
- **Motivazioni fisiche principali**
 - **Fisica del top**
 - **Higgs**
 - **Supersimmetrie**
- **L'esperienza Atlas a LHC**
 - **Tracciamento interno**
 - **Calorimetria elettromagnetica**
 - **Calorimetria adronica**
- **Lo spettrometro per muoni**



Vi parlero' di... (2)

- **Cenno sulla fisica dei rivelatori a gas**

- **Le camere per il tracciamento dei muoni in ATLAS.**
 - **Il tubo**

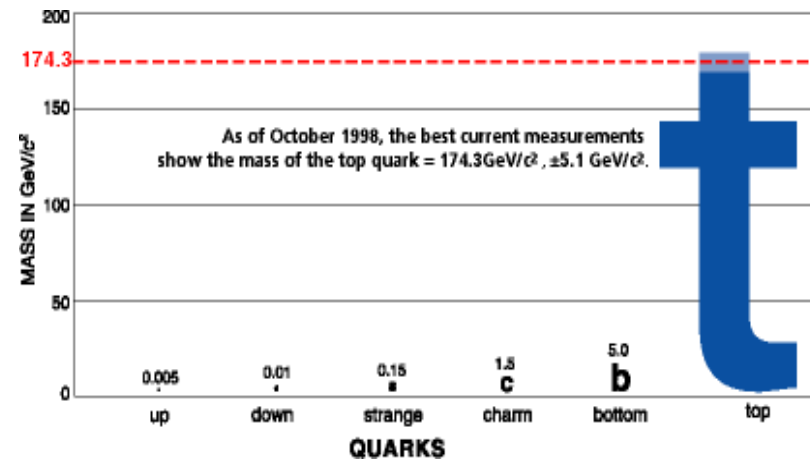
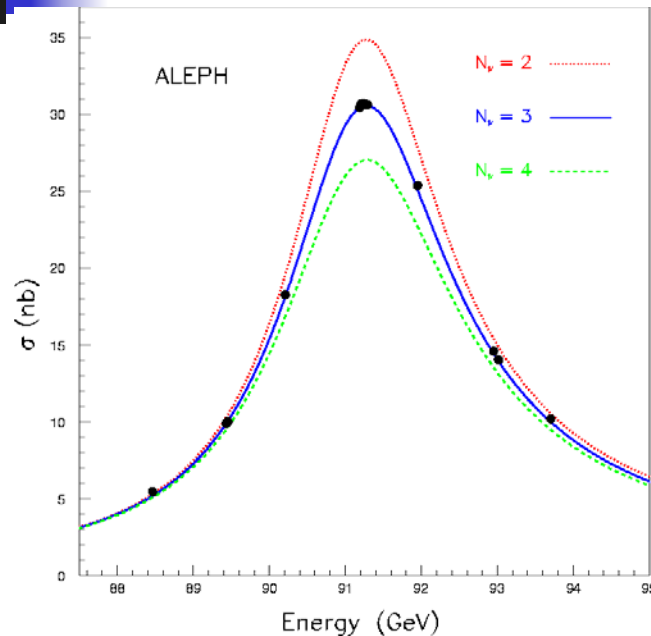
 - **QC Tubi**
 - **Tensione meccanica del filo**
 - **Tenuta di gas**
 - **Corrente oscura**

 - **Assemblaggio Camera (...e QC relativo)**

 - **Equipaggiamento Camera**

 - **TEST FINALE**

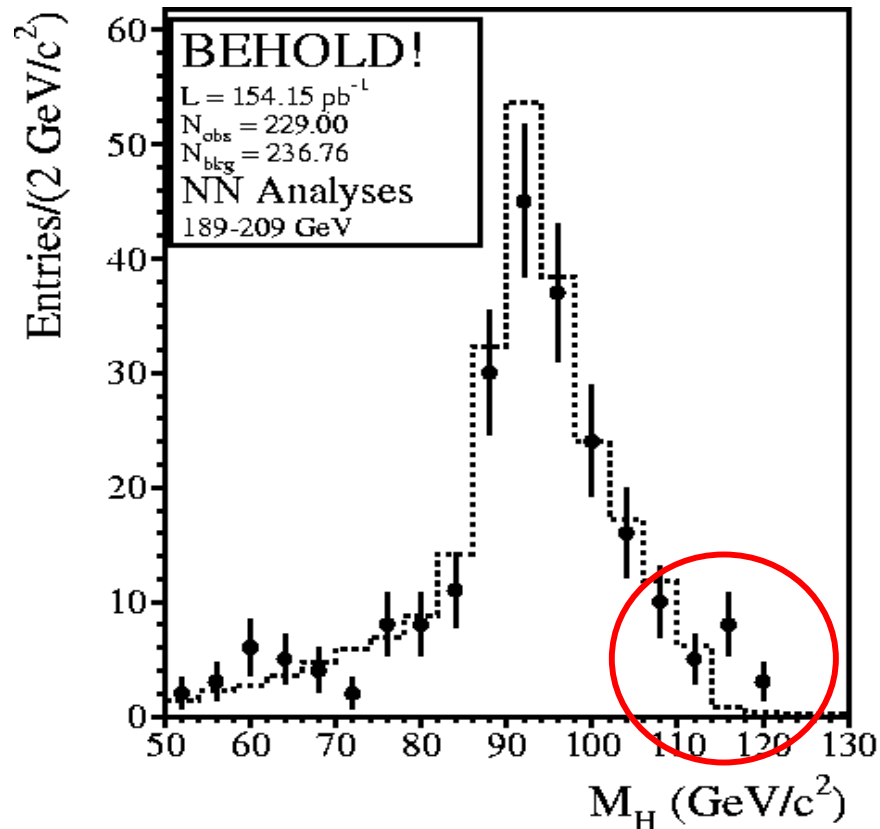
Cosa ci è noto...



Il Modello Standard è stato verificato al LEP con notevole precisione e in molti suoi aspetti. Il grafico mostra l'evidenza del numero di neutrini in cui può decadere la Z_0 ciò definisce il numero di famiglie del modello.

L'evidenza sperimentale dell'esistenza del sesto quark (top) è stata osservata al Fermilab dagli esperimenti CDF e D0, inoltre è stata confermata anche dagli esperimenti al LEP attraverso misure indirette che però in termini di precisione sulla determinazione della massa del top sono di fatto compatibili con le osservazioni dirette.

Cosa abbiamo lasciato in sospeso...

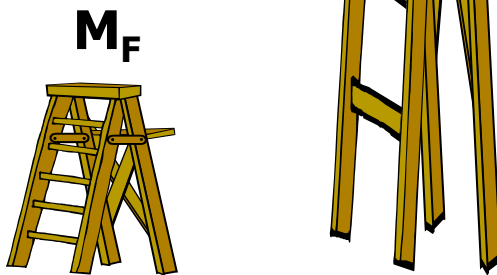


Nell'ultimo periodo di presa dati al LEP (ad energie nel centro di massa superiori ai 200 GeV) è stato osservato un eccesso di eventi (rispetto al fondo atteso) nello spettro di massa invariante di 4 jets per masse molto alte.

Una possibile interpretazione era la presenza del bosone di Higgs con massa intorno a 114 GeV. Si tratta di pochi eventi e la significatività statistica era dunque molto bassa. Gli esperimenti hanno chiesto al Cern un prolungamento di presa dati di un anno che è stato bocciato per le forti interferenze con il programma di LHC.

Cosa bisogna ancora comprendere...

Il rapporto tra le due masse che determinano la "scala" delle interazioni elettrodeboli e gravitazionali è enorme e questo non ne permette l'unificazione.



Siamo di nuovo davanti ad un problema di divergenza della teoria.

Dirac a inizio '900 partendo dalla elettrodinamica quantistica arrivò a formulare l'esistenza di una nuova simmetria in cui l'elettrone aveva un "compagno" di carica opposta:

il positrone.

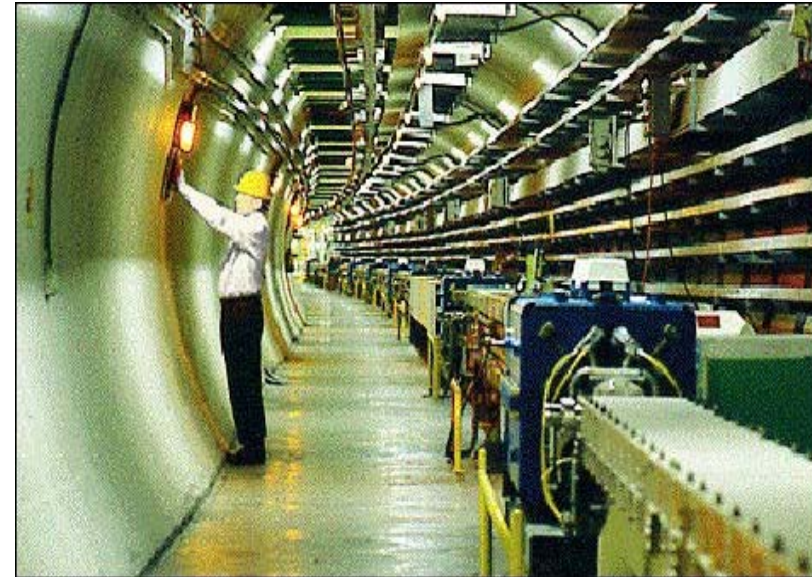
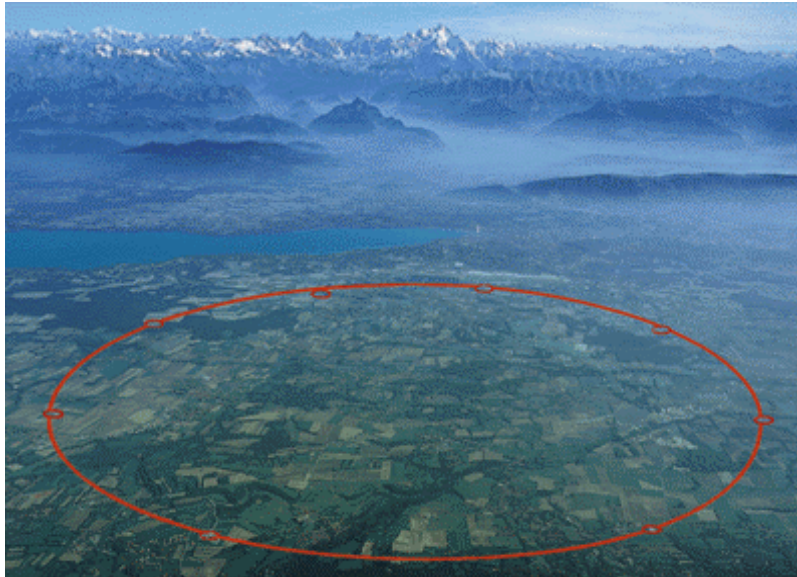
Viene così formulata la teoria (poi rapidamente verificata) della antimateria.

Oggi la teoria più accreditata per risolvere il cosiddetto problema della "gerarchia" del modello standard è la SuperSimmetria, semplicemente ogni particella del modello standard ha un compagno supersimmetrico bosonico se fermione e viceversa.

Quale "scala" per i processi SUSY ?
LHC dirà una parola fondamentale!

Large Hadron Collider

Incont
ri ■ di
fisica



- **Il Tunnel di LHC e lo stesso il cui era posto l'acceleratore per elettroni LEP che ha brillantemente lavorato per oltre 10 anni producendo i risultati che sono da presupposto per la fisica di LHC**
- **La circonferenza dell'anello è di circa 27 km.**
- **Allo stato attuale tutti i magneti del LEP sono stati portati in superficie e i magneti di LHC sono in fase di installazione.**
- **Sono in fase di realizzazione i lavori per il completamento degli scavi dove saranno alloggiati gli esperimenti.**

Large Hadron Collider (Magneti)

Caratteristiche	Lungh.	Temp.	B	I	N
Unità di misura	m	K	T or T/m	A	
Dipoli Principali	14.03	1.09	8.33	11796	1232
Dipoli di separazione	9.45	1.09	3.05	5520	24
Quadrupoli principali	3.01	1.09	223	11870	448
Quadrupoli estrazione	4.08	1.09	200	5390	32
Magneti Correttori					5500

I magneti
più
importanti
sono i
Dipoli per il
loro elevato
campo

La produzione dei dipoli è distribuita su diverse ditte in Europa. Il Cern sta lavorando sul test e la calibrazione di ogni singolo magnete.

Inizialmente i magneti non erano tali da soddisfare le specifiche e questo ha creato allarme. Adesso i problemi tecnici sono stati risolti.



Large Hadron Collider (Parametri)

LHC General Parameters		
Energy at collision	7	TeV
Energy at injection	450	GeV
Dipole field at 7 TeV	8,33	T
Luminosity	1	E34 cm ⁻² s ⁻¹
DC beam current	0.56	A
Bunch spacing	7.48	m
Bunch separation	24.95	ns
Number of particles per bunch	1.01	E11
Total crossing angle	300	μrad
Luminosity lifetime	10	h
Energy loss per turn	7	keV
Total radiated power per beam	3.08	kW
Stored energy per beam	350	MJ
Filling time per ring	4.03	min

Uno dei problemi più rilevanti quando si lavora a Luminosità così elevate è il cosiddetto "pile up" ovvero la sovrapposizione di più interazioni nello stesso crossing. La maggior parte di queste interazioni è però di tipo "soft" e non produce flussi di energia fuori dalla "beam pipe" ovvero dal tubo che trasporta i fasci stessi. Nelle fasi iniziali comunque la Luminosità sarà inferiore anche di un fattore 100.

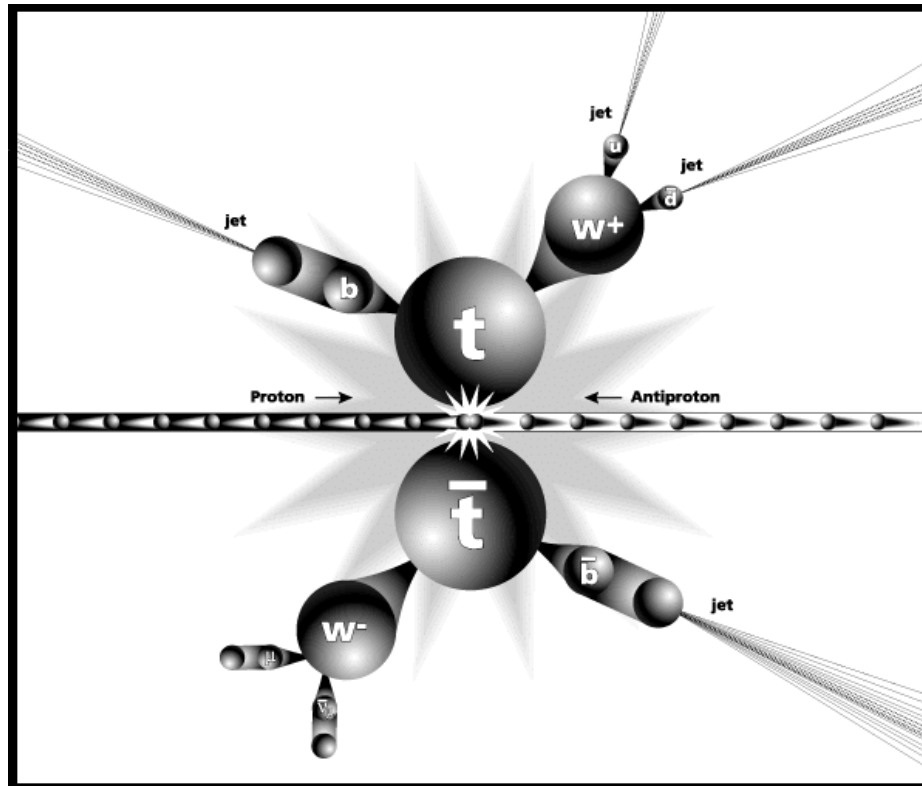
Nel sito del Cern c'è un'ampia documentazione su LHC



Le potenzialità di LHC (...una factory)

- **Uno dei punti forti di LHC è l'elevata produzione di particelle fino a oggi catalogate rare o difficilmente accessibili. Un esempio su tutti: l'esperimento CDF al Fermilab ha mostrato l'esistenza del quark top con poche decine di eventi. A LHC saranno prodotte (alla massima Luminosità) circa 80 milioni di coppie top-antitop in un anno medio di presa dati.**
- **L'elevata produzione abbatte gli errori statistici delle misure e rende più facile lo studio delle sistematiche dei rivelatori. Tornando all'esempio precedente come conseguenza sarà possibile determinare la massa del top con una precisione dell'ordine di un GeV.**
- **Analogamente anche le masse di altre particelle già note (il W ad esempio) saranno misurate con elevata precisione, queste misure di massa sono molto importanti perchè utilizzate all'interno del modello standard permettono di definire dei vincoli sulle masse di particelle non ancora direttamente osservate ad esempio dell'Higgs, così come ha fatto a suo tempo il LEP con la massa del top.**

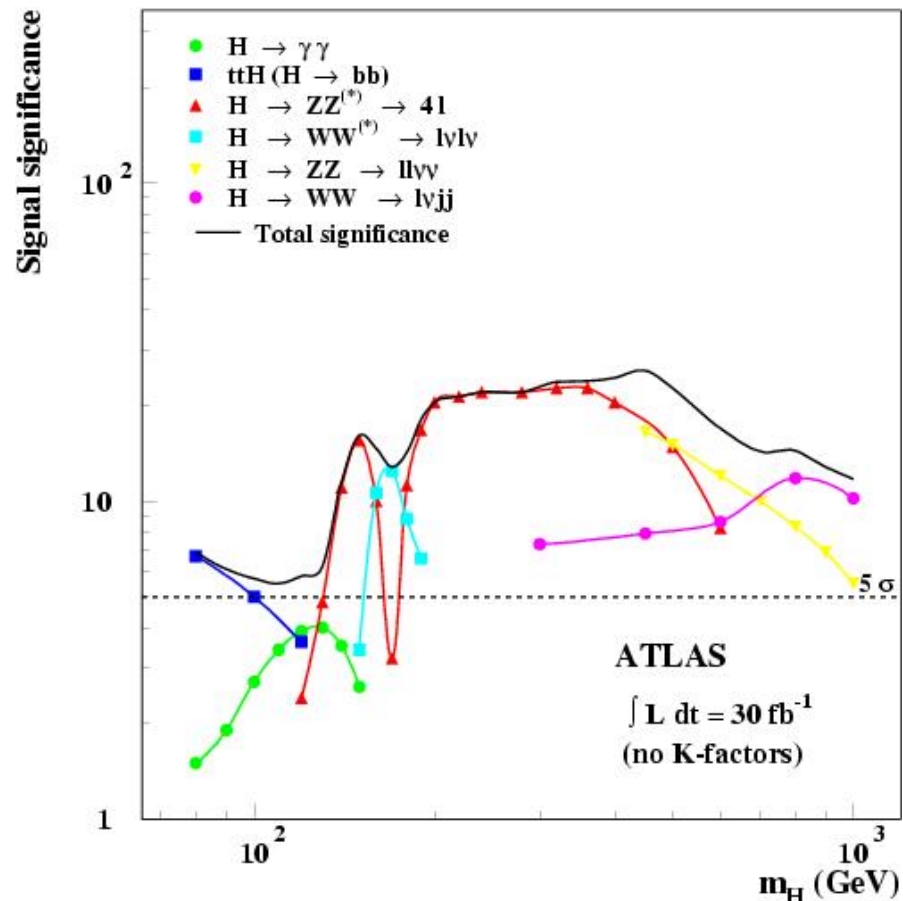
Le potenzialità di LHC (Il Top)



Il top ha la peculiarità di **non "adronizzare"** quindi decade come quark in modo diretto così come descritto in figura.

