Agosto, 1999

PARTECIPAZIONE ITALIANA ALL'ESPERIMENTO LHC-b

Collaboration

Bologna : A.Bertin, M.Bruschi, M. Capponi, I. D'Antone, S. De Castro, R. Donà, D. Galli, B. Giacobbe, U. Marconi, I. Massa, M.Piccinini, M. Poli, N.Semprini-Cesari, R. Spighi, S. Vecchi, V. Vagnoni, M. Villa, A.Vitale, A.Zoccoli
Cagliari : A.Lai, M.Caria,B.Saitta
Ferrara : P.Dalpiaz,M.Martini, F.Petrucci, M.Savrié
Firenze : A.Bizzeti,M.Calvetti, M.Lenti, G.Passaleva
Genova : F.Fontanelli, V.Gracco, G.Petrolini, M.Sannino
Milano : M.Alemi,T.Bellunato,M.Buzzacchi,M.Calvi,C.Matteuzzi, P.Nason,P.Negri,M.Paganoni,R.Pengo [1]
Roma I : G.Auriemma, L.Benussi, V.Bocci,C.Bosio, D.Fidanza, A.Frenkel, I.Kreslo, S.Mari, G. Martellotti, S. Martinez,C.Satriano, G.Penso
Roma II: M.Adinolfi, G.Carboni, F.Giannini, G.Orengo, L.Paoluzi, R.Messi, E.Santovetti, L.Scucchia, A.Serino

[1] Laboratori Nazionali di Legnaro

1 Stato del progetto LHCb al giugno 1999

L'esperimento LHCb è un rivelatore dedicato alla fisica del b. La sua concezione e la sua copertura sono progettate per misurare decadimenti rari con sensitività del 10^{-9} permettendo di determinare tutti gli elementi della matrice CKM , raggiungendo così una sovradeterminazione delle condizioni per il meccanismo di violazione di CP del modello Standard.

Attualmente la collaborazione è formata da 43 istituti appartenenti a 13 paesi. Il totale dei fisici è intorno a 350.

È in corso la stesura e l'approvazione di un Interim Memorandum of Understanding che dovrebbe definire un accordo di massima per il finanziamento del rivelatore. Il IMoU dovrebbe essere firmato dalle relative agenzie entro OTTOBRE 1999. Rimarrà operativo fino alla presentazione dei TDR. Sarà quindi sostituito da un MoU definitivo.

2 Partecipazione italiana

I laboratori italiani che hanno chiesto e ottenuto di aprire una sigla sono Bologna, Cagliari, Genova, Milano, Roma I, Roma II (nel 1999). Ferrara, Firenze lo richiedono per il 2000. Al momento il numero di fisici è intorno a 66, cosi ripartiti in termini di posizioni:
18 ricercatori + dirigenti INFN
35 ricercatori + Prof Ass +Prof Ord Università
11 borsisti+dottorandi
2 tecnologi

L'interesse dei laboratori italiani si concentra su:

- il sistema di rivelazione dei μ (Cagliari, Firenze,Roma I, Roma II).
- il RICH (Ferrara, Genova, Milano)
- il trigger L0 dei calorimetri (Bologna)

3 Le camere a μ

3.1 Introduzione

Il rivelatore di μ dell'esperimento LHCb è costituito da 5 stazioni di camere (M1 – M5) che coprono un angolo solido di ± 250 mrad verticalmente e ± 300 mrad orizzontalmente, poste a distanze da 12 m fino a 19 m dal punto di collisione. Questo rivelatore, oltre ad identificare i muoni e a fornire le informazioni al sistema di tracciamento, genera il corrispondente trigger di alto P_T, che è uno dei componenti fondamentali del trigger di livello 0 (L0).

La stazione M1, posta davanti ai calorimetri, è investita da un flusso di particelle molto intenso su tutta la superficie. Le stazioni da M2 fino a M5, poste dopo i calorimetri e separate ognuna dalla successiva da 80 cm di ferro, sono soggette a un flusso di particelle circa 1 ordine di grandezza inferiore, tranne che nella zona adiacente la beam pipe, dove il flusso è di poco inferiore a quello di M1 (vedi fig. 1). L'occupazione è minima nella stazione M3. Il flusso a 20 cm dall'asse del fascio su M1 è dell