Negli esperimenti a LHC i b-jet saranno identificati ("b-tagging") tramite i parametri d'impatto misurati con il rivelatore interno e criteri topologici. I W possono decadere in quark leggeri oppure in coppie leptone-neutrino, quest'ultimo decadimento spesso viene usato come "segnatura" o trigger dell'evento. Di notevole importanza è lo studio dei decadimenti rari del top perché possono dare indicazioni indirette su particelle Susy o sullo stesso Higgs.

Le potenzialità di LHC (...alte energie)



Le più alte energie significa poter osservare oggetti di grande massa.

Il grafico accanto mostra i risultati della simulazione della risposta del rivelatore ATLAS alla presenza della particella Higgs nell'intervallo di massa compreso tra 80 GeV e 1 TeV.

La significatività sommata su tutti i possibili canali di decadimento osservabili da ATLAS sta sempre oltre 5.

La luminosità integrata di riferimento (30fb^{-1}) si ottiene in tre anni di presa dati a Luminosità istantanea 10 volte più bassa della nominale e con una efficienza del 30%.

Higgs (un pò per scherzo...)

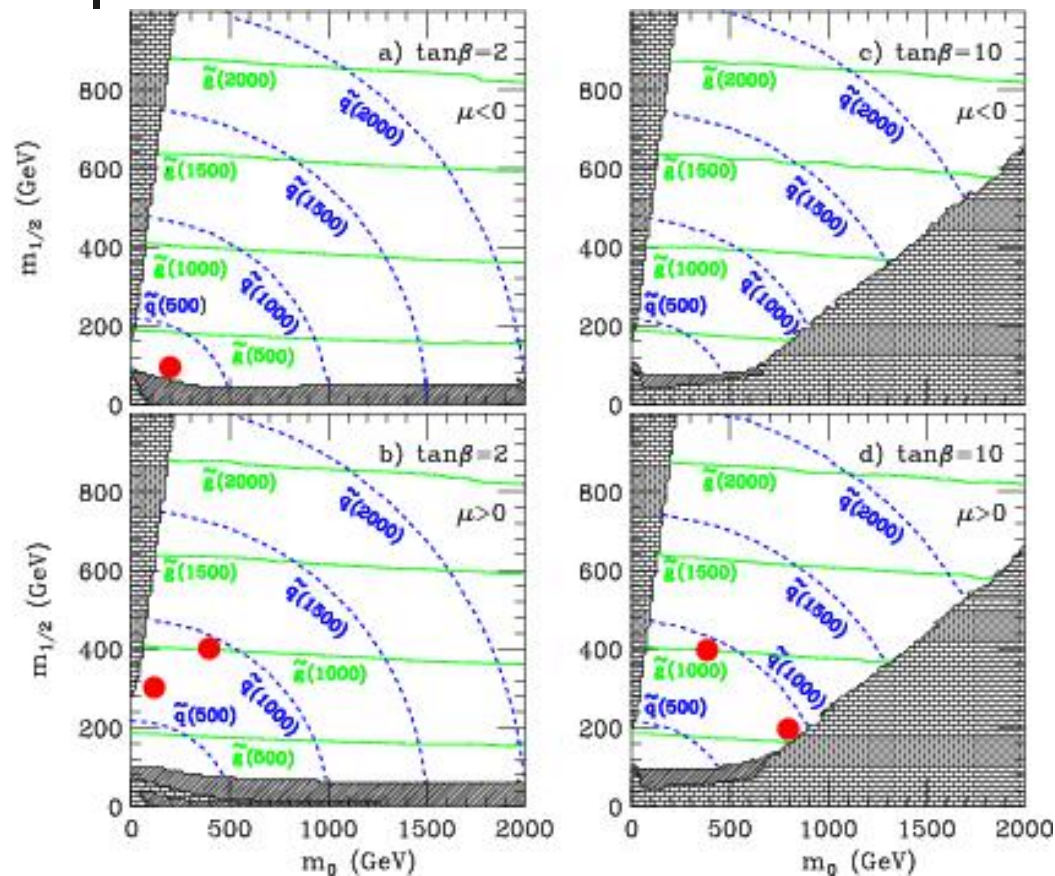
Incont
ri ■ di
fisica



Queste figure sono state mostrate dal fisico inglese J. Miller al Ministro della ricerca inglese. In quel caso la persona di "peso" che entrava nella sala era l'ex primo ministro Sig. Margaret Thatcher!

LHC : il mondo supersimmetrico

Incontri di fisica



Nel modello chiamato SUGRA che include tutto ciò che esiste nel modello standard i partner Susy e la gravità ci sono un certo numero di nuovi parametri.

m_0 : massa degli scalari a GUT

$m_{1/2}$: massa dei bosoni a GUT

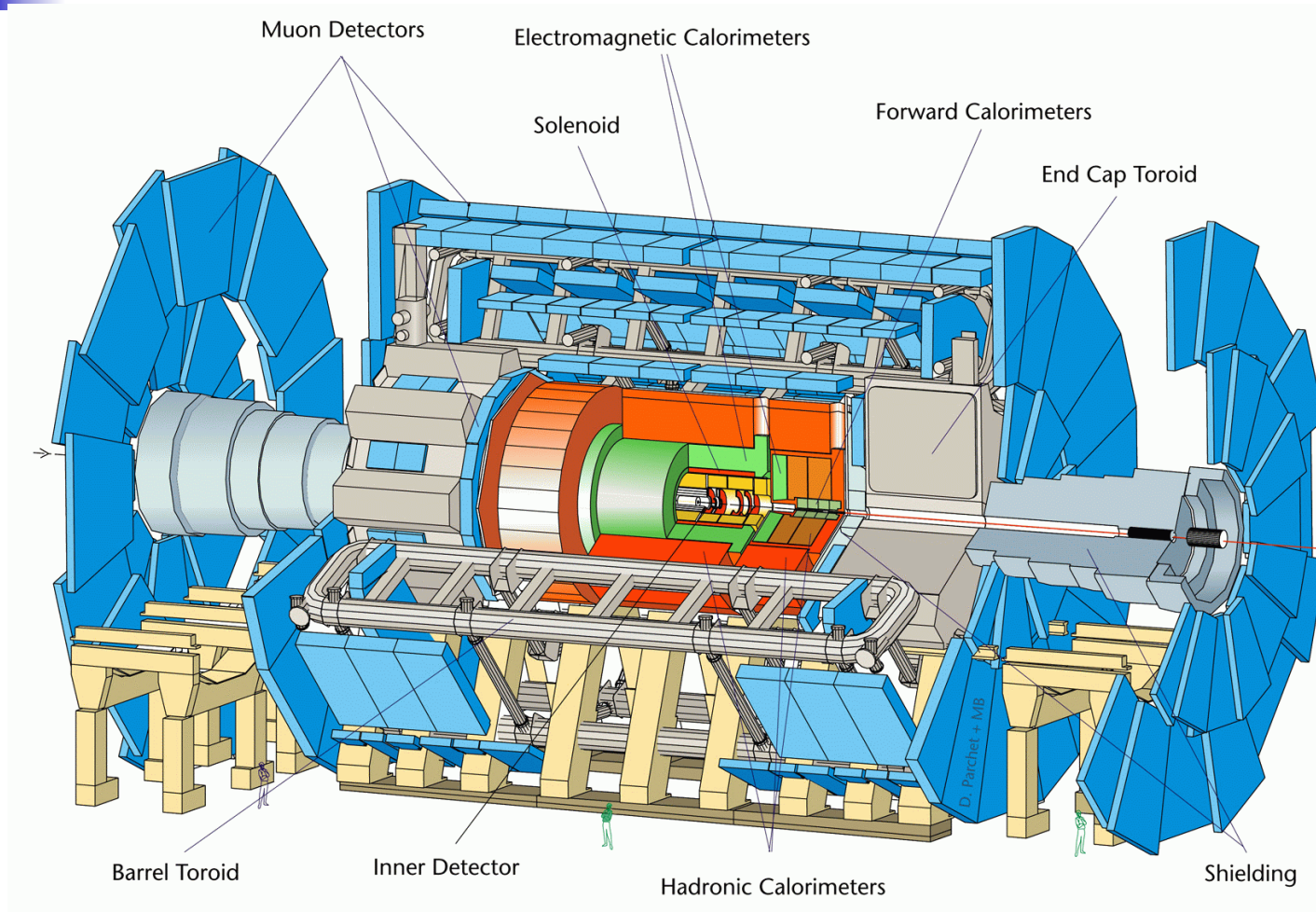
$\tan\beta$: valore di aspettazione del vuoto del bosone di higgs

μ : segno della massa del bosone di higgs a GUT

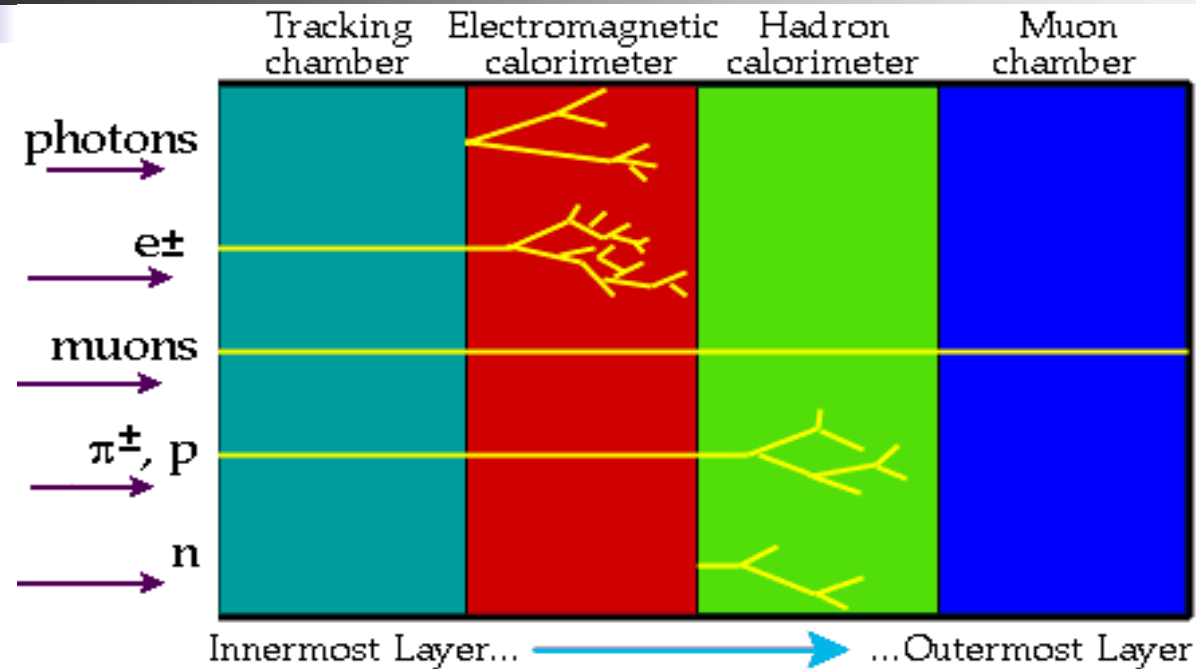
I punti **rossi** sono combinazioni dei parametri scelti da ATLAS per una completa simulazione degli eventi nell'apparato.

Atlas (General Overview)

Incont
ri ■ di
fisica

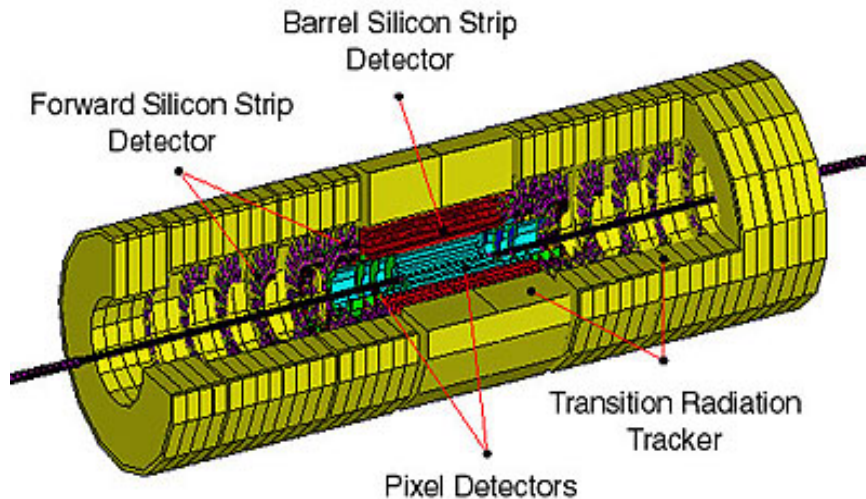


Un rivelatore a...cipolla!



Diverse particelle interagiscono in modo diverso con i materiali del rivelatore, la figura ci dice come. Le particelle neutre non producendo ionizzazione non sono osservate dai rivelatori interni di tracciamento. Fotoni ed elettroni rilasciano tutta la loro energia nella parte elettromagnetica del Calorimetro mentre pioni, protoni e tutti gli adroni in generale sono totalmente assorbiti dalla parte adronica del Calorimetro. I muoni attraversano abbastanza indisturbati il calorimetro e sono osservati e il loro impulso misurato nello spettrometro esterno.

Tracciamento interno descrizione



Inner Tracker



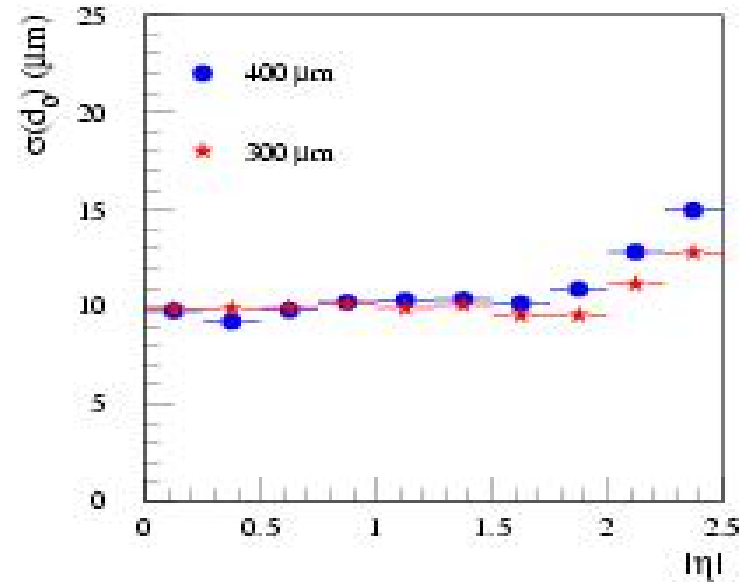
Il sistema per il tracciamento interno è realizzato con due tipologie di rivelatori.

I Rivelatori al **silicio** (in rosso nella figura) sono concentrati nella zona più vicina al punto di interazione per sfruttare al meglio la loro l'elevata risoluzione spaziale (fino a qualche decina di micron!).

I rivelatori a **gas** (giallo) sono disposti nelle zone più periferiche per fruttare il loro miglior rapporto volume attivo/costi. La rivelazione della radiazione di transizione inoltre permette di riconoscere il tipo di particella rivelata.

Tracciamento interno prestazioni

Incont
ri ■ di
fisica



$$\sigma(1/p_t) = 0.36 + 13/(p_t * \sin\theta^{1/2}) \text{ (TeV}^{-1}\text{)}$$

con p_t espresso in GeV

Esempio: $p_t = 10 \text{ GeV}/c$; $\theta = 30^\circ$

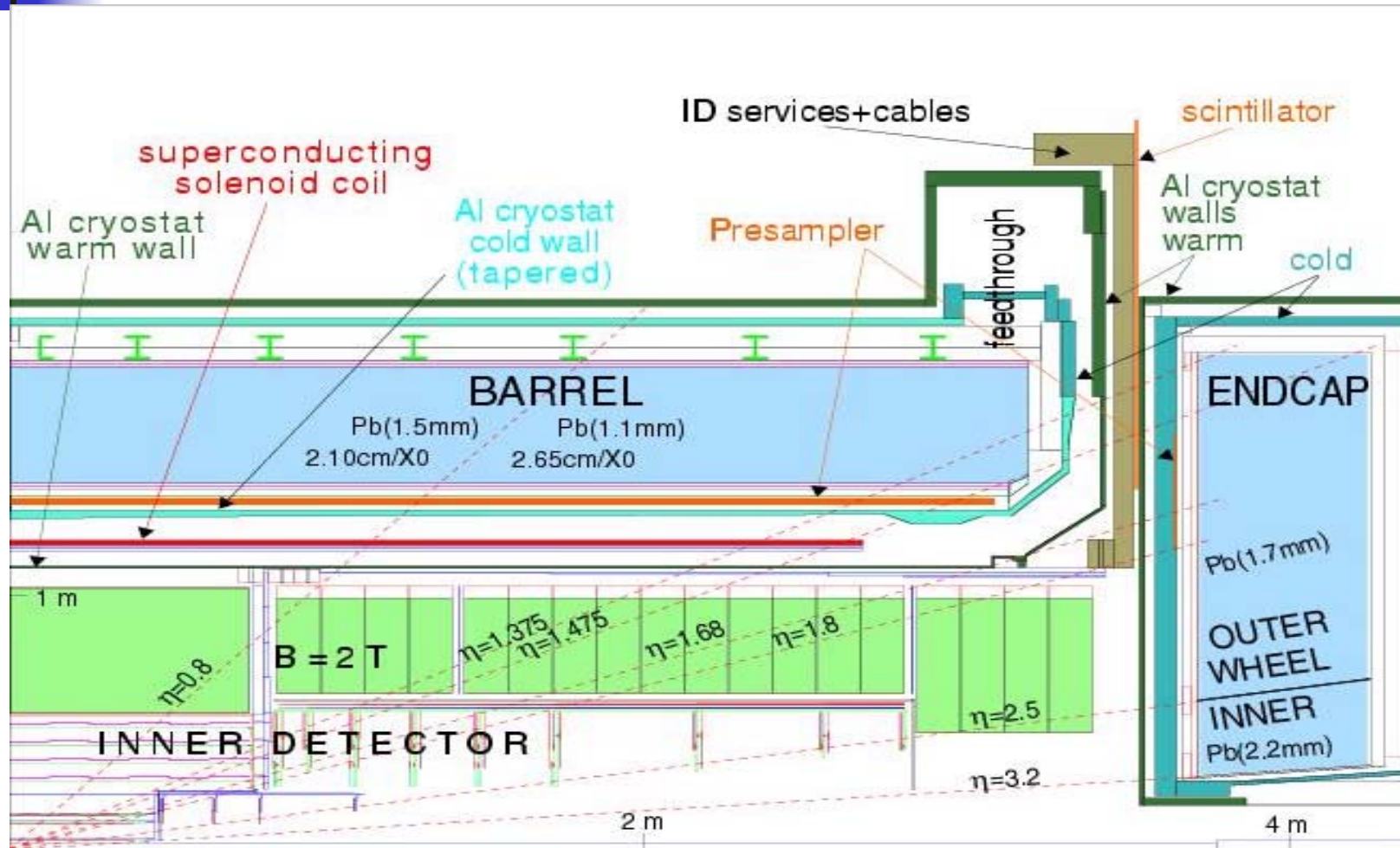
$$1/p_t = 100 \text{ TeV}^{-1}$$

$$\sigma(1/p_t) = 2 \text{ TeV}^{-1}$$

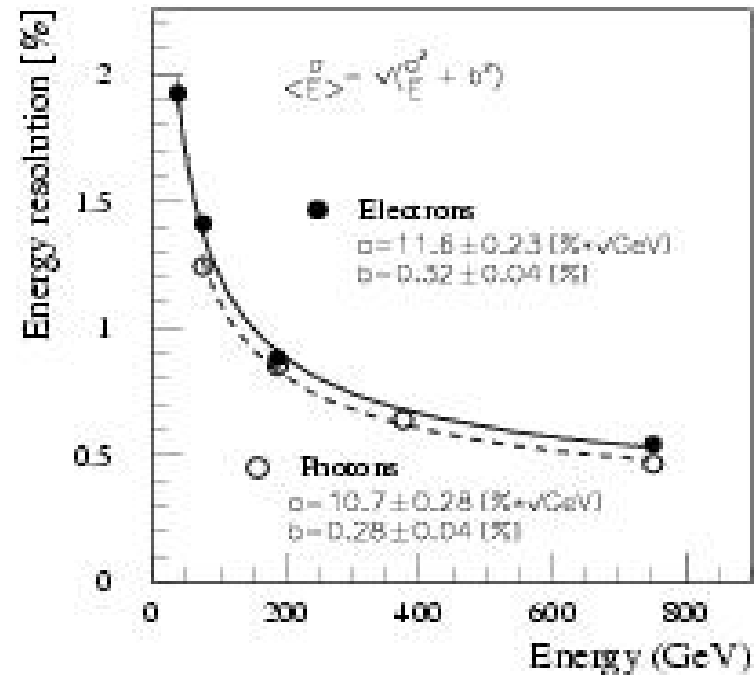
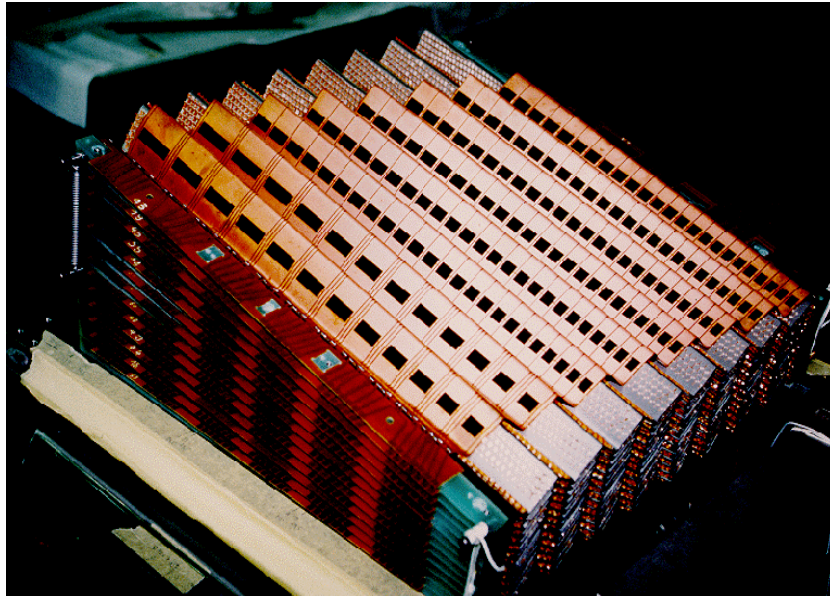
L'errore relativo è dunque del 2%

Calorimetro Elettr. descrizione

Incontri di fisica



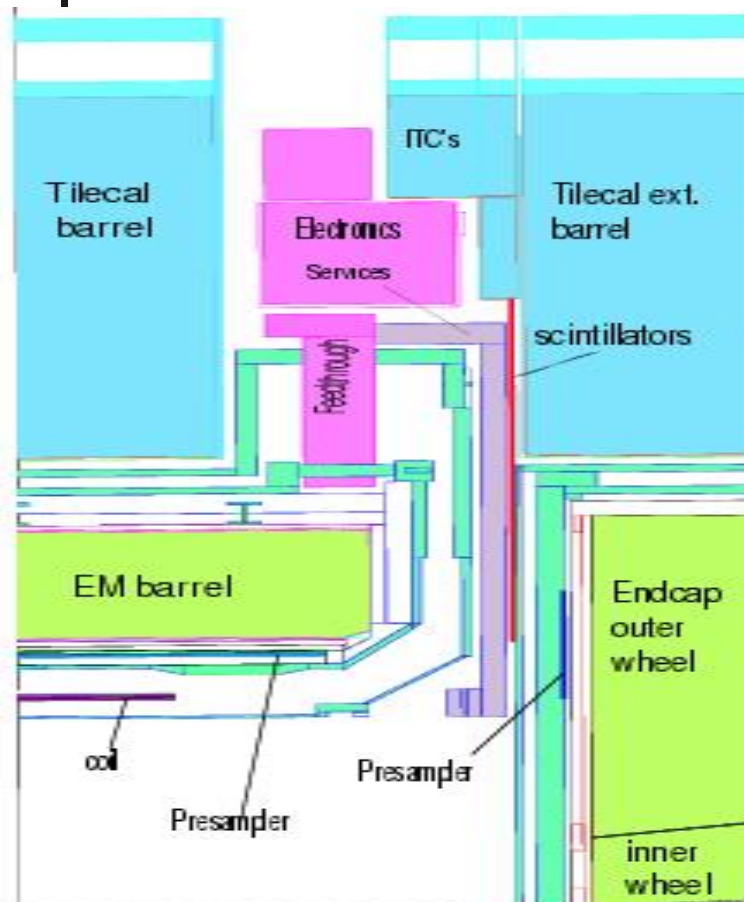
Calorimetro Elett. prestazioni



Il Calorimetro Elettromagnetico utilizza **l'argon liquido** come mezzo attivo, **elettrodi in kapton** per la lettura del segnale e **piombo** come mezzo passivo.

La struttura ad "accordion" del calorimetro elettromagnetico permette di ridurre le fluttuazioni nella misura dell'energia dovute ai diversi angoli di impatto della particella.

Calorimetro Adronico descrizione

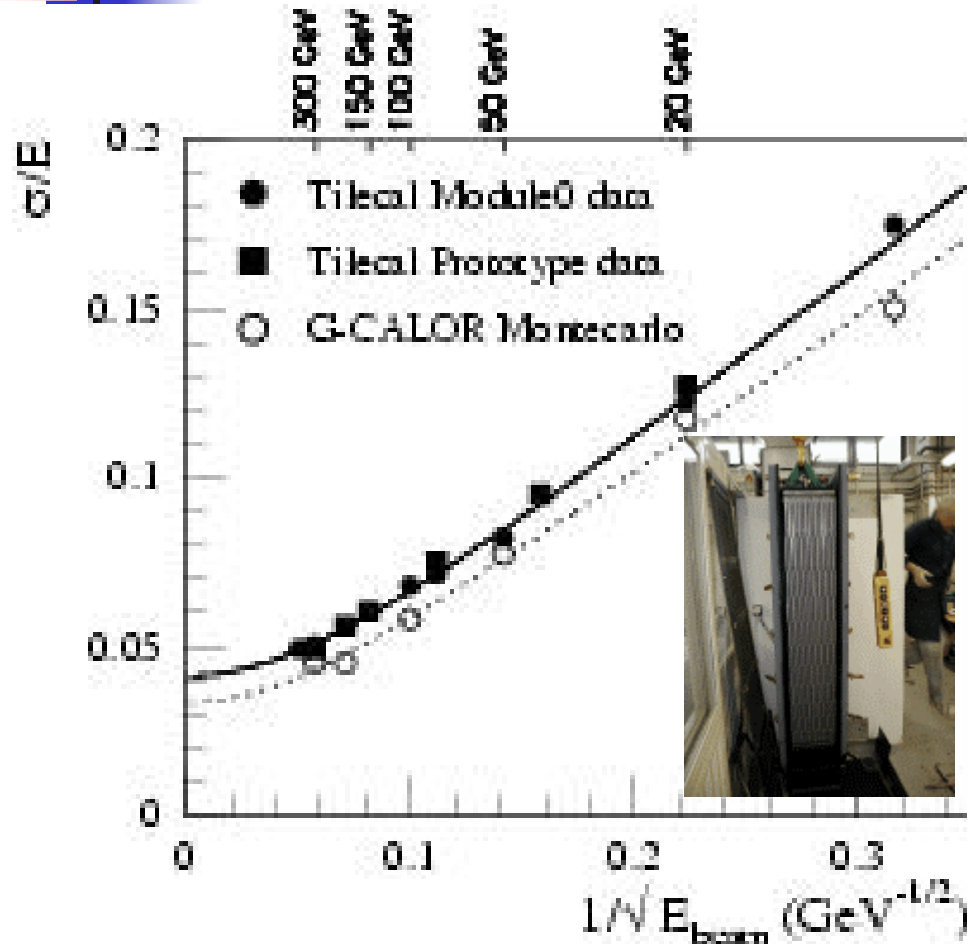


Il Calorimetro adronico utilizza il **ferro** come elemento passivo (il quale è anche usato per chiudere le linee di forza del campo magnetico del solenoide) e **tavolette di scintillatore** come elemento attivo. Alle estremità delle tavolette sono connesse due fibre **WLS** (WaveLength Shifting) che sono poi lette da due diversi fotomoltiplicatori. La lettura delle fibre è organizzata a torri, nella parte cilindrica viene integrato tutto ciò che viene rivelato in un angolo solido

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$, nella parte in avanti tale angolo diminuisce ulteriormente.

La figura inoltre mostra come viene realizzato il compromesso tra la necessità di avere le linee dei servizi (cavi, tubi per il gas...) per i rivelatori più interni e la grande richiesta di ermeticità del Calorimetro.

Calorimetro Adronico prestazioni



La figura mostra la risoluzione per pioni di varia energia ottenuta in test su fascio.

La risoluzione (relativa), così come per il Calorimetro Elettromagnetico, viene parametrizzata con un termine costante e un termine che dipende dalla radice della energia.

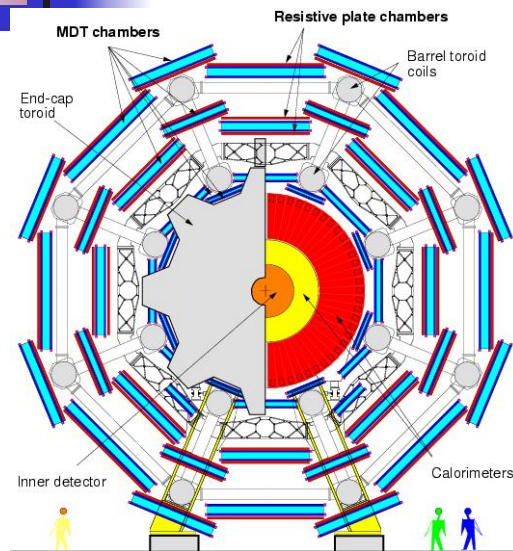
$$\sigma(E)/E = A + B/E^{1/2}$$

$$A = 4.1 \pm 0.1 (\%)$$

$$B = 52.0 \pm 0.6 (\%)$$

Si è provato anche ad aggiungere alla funzione di fit un termine che dipende da $1/E$ per tenere conto del rumore elettronico che però è risultato trascurabile.

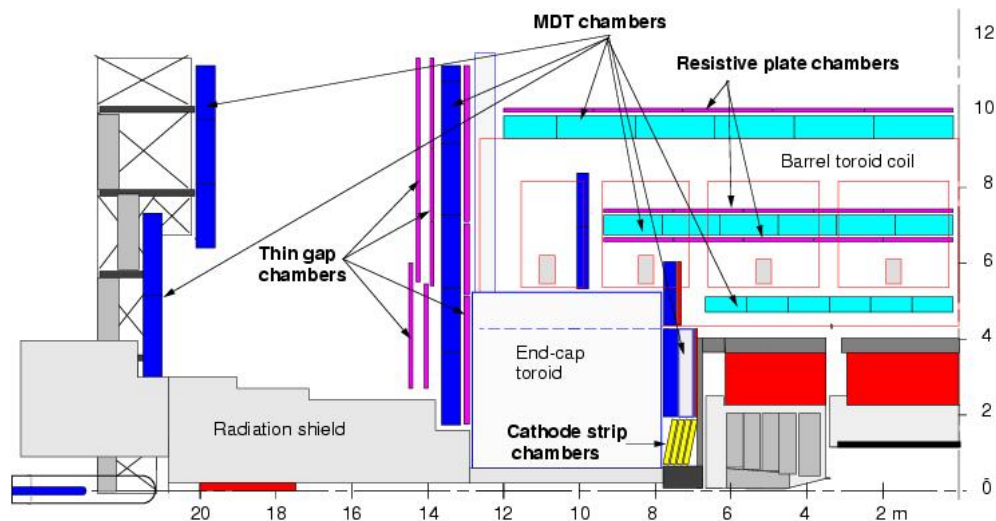
Lo Spettrometro per Muoni descrizione



Magneti

- Il toroide superconduttore della parte cilindrica (barrel) realizzato con otto bobine in aria.
- Due toroidi superconduttori nella parte a piccoli angoli (forward)

Rivelatori



- Rivelatori per il tracciamento di precisione
 - **MDT (barrel + forward)**
 - **CSC (very forward)**
- Rivelatori per il trigger
 - **RPC (barrel)**
 - **TGC (forward)**

Lo Spettrometro per Muoni: I magneti

Table 1-1 Main parameters of the toroidal and solenoid magnets in the ATLAS magnet system

Property	Unit	Barrel Toroid	End-Cap Toroid (one)	Central Solenoid
Overall dimensions:				
Inner diameter	m	9.4	1.65	2.44
Outer diameter	m	20.1	10.7	2.63
Axial length	m	25.3	5	5.3
Number of coils	-	8	8	1
Weight:				
Conductor	Tons	118	20.5	3.8
Cold mass	Tons	370	160	5.4
Total assembly	Tons	830	239	5.7
Coils:				
Number of turns per coil	-	120	116	1173
Operating current	kA	20.5	20	7.6
Stored energy	MJ	1080	206	38
Peak field	T	3.9	4.1	2.6

Il Toroide Barrel

Incont
ri ■ di
fisica

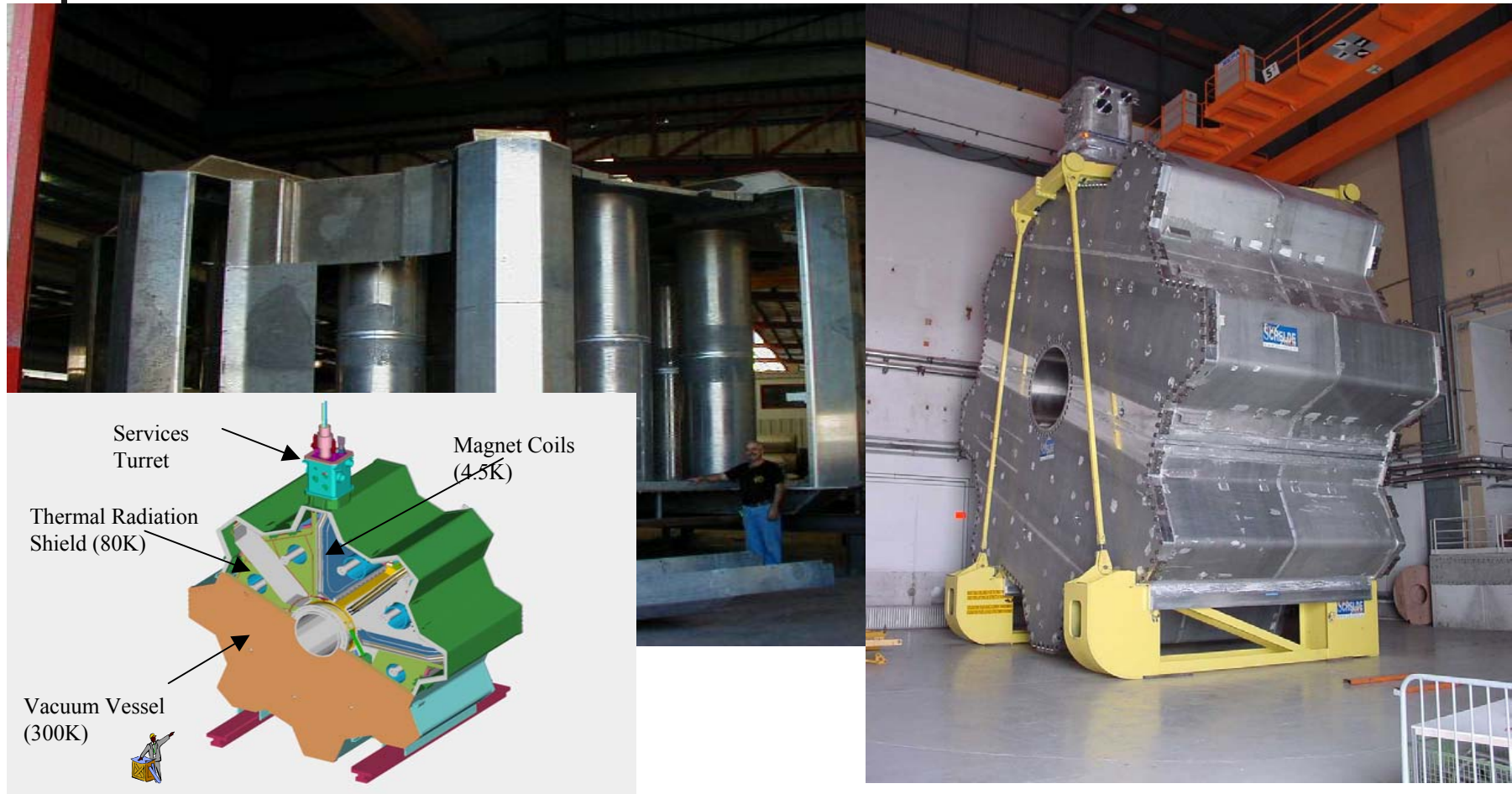


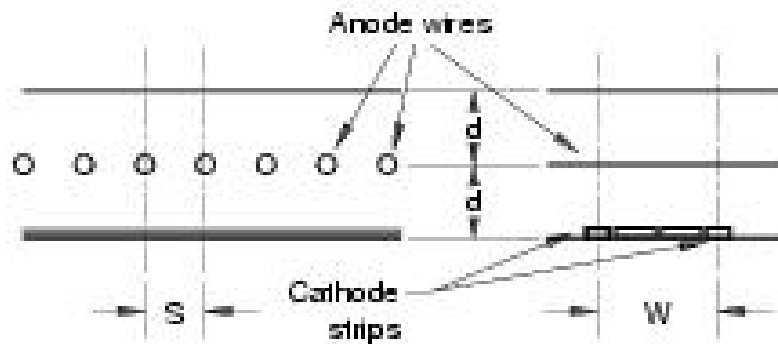
Il toroide barrel di Atlas è di gran lunga il più grande magnete mai costruito al mondo.



I Toroidi Forward

Incontri di fisica





$$d = S = W/2 = 2.54 \text{ mm}$$

Viene letto il segnale indotto sulle **strips**.
 Con più strati ortogonali si ottiene la giusta ridondanza e la completa informazione spaziale.
 La risoluzione nel piano XY è di **60 μm**
 Questa tecnologia è stata scelta per la zona più in avanti perchè è in grado di sostenere l'**elevato flusso** di particelle presenti in quella zona.

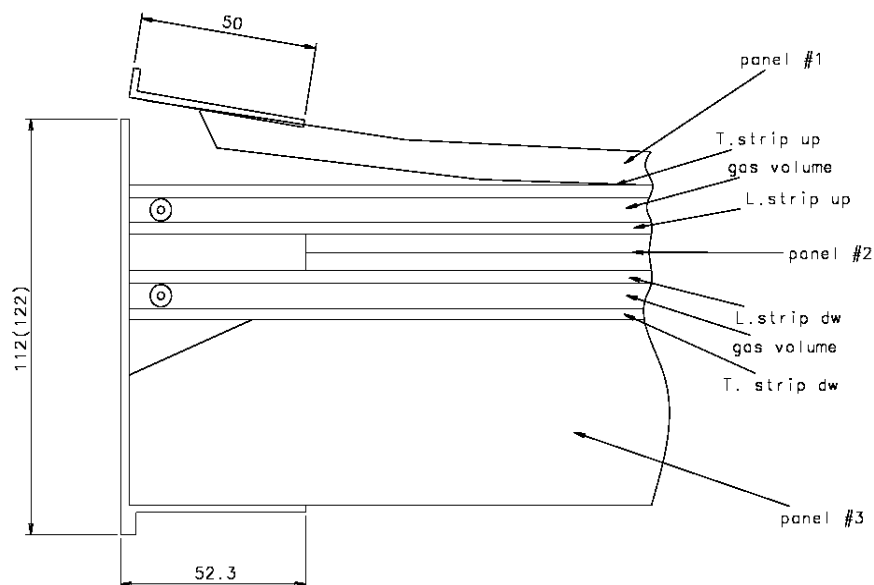


Cathode Panel Lamination



Wire Winding

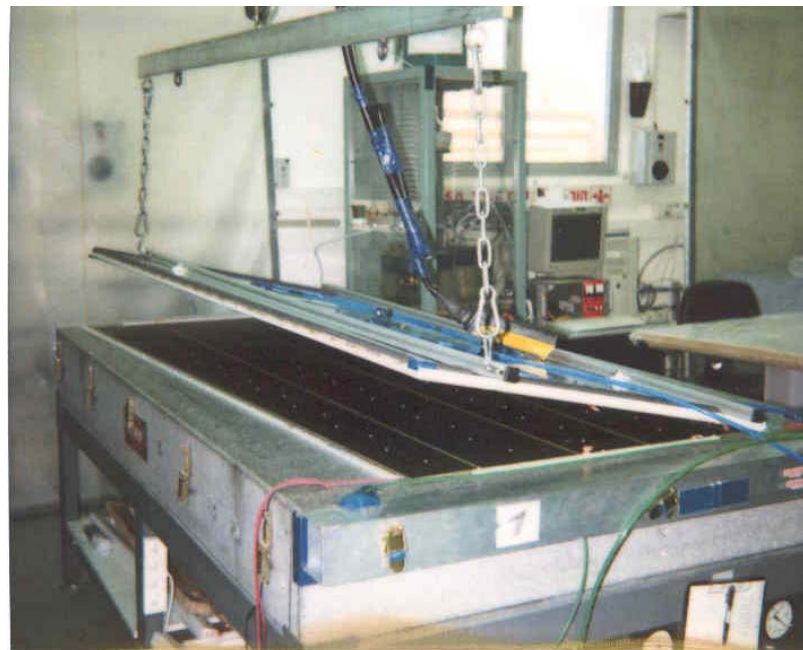
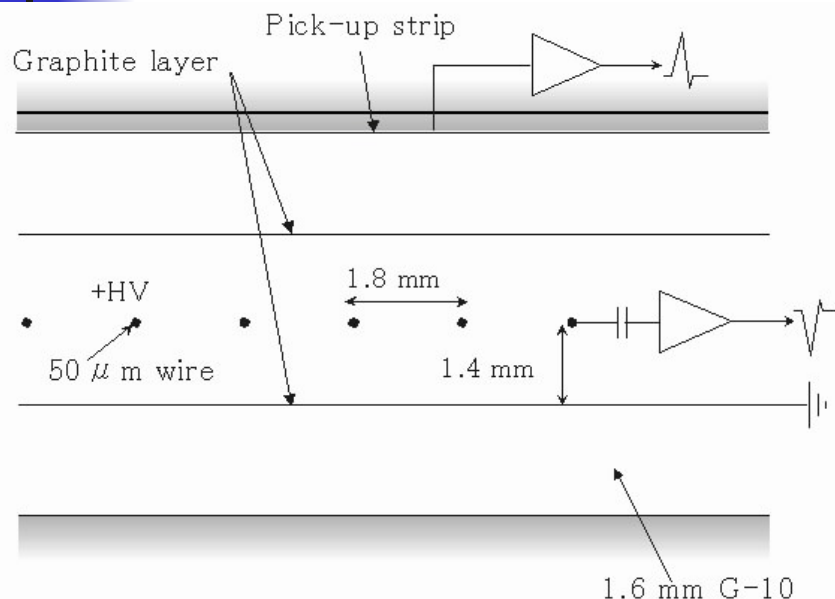
RPC



I Resistive Plate Chamber (RPC) sono usati nella parte barrel per il trigger. I vantaggi dell'uso di questo rivelatore sono molteplici, hanno infatti una elevata risoluzione temporale e un rapidissimo tempo di risposta (ordine di qualche nsec), proprietà che deriva dalla piccola gas-gap (distanza tra i due piatti) che è di 2 mm (non ci sono fili). I piatti sono di materiale plastico trattato con una vernice a bassa conduttività. Come nelle CSC viene letto il segnale indotto sulle strips.

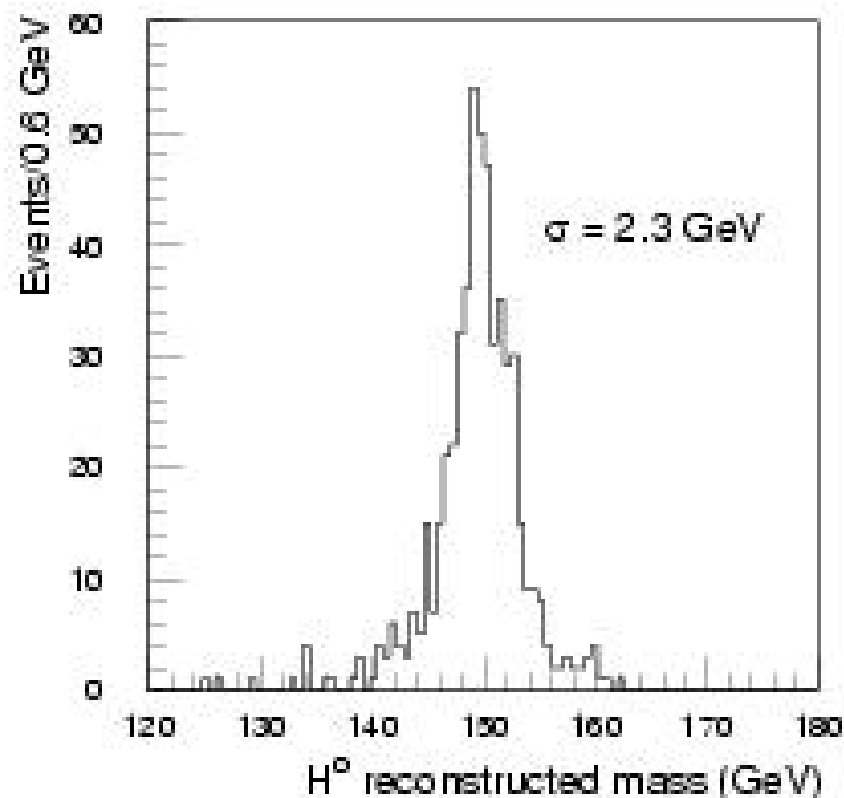
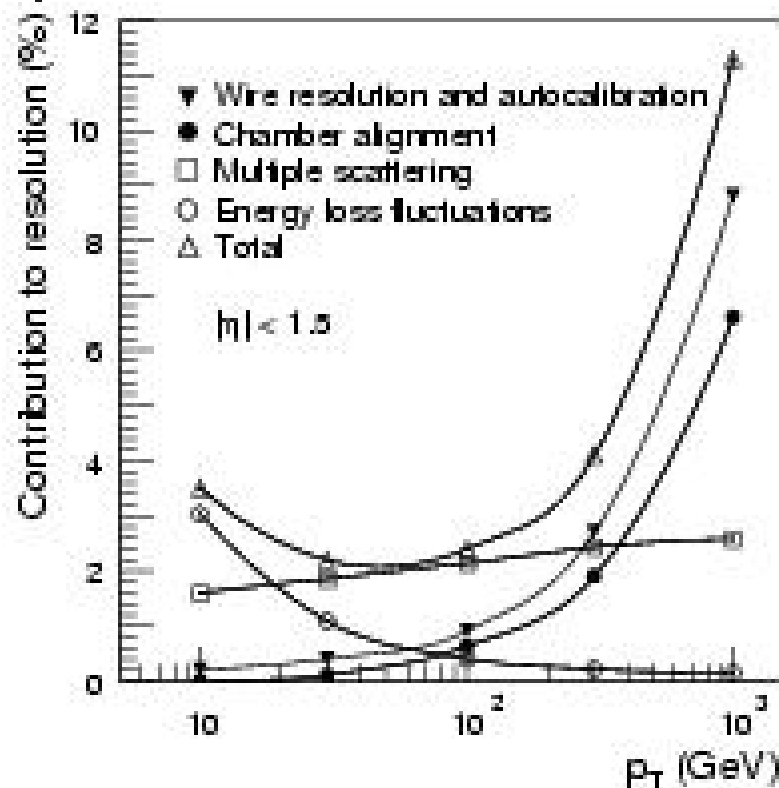
Altro non trascurabile vantaggio è l'economicità del prodotto anche a causa della sua industrializzazione.

TGC



- Il principio di funzionamento delle Thin Gap Chamber (TGC) è analogo a quello degli RPC con la differenza che la presenza dei fili con una spaziatura molto stretta permette una risposta adeguata anche a flussi elevati di particelle e dunque per questo sono usati nella zona forward. Nelle TGC sono letti anche i singoli fili mentre le strips, ortogonali ai primi, forniscono l'informazione sull'altra coordinata.

Lo Spettrometro per Muoni prestazioni



Il grafico a destra è il risultato di una simulazione in cui l'Higgs viene prodotto con 150 GeV di massa e poi rivelato attraverso la catena di decadimento: $H^0 \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$



Quanto costa ATLAS?

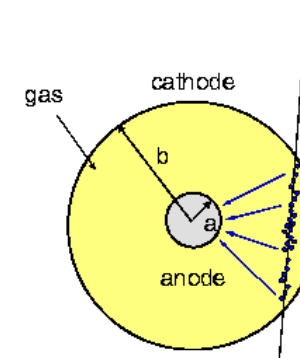
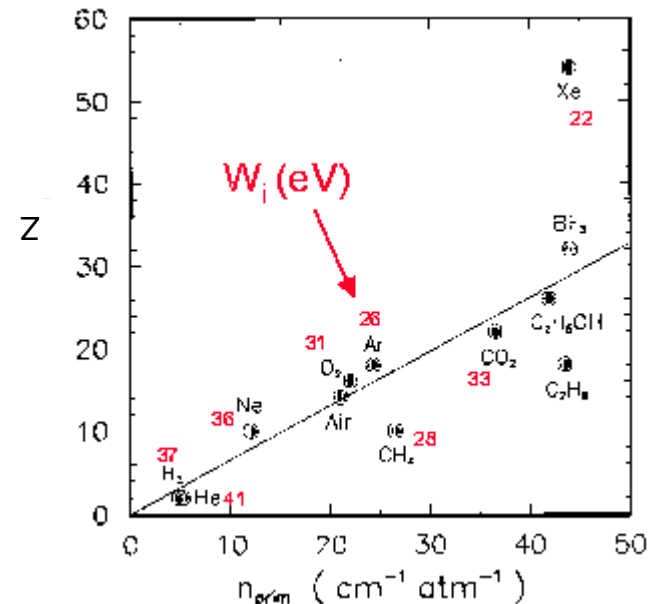
Sub Detector	Costi (MCHF)		Totale
	Meccanica	Elettronica	
Rivelatore Interno	48,6	29,0	77,6
Solenoidi	8,6		8,6
Cal. Elettromagnetico	61,2	36,1	97,3
Cal. Adronico	9,4	5,4	14,8
Spettrometro Muoni	26,2	15,3	41,5
Barrel Toroide	68,7		68,7
Forward Toroide	32,5		32,5
Criogenia	22,2	2,1	24,3
Trigger		26,1	26,1
DAQ		25,1	25,1
Controlli Rivelatori		8,1	8,1
Infrastrutture	24,9		24,9
TOTALE	302,3	147,2	449,5

Queste sono le stime di partenza del rivelatore (1994), a oggi queste valutazioni sono sbagliate per difetto di circa il 7% in modo pressochè uniforme su tutte le voci. Ne siamo ampiamente soddisfatti. Per confronto la stima del 1996 del costo di LHC fissato in 2600 MCHF è cresciuta di circa il 20%.

Un cenno sui rivelatori a gas (1)

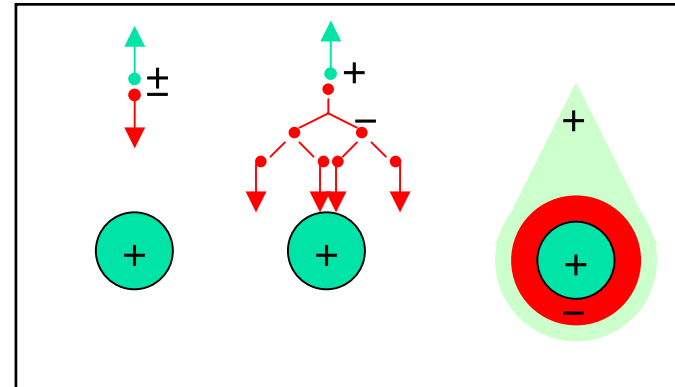
Le particelle cariche che attraversano un gas lo ionizzano. Se viene applicato un campo elettrico gli elettroni si dirigono verso il filo anodico, gli ioni verso il catodo.

È importante massimizzare il numero di coppie primarie prodotte, la dispersione della ionizzazione primaria infatti determina un forte contributo alla risoluzione spaziale in una camera a drift specie per le particelle che passano in prossimità del filo. A questo scopo è necessario inserire nella miscela un gas nobile che avendo la shell atomica più esterna "chiusa" non ha livelli vibrazionali e rotazionali sui quali disperdere energia la quale viene usata quasi integralmente per la ionizzazione.



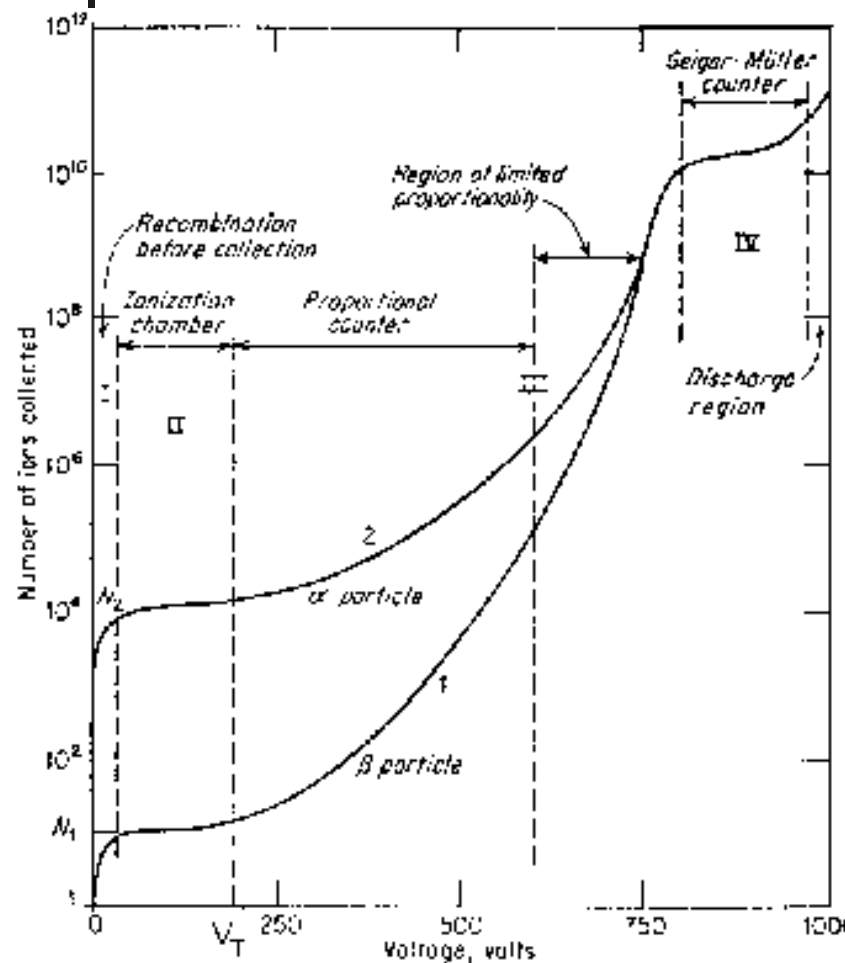
Un cenno sui rivelatori a gas (2)

Nella fase, che si chiama deriva (drift), di avvicinamento al filo avviene di tanto in tanto una ulteriore ionizzazione, di solito il numero di elettroni che arriva sul filo è circa 3 volte quello della ionizzazione primaria. Questa ionizzazione viene chiamata secondaria.



In prossimità del filo il campo elettrico cresce molto rapidamente (andamento di $1/r$) e questo provoca un processo di moltiplicazione a valanga, ciò che viene chiamato guadagno o amplificazione in gas. Questo genera un segnale elettrico sul filo che ha come caratteristica quella di avere un rapidissimo (pochi nsec) tempo di salita, che è legato al moto degli elettroni, e un più lento tempo di discesa legato al moto degli ioni sempre prodotti nella valanga. In base al valore del potenziale applicato al filo si possono avere diversi regimi di scarica. I guadagni più bassi (tipico valore è 5×10^4) sono caratteristici delle camere a drift o proporzionali, mentre guadagni più alti (anche oltre 100 volte) di quelle a streamer limitato o dei Geiger.

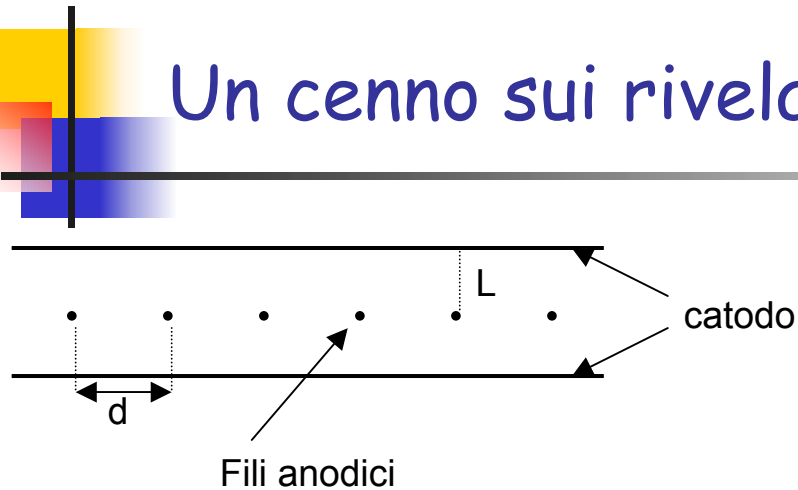
Un cenno sui rivelatori a gas (3)



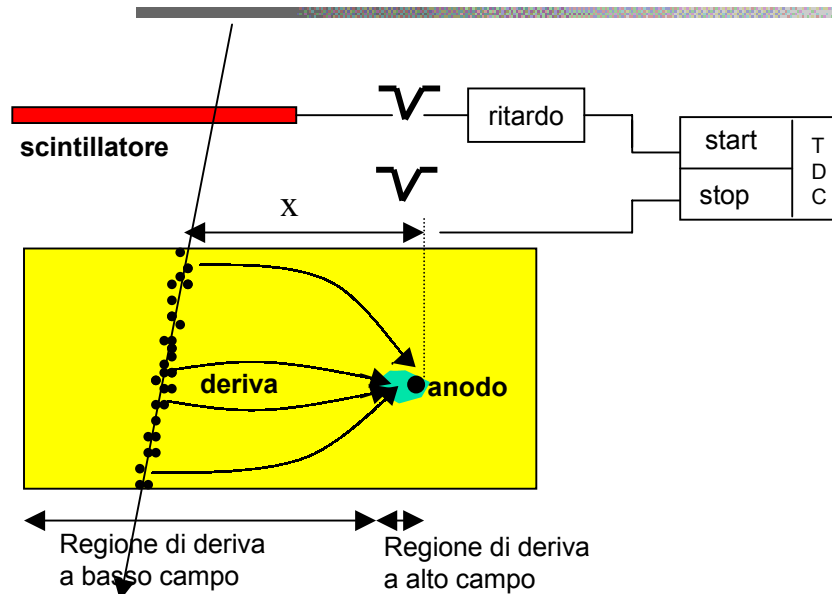
Come si vede dal grafico accanto la quantità di carica che si ottiene nella valanga dipende della tensione applicata (non si tenga conto dei valori numeri dell'asse delle ascisse perchè relativi ad un caso specifico) sul filo. Come detto precedentemente è possibile avere differenze in guadagno, per regimi diversi anche di un fattore 1000.

E' però necessario che, anche in regime proporzionale la scarica si "disinneschi". Per fare ciò si usa mettere nella miscela di gas anche una piccola quantità di idrocarburi (metano, etano...) oppure il CO_2 che svolgendo il compito opposto dei gas nobili tendono a smorzare la scarica. L'uso degli idrocarburi spesso pone seri problemi di sicurezza.

Un cenno sui rivelatori a gas (4)



Le camere proporzionali a multifili (MWPC) sono state costruite per la prima volta da G. Charpack (premio Nobel nel 1992) nel 1968. Nel suo disegno $d=L=2\text{mm}$ e determinava solo quale filo avesse segnale. Per migliorare la risoluzione spaziale sovrapponeva vari strati sfalsandoli.



Le camere proporzionali possono dare una migliore informazione sulla posizione di passaggio della particella carica misurando il tempo di deriva.

Bisogna avere un riferimento temporale esterno (nella figura lo scintillatore) che normalmente è dato dal tempo di crossing dei fasci nell'acceleratore. Si complica un pò l'elettronica di lettura, ci vuole un "orologio" specifico (TDC).



I requisiti delle camere MDT

Le camere MDT svolgono nello spettrometro la funzione di tracciamento di precisione del muone passante.

Per ottenere le precisioni richieste nella misura del momento del muone è necessario che le camere MDT forniscano informazioni spaziali sulla traiettoria del muone con una precisione di circa **80 μm per punto.**

Tale precisione sarà la risultante di diversi contributi:

la precisione intrinseca del singolo rivelatore

la conoscenza della sua posizione nello spazio

le disuniformità dovute a effetti di variazione di temperatura e di campo magnetico

la risposta dell'elettronica di lettura e il rumore a essa associato

Inoltre queste camere devono essere in grado di lavorare in un ambiente difficile (per l'elevata radiazione di fondo) come sarà a LHC e...devono costare una cifra "ragionevole" trattandosi di **5500 m^2 di camere per un totale di circa **1200 unità**, in questo momento in costruzione in ogni angolo della terra!**

Nella fase di progettazione delle camere dal punto di vista della meccanica è stato necessario fare una forte richiesta sulla precisione nel posizionamento dei fili: **20 μm RMS per ogni camera.**

Il tubo: descrizione (1)

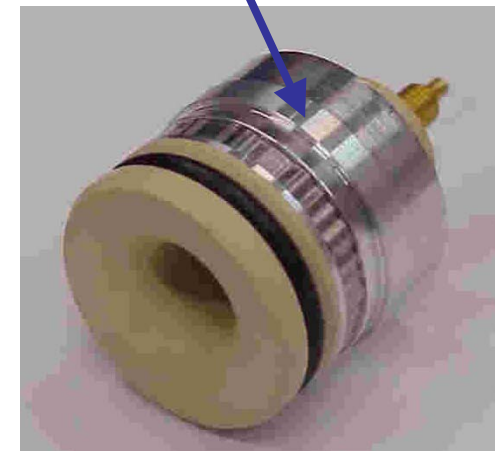
In una prima fase è stato fissato il tipo di rivelatore da usare, si è deciso per una soluzione con l'elemento singolo più semplice possibile ovvero di un tubo in alluminio con un filo al centro, fino ad ora avevamo visto invece camere con molti fili sensibili in un unico volume.

La scelta del materiale per i tubi è stata immediata, **l'alluminio** infatti minimizza certamente il rapporto costi/benefici.

Il tubo (**30mm diametro**, **400 μ m spessore** e lunghezze che vanno da circa un metro fino a **5.5m**) è un oggetto relativamente preciso ma non è sul tubo che si fa fede per il preciso posizionamento del filo (**tungsteno di 50 μ m** di diametro con una sottile placcatura in oro per evitare ossidazioni).

L'elemento che assicura la precisione meccanica del tubo è il tappo. All'interno del tappo vi è un'elica che posiziona il filo e la posizione del filo è il centro della superficie esterna di riferimento.

Superficie
esterna di
riferimento



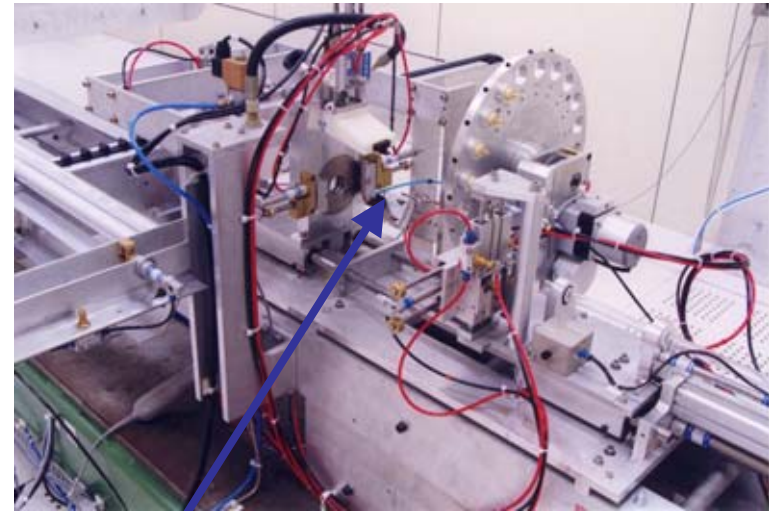
Il tubo: descrizione (2)

**Il tappo è elemento cruciale anche per altre ragioni, deve essere infatti:
ottimo isolante elettrico.**

ottimo contatto di massa verso il tubo.

tenuta per il gas (3 bar assolute).

Il gruppo dei LNF ha investito parecchie risorse nella realizzazione di una macchina totalmente automatica per la filatura dei tubi, operazione portata a compimento con successo al punto che sulla base del progetto LNF parecchi altri istituti che hanno il compito di produrre come noi camere MDT hanno realizzato una macchina gemella. Una produzione molto lunga come quella dei rivelatori per gli esperimenti a LHC necessità di componenti fortemente automatizzati nella linea di produzione.

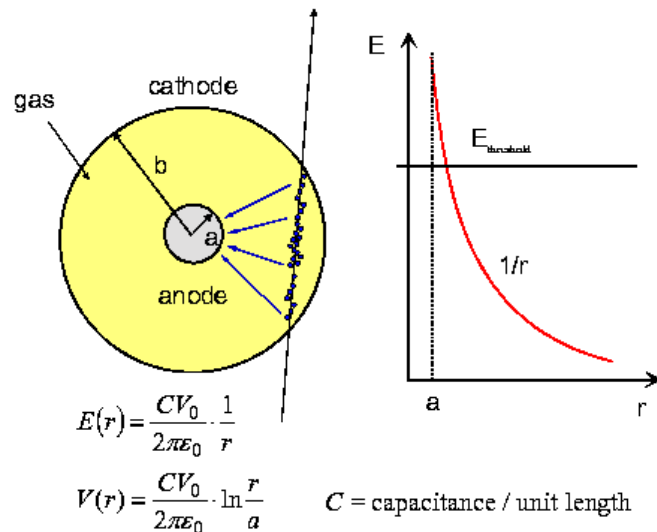


**circa il 55%
dei tubi LNF
sono già
stati filati**



Il tubo: funzionamento

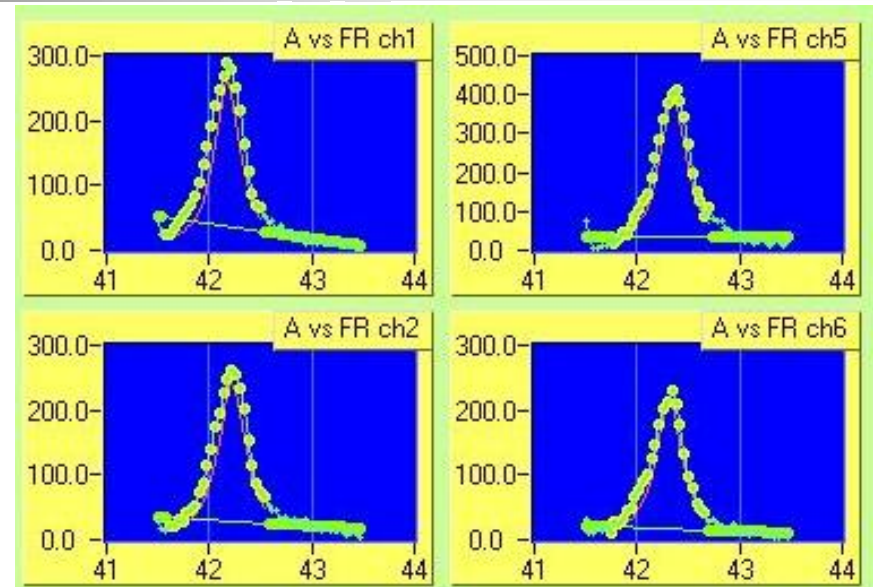
La miscela di gas attualmente scelta è a base di **Argon (93%)** con una piccola aggiunta di **CO₂ (7%)**. Il tubo lavora pressurizzato a **tre bar assolute** in questo modo infatti la produzione di coppie primarie viene moltiplicata per tre. Il valore di tensione che si applica è di **3080V** e a questo valore il guadagno nel gas dovuto alla valanga è di **2*10⁴**. Questo valore di guadagno è particolarmente basso, ma è stato scelto per scongiurare o quanto meno rallentare il naturale processo di invecchiamento del rivelatore che è proporzionale alla quantità totale di carica integrata.



Misurando la distanza di deriva si ottiene la distanza di minimo approccio della traiettoria della particella dentro il tubo. Questo vuol dire che la particella aveva una traiettoria tangente, in un punto non conosciuto, al cerchio di raggio pari alla distanza misurata. E' quindi necessario mettere insieme un certo numero di tubi per ricostruire la traiettoria tangente a tutti i cerchi.

QC dei tubi: tensione meccanica filo (1)

Incont
ri ■ di
fisica

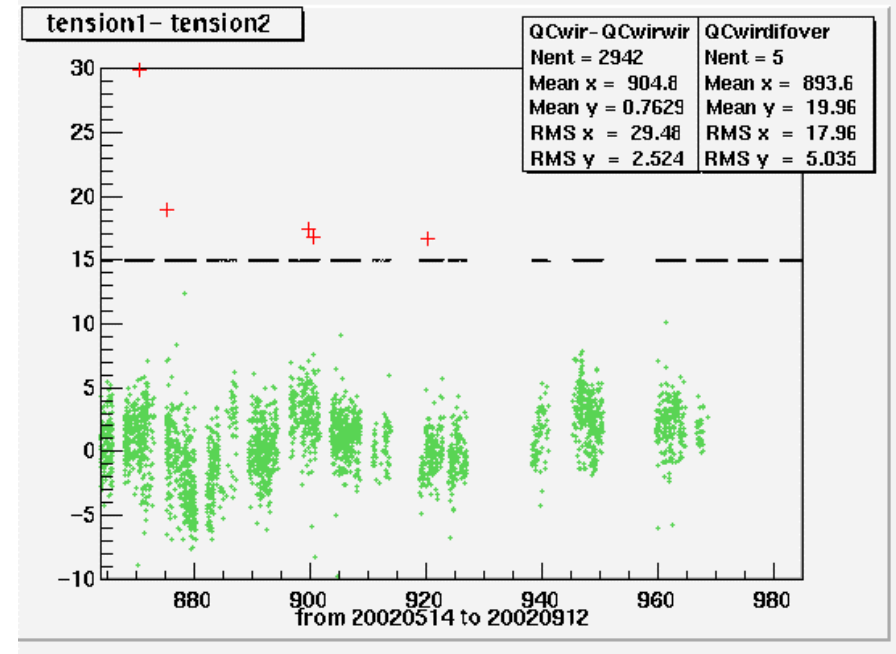
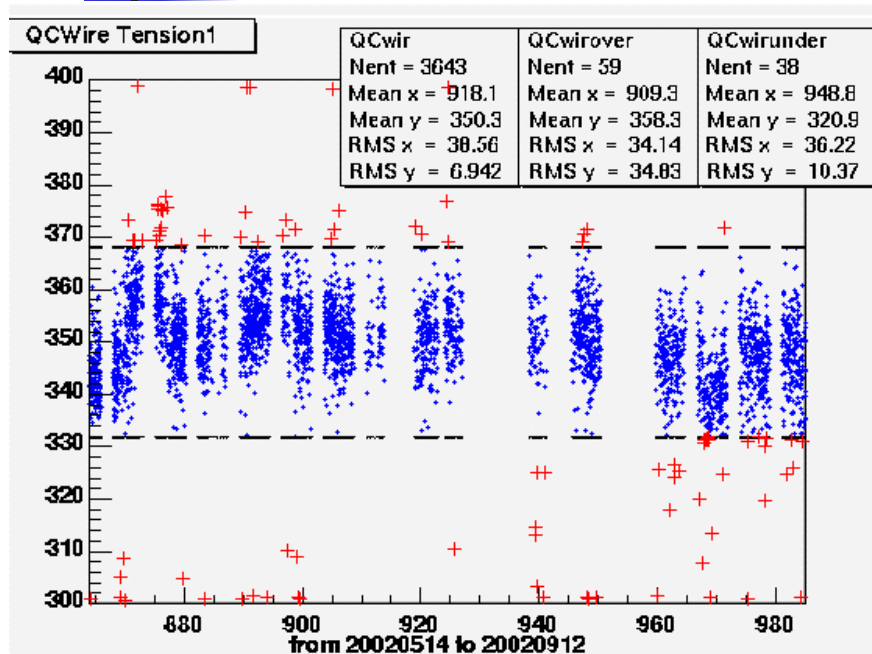


La misura della tensione meccanica del filo è uno dei QC effettuati su tutti i tubi. Le specifiche richiedono una precisione di $\pm 17g$ su un valore di 350g.

La strumentazione per tale misura è stata realizzata nei nostri laboratori. Il metodo di misura è ormai divenuto classico, si mette in oscillazione forzata il filo e si misura la frequenza di risonanza, esiste una relazione nota tra tale valore e la tensione meccanica.

Il sistema sviluppato a Frascati si differenzia da quelli commerciali per non necessitare di un magnete esterno al tubo per innescare la oscillazione, che viene creata utilizzando una corrente impulsata sul filo.

QC dei tubi: tensione meccanica filo (2)



Tubi testati negli ultimi 120 giorni. T1 è il valore della tensione che ha il filo lo stesso giorno in cui il tubo viene costruito; T2 è il valore due settimane dopo.

E' importante verificare che non ci siano stati rilassamenti del filo. Le variazioni entro 5g osservati sono il risultato di diversi contributi: un effettivo rilassamento che è dell'ordine del grammo, la risoluzione dello strumento che è di circa 2g e la Temperatura che porta variazioni perfettamente calcolabili (e sperimentalmente verificate) di 1.5g per 1°C.



QC dei tubi: tenuta di gas (1)

La tenuta del gas dei tubi è una delle caratteristiche più spinte dei tubi stessi.

Il limite è di **10^{-8} bar l sec⁻¹**.

Tale limite è posto dalla necessità di tenere il livello di ossigeno, fortemente elettronegativo, all'interno dei tubi al di sotto di **100 ppm**.

Bisogna aggiungere che tutto ciò dipende anche dal fatto che il numero di ricambi di gas che si fanno a regime in un giorno è stato fissato a uno per ragioni non del tutto scientifiche come sono ad esempio quelle economiche.

Per dare un'idea di cosa significa tale limite basti pensare che in un tubo lungo 3.6m con un volume di circa 2.5l (quali quelli realizzati ai LNF) pressurizzato a 3 bar assolute la variazione di pressione dovuta alla perdita deve essere inferiore a 2 mbar al giorno. Per confronto la pressione varia di 10 mbar per ogni grado di temperatura.

Anche in questo caso ai LNF si è fatta strada l'idea di un sistema automatico, nella fase di R&D questo test sui tubi era, a ragione, considerato quello più problematico sia in termini di manodopera necessaria che di tempo uomo impegnato.

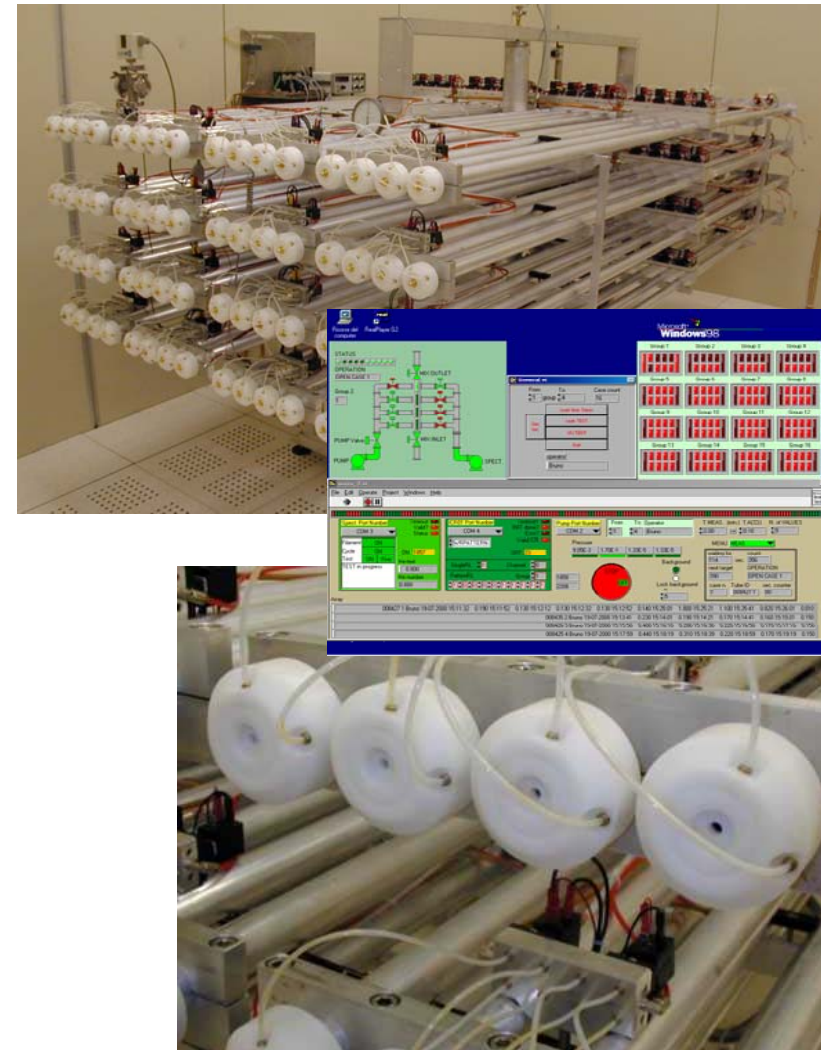
Così come per la filatrice anche la stazione di test della tenuta di gas descritte nella prossima slide è stata "adottata" da parecchi istituti della collaborazione.

QC dei tubi: tenuta di gas (2)

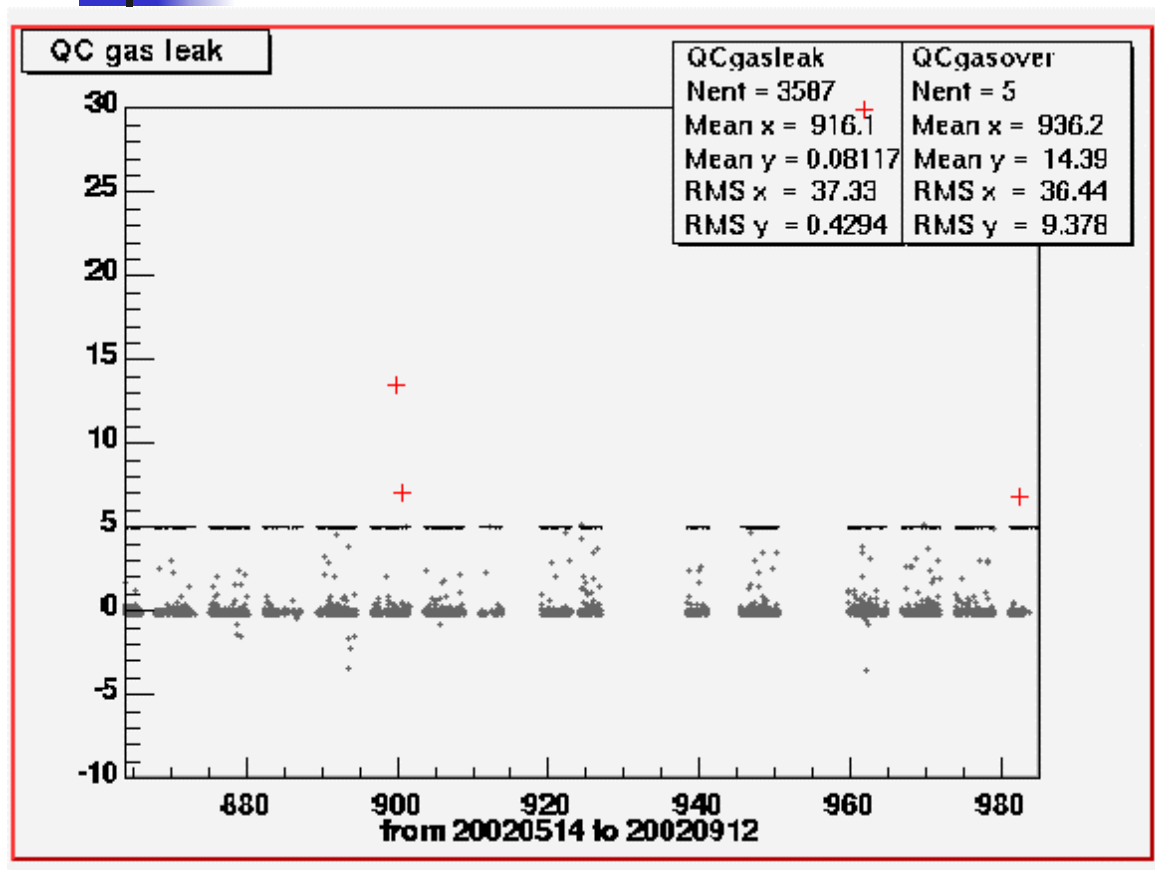
Il metodo di test sviluppato a LNF prevede l'uso di uno spettrometro di elevata sensibilità per l'elio.

Si sono realizzati un certo numero di contenitori in alluminio di diametro più grande del tubo. Ogni singolo tubo viene infilato in uno di questi contenitori il quale viene poi tappato in modo da poter riempire il tubo con una miscela di gas contenente una piccola percentuale di elio. All'interno dei contenitori viene fatto il vuoto e lo spettrometro è in grado di rivelare tracce d'elio nei contenitori che ovviamente deve provenire dal tubo e dunque misurare il livello di perdita del tubo.

Il limite dichiarato nella slide precedente vale per il tipo di gas (Argon) che si userà nell'esperimento, questo limite per l'elio è circa 5 volte maggiore.



QC dei tubi: tenuta di gas (3)



Dal punto di vista dei risultati il test di tenuta non risulta molto selettivo in questo ultimo periodo.

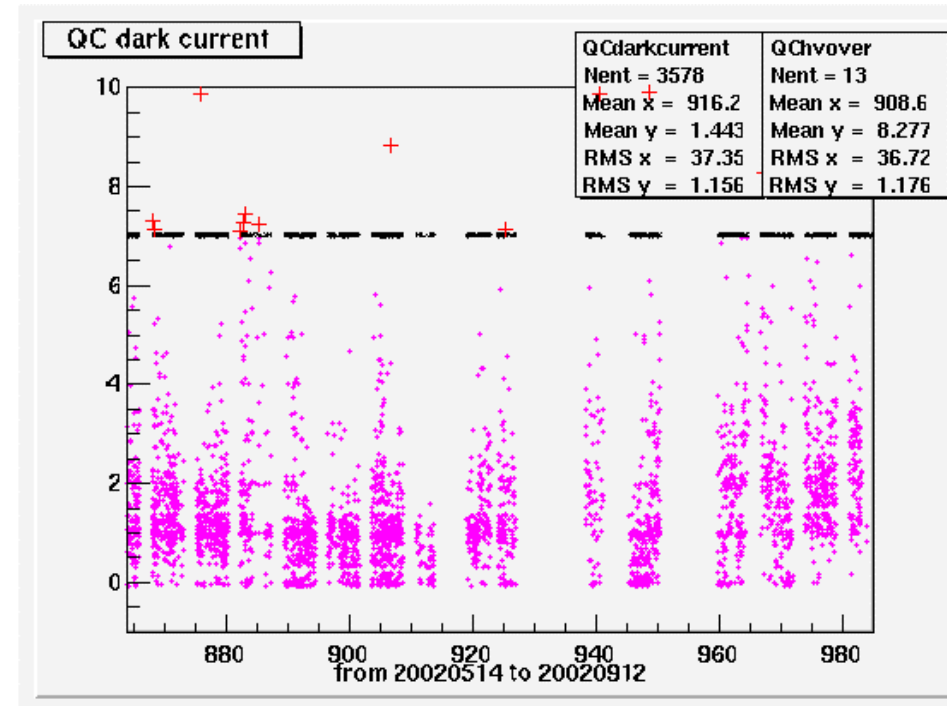
Questo è il risultato finale di un "tuning" molto preciso della apparecchiatura che blocca il tubo sull'O-Ring (crimpatrice) e in questa fase avere la misura del livello di perdita molto accurata è stato molto importante.

QC dei tubi: corrente oscura

La corrente oscura è la corrente assorbita da un tubo quando viene alimentato alla tensione di lavoro ed è esposto solo alla normale radiazione di fondo e cosmica.

Il limite è fissato in **7 nA** ad una tensione di 3400V (da confrontare con 3080V che è la tensione di lavoro).

Anche in questo caso il controllo non è particolarmente selettivo, questo era abbastanza atteso il tubo così concepito ha proprio nella sua affidabilità uno dei suoi punti di forza, inoltre il modo totalmente automatico di filarlo rende il tubo più "pulito" e quindi meno soggetto a scariche permanenti di superficie che sono la causa principale di assorbimenti anomali.



Le Camere MDT

Ogni camera MDT è ottenuta incollando due **Multilayer** di tubi con 3 o 4 layers di tubi ognuno su una struttura portante chiamata **spacer**.

La camera incollata va poi equipaggiata:

Distribuzione del gas,

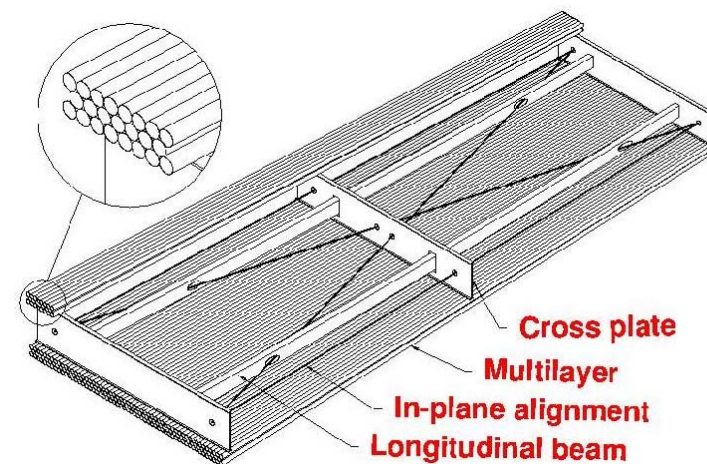
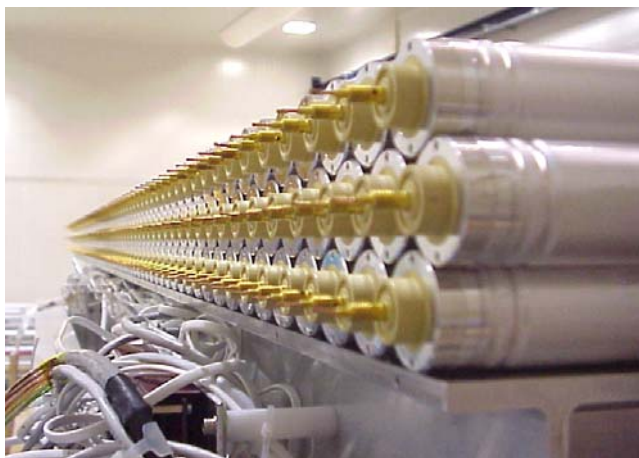
Schede per la distribuzione HV

Schede per la lettura dei segnali

“Gabbia di Faraday” (protezione dal “rumore” elettronico esterno)

Sensori di temperatura e campo magnetico

Sistema di controllo della stabilità meccanica della camera.





Le Camere MDT: assemblaggio (1)

I requisiti richiesti alle camere MDT in termini di precisione meccanica hanno implicato un lungo periodo di R&D. In questa fase diversi istituti hanno studiato tecniche diverse realizzando vari prototipi alcuni anche in scala reale.

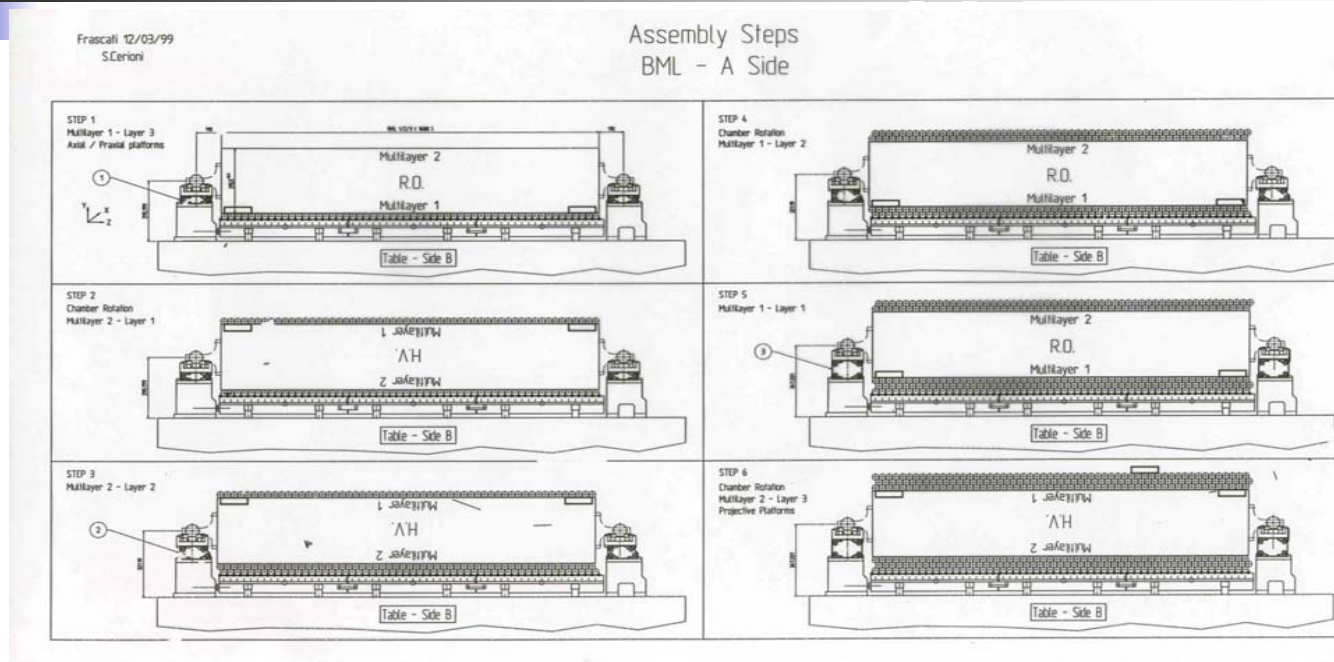
In conclusione due tecniche sembravano plausibili.

La prima prevedeva un approccio globale e progettava di incollare un multilayer tutto insieme posizionando con la precisione richiesta i tubi esterni e lasciando liberi i tubi interni. Questa tecnica però non garantiva la precisione meccanica necessaria per i tubi interni e rendeva problematica la correlazione tra i due multilayer.

La seconda prevedeva un approccio parziale e progettava di incollare un layer alla volta utilizzando lo spacer come struttura portante. Questa tecnica garantiva la precisione necessaria ma aveva come “contro” il fatto che il numero di incollaggi aumentassero e che dunque il tempo necessario per costruire una camera aumentasse. Un incollaggio infatti necessita sempre di almeno 12 ore di attesa per l’essiccazione della colla.

Dopo lunga valutazione da parte di tutta la collaborazione questa seconda tecnica a suo tempo proposta dai LNF è stata accettata come la sola praticabile.

Le Camere MDT: assemblaggio (2)

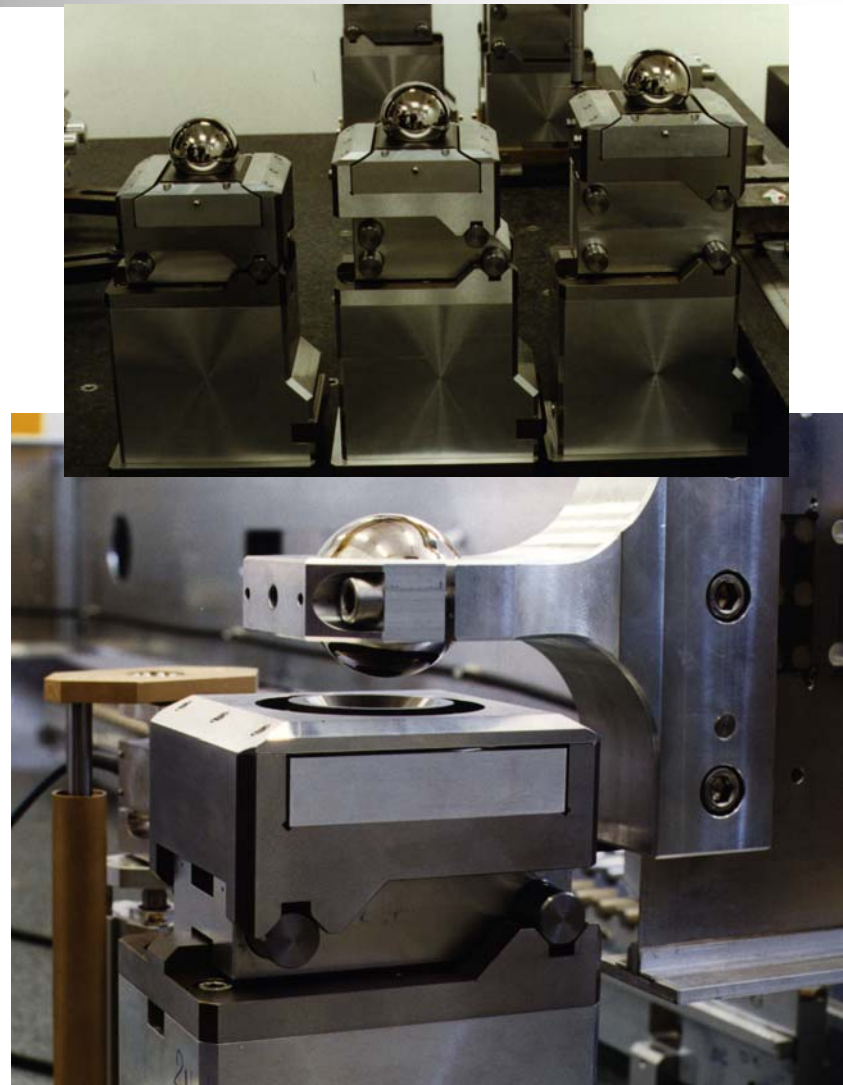
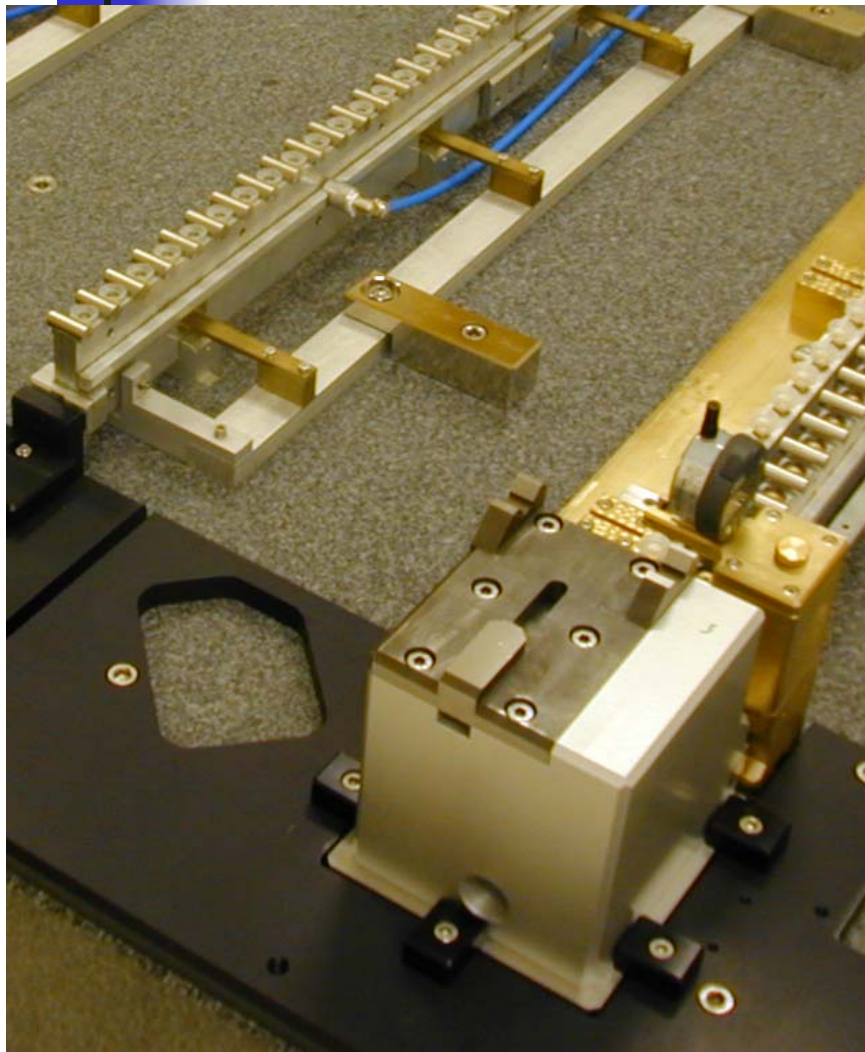


Disegno tecnico realizzato ai LNF della sequenza di operazioni per l'incollaggio di una camera MDT. Concettualmente la procedura è molto semplice passa attraverso la realizzazione di 6 differenti passi uno per ogni strato di tubi da incollare. **Che cosa garantisce la precisione necessaria?**

Gli elementi di precisione sono due, i **"pettini"** che poggiati su un tavolo di granito permettono il posizionamento dei tubi che costituiscono il layer in fase di incollaggio e le **"torri"** che sostengono lo spacer e che determinano la corretta distanza tra i diversi layers.

Le Camere MDT: assemblaggio (3)

Incont
ri ■ di
fisica



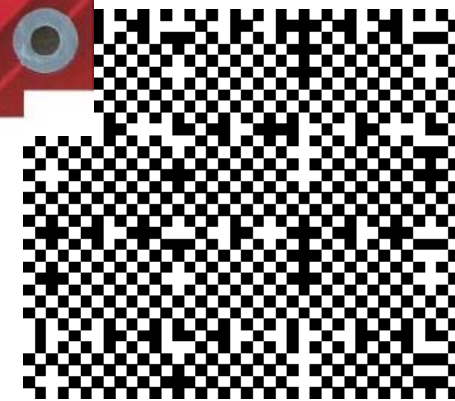
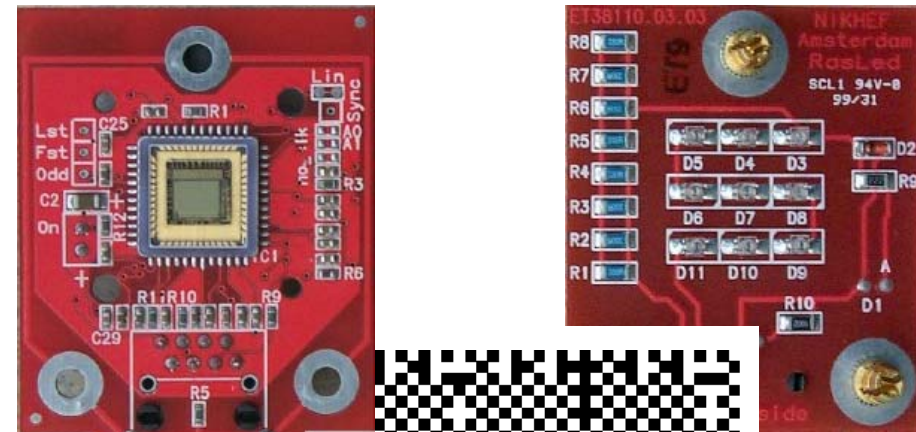
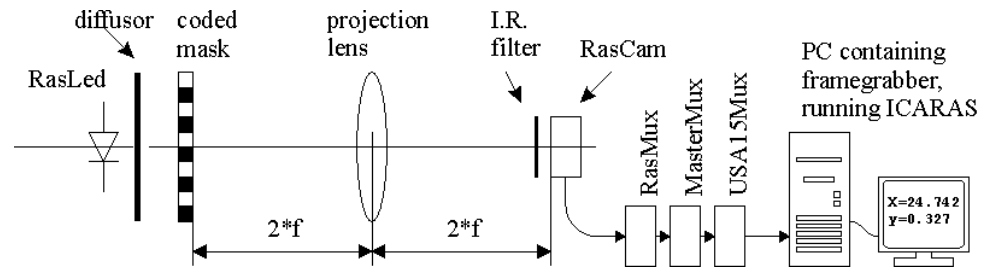
Le Camere MDT: assemblaggio (4)

Incont
ri ■ di
fisica



QC delle Camere: assemblaggio (1)

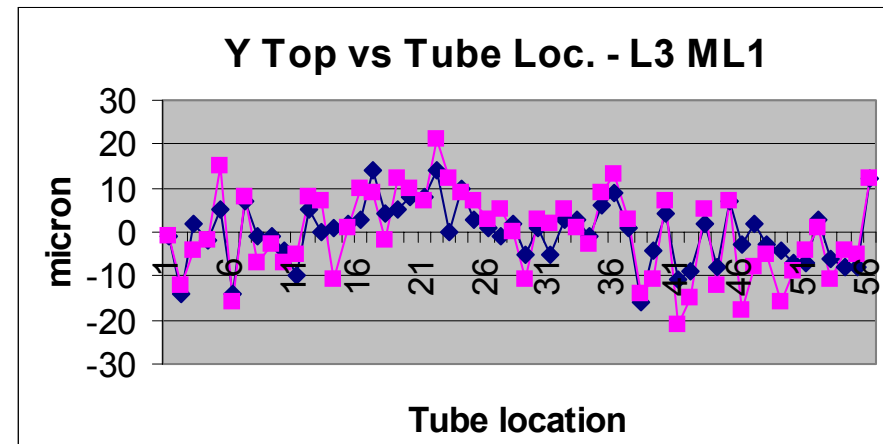
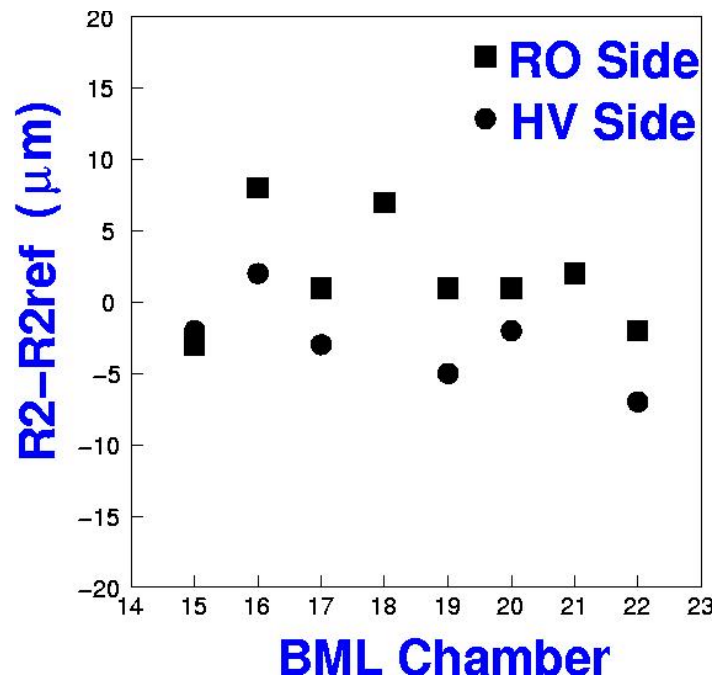
All'interno della camera, attaccati allo spacer ci sono dei sistemi (Rasnik) che con una precisione elevata (ordine del micron) misurano le deformazioni della struttura stessa. Questi sistemi svolgono sia una funzione di monitoraggio durante la fase costruttiva della camera che di controllo quando quando le camere sono montate sull'apparato. Inoltre sul tavolo di granito ci sono altri sistemi simili (vedi pag. prec.) che sono usati per il controllo delle operazioni di assemblaggio, in particolare per la riproducibilità del posizionamento delle sfere e la correttezza degli spostamenti dovuti alle torri e per la planarità dello spacer sia longitudinalmente che trasversalmente ai tubi.



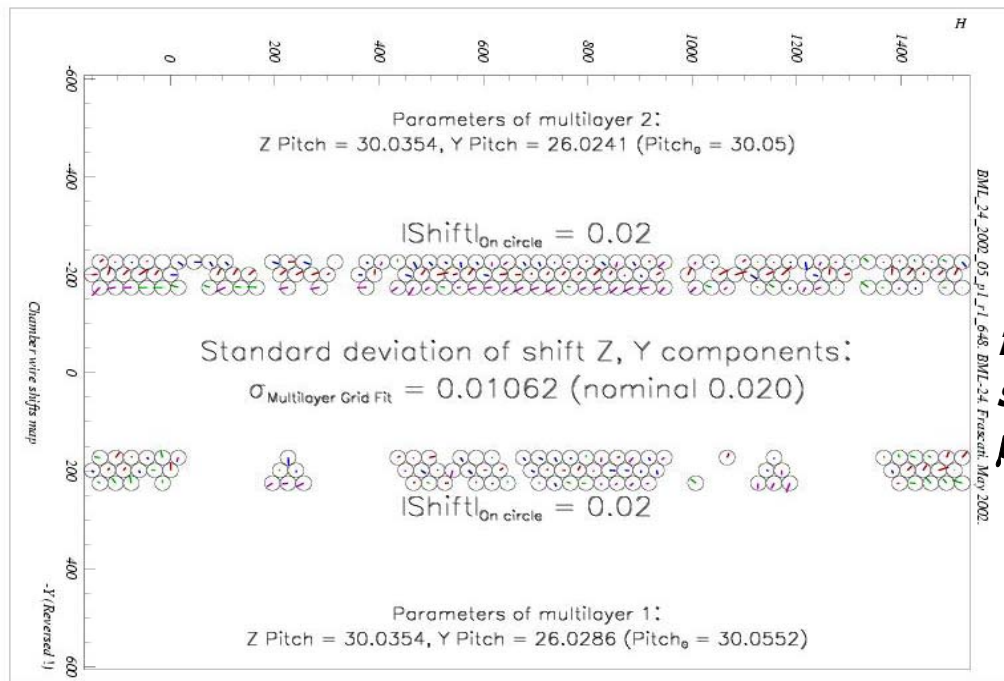
Qc delle Camere: assemblaggio (2)



Un altro tipo di controllo di qualità che si effettua in fase di assemblaggio riguarda il singolo layer posizionato sui pettini. Utilizzando un micrometro opportuno si misurano le posizioni dei tappi sulla parte alta della superficie di riferimento. La risoluzione dello strumento non è molto elevata ma eventuali problemi (legati a forte interferenza tra i tubi) causano effetti molto vistosi (centinaia di micron).



QC delle Camere: tomografia (1)



I cerchi della figura indicano uno scarto di modulo 60 μm .

La collaborazione ATLAS si è dotata (contributo del gruppo CERN) di un tomografo a raggi X (realizzato all'interno del CERN) per il QC delle camere MDT. Il sistema si basa sull'uso di due cannoni di raggi X e sfruttando il diverso assorbimento dei fotoni in funzione di Z è possibile distinguere molto bene il filo (tungsteno) rispetto al "fondo" di alluminio. La risoluzione spaziale per singolo filo è dell'ordine dei micron.

QC delle Camere: tomografia (2)

BML	Pitch Z (- 30 mm)	Pitch Y	Dist. ML	RMS Free	RMS Mod 0
Mod 0	35.50	26033	346991	11.8	11.8
BML01	35.48	26021	347002	14.3	15.9
BML04	35.25	26030	346977	13.5	15.2
BML06	35.71	26025	346994	11.6	13.5
BML24	35.39	26026	346989	11.5	12.9

*Tutti i
numeri sono
micron*

La camera viene descritta con una griglia costruita a partire da tre parametri:
il passo tra i tubi di un layer
il passo tra i layers
la distanza tra i layers interni dei due multilayer.

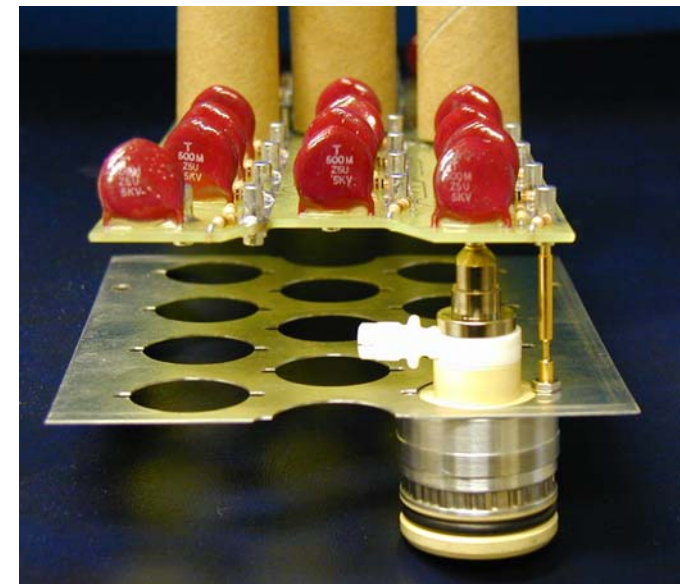
I parametri della griglia presenti in tabella si ottengono minimizzando la somma dei quadrati degli scarti dalla griglia stessa. L'ultima colonna mostra la precisione della camera quando invece di lasciare nel "fit" i parametri liberi si impongono quelli del Modulo 0 ovvero della prima camera costruita e utilizzata per la certificazione della catena di costruzione dei LNF. E' di assoluto rilievo notare come a distanza di quasi due anni (il modulo 0 è stato costruito in estate 2000 mentre la camera 24 nella primavera 2002) il processo di produzione ha mantenuto inalterati i requisiti e le caratteristiche di precisione.

Le Camere MDT: equipaggiamento (1)

Una camera incollata necessita per funzionare di tutta una serie di "servizi" deve, come si dice in gergo, essere equipaggiata. Gli elementi per l'equipaggiamento delle camere MDT sono diversi:

- il sistema di distribuzione di gas ai tubi**
- le schede elettroniche per l'alimentazione HV e per la lettura dei segnali**
- la "Gabbia di Faraday" per la protezione dal rumore esterno**
- i sensori per la misura di temperatura e campo magnetico**

Nella figura sono chiaramente visibili il tappo, il raccordo del gas (in bianco) e il "signal cap" che blocca il raccordo del gas e si connette alla scheda portando il segnale dal filo. Accanto si vede il pin di massa attaccato alla parte metallica del tappo che è connessa al tubo stesso. Bloccato sul tappo dal pin di massa si vede un foglio di alluminio (trattato per una migliore conduzione elettrica) che costituisce il fondo (ground plate) della "Gabbia di Faraday". Sulla scheda sono visibili i condensatori per disaccoppiare il segnale dall'alta tensione e in grigio i contatti per i pin.

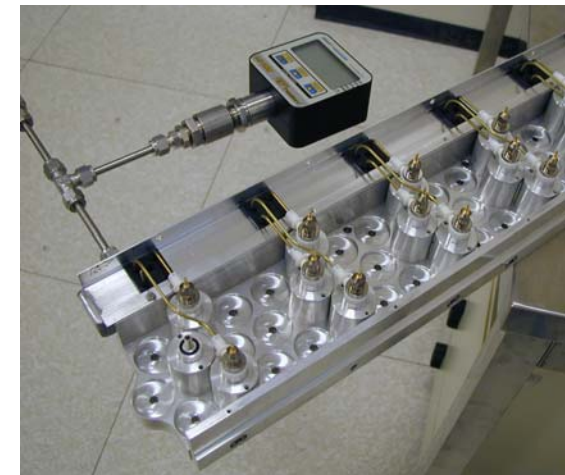


Le Camere MDT: equipaggiamento (2)

Il sistema di distribuzione del gas è l'elemento dell'equipaggiamento di una camera di maggior rilievo sia come difficoltà che come impegno di risorse umane.

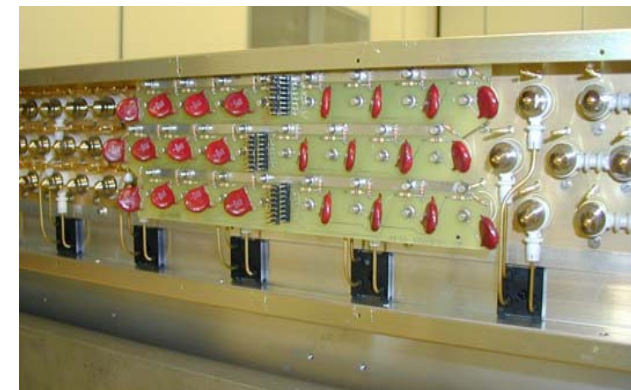
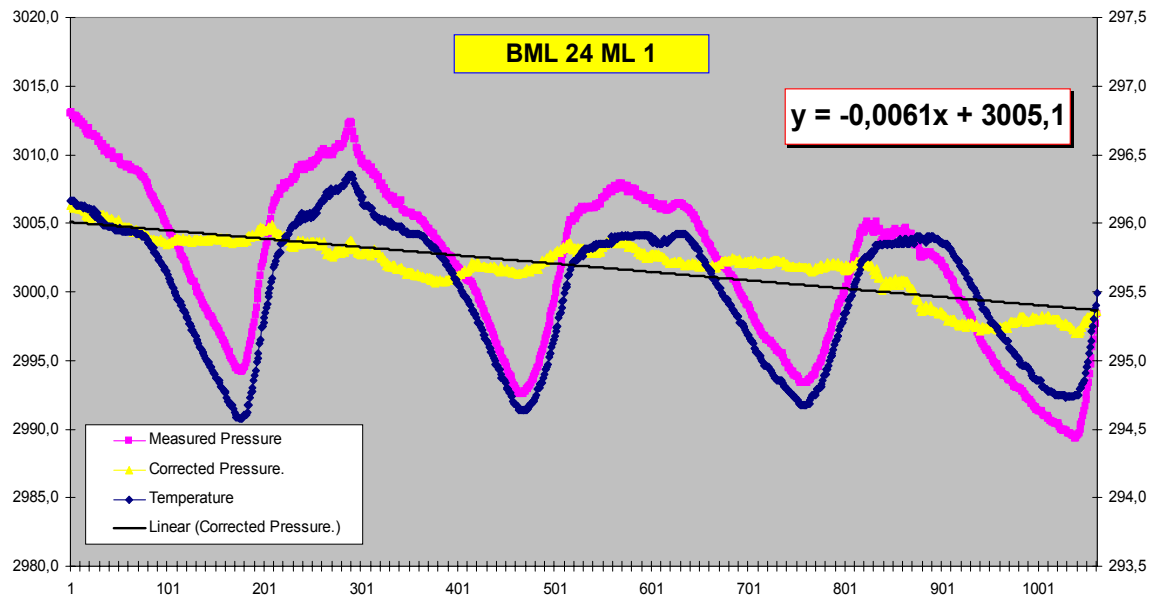
E' costituito da un distributore (un tubo a sezione rettangolare) al quale vengono connessi tramite le placchette nere visibili nella foto i tubini di collegamento dei singoli tubi. Il tutto viene assemblato su una "maquette" che riproduce meccanicamente una camera. Nella "maquette" ci sono delle posizioni vuote, nella camera quei tubi sono raccordati in modo diretto (jumpers) e non attraverso il distributore, questo significa che il sistema non è puramente parallelo ma parallelo di gruppi di tre tubi in serie.

Una volta assemblato il distributore viene pressurizzato a tre bar assolute e testato tramite un manometro differenziale (non è lo strumento che si vede nella foto) collegato ad un volume di riferimento che ha perdite nulle o trascurabili. Se il distributore non soddisfa i requisiti di tenuta, la perdita dovrà essere localizzata tramite uno sniffer, riparata e il tutto messo di nuovo sotto test. Un numero su tutti: in una camera con 56 tubi per layer e 3+3 layers ovvero 336 tubi ci sono **2470 O-Ring.**

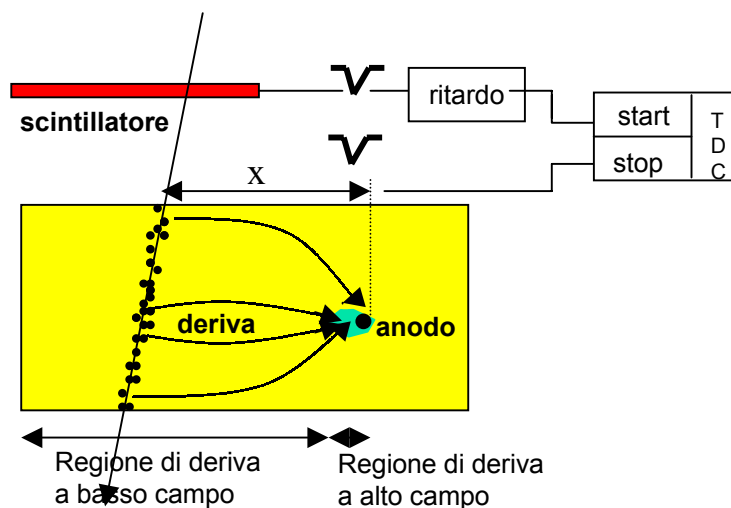
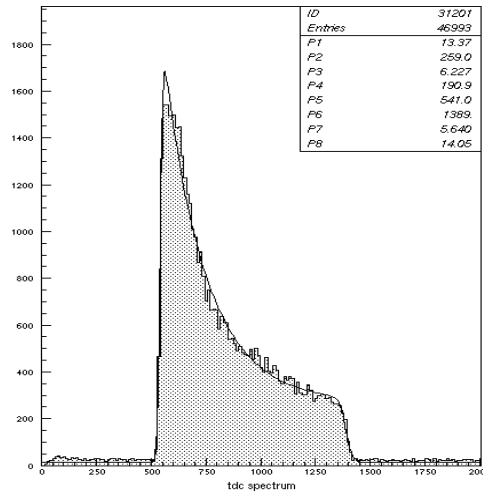


Le Camere MDT: equipaggiamento (3)

Completata l'installazione del sistema di gas, la camera viene testata globalmente, di nuovo viene pressurizzata e monitorata tramite un sistema computerizzato attraverso 8 sensori di temperatura e un manometro assoluto. I valori vengono acquisiti ogni 5 minuti. Come si vede dal grafico gli effetti di temperatura sono molto rilevanti e dunque si calcola (a partire dall'equazione di stato dei gas perfetti) il rapporto P/T. La foto mostra la camera con l'equipaggiamento in uno stato abbastanza avanzato si notano i "jumpers", una scheda per la lettura del segnale e parte della "Gabbia di Faraday".



Stazione di test con i cosmici

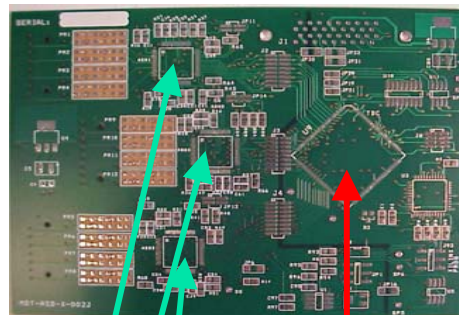


La stazione di test prevede fino a 5 camere in contemporanea, di fatto a causa dei ritardi dell'elettronica di lettura siamo in grado di equipaggiare completamente solo una camera. Nella foto si vedono le strutture gialle che supportano gli scintillatori, altri scintillatori sono sul pavimento schermati da strati di piombo per escludere la componente di bassa energia del flusso di raggi cosmici.

Le Camere MDT: elettronica (1)

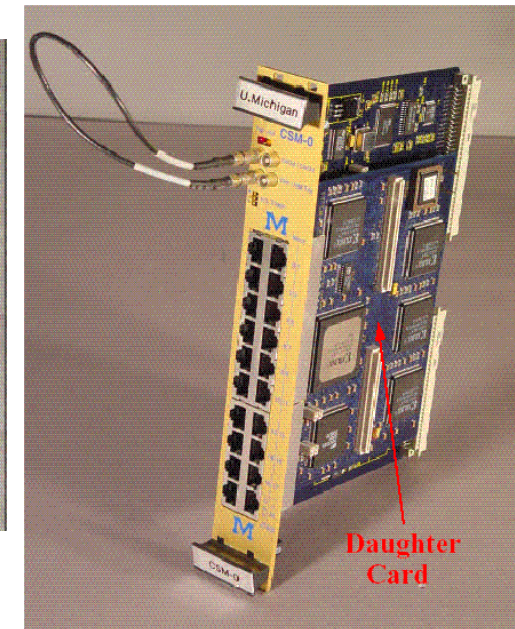
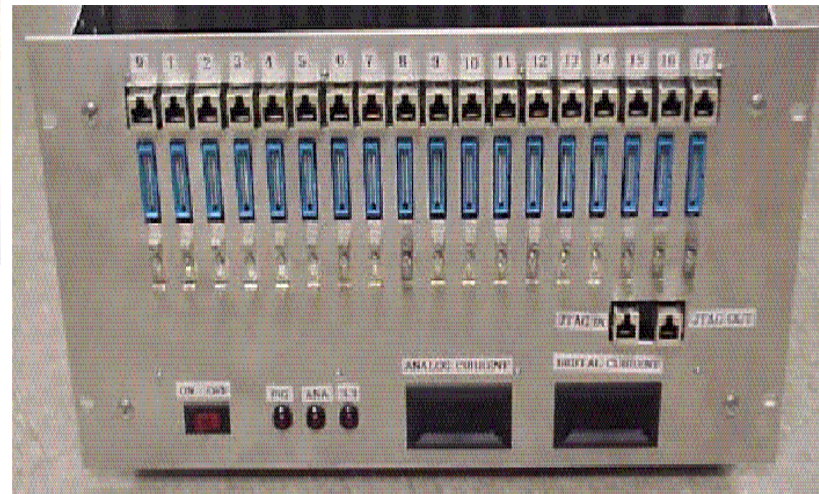
Allo stato attuale dello sviluppo la catena elettronica di lettura dei tubi disponibile è parziale o prototipale. Esiste già il disegno finale per la parte analogica (Front-End), e si è un pò in ritardo sulla produzione, e si sta convergendo rapidamente sulla parte digitale (Read-Out).

La catena in questo momento attiva sulla stazione di test è fatta da tre elementi distinti: il Mezzanino, l'adapter, il CSM.



8 chan ASD chip

24 chan TDC chip



Le Camere MDT: elettronica (2)

Mezzanino

Contengono l'elettronica di Front-End delle Camere MDT.

Ogni mezzanino riceve i segnali da 24 tubi.

Ognuno dei 24 segnali passa attraverso un ASD (Amplifier Shaper Discriminator) che li forma in modo tale da poter essere letti dal TDC (Time to Digit Converter).

Il TDC determina il tempo di arrivo del segnale rispetto al segnale di trigger (riferimento temporale).

Adapter

Allo stato attuale e' necessario per poter collegare i mezzanini al CSM.

Funziona da repeater per i segnali digitali scambiati tra il CSM e i mezzanini.

CSM

E' la scheda di Read-Out delle camere MDT.

Per ogni evento di trigger, raccoglie i dati provenienti da 18 mezzanini e li invia, tramite CPU, ad un computer remoto che provvede a salvarli su disco.

Effettua la programmazione dei mezzanini (soglie dei discriminatori, modalita' di funzionamento del TDC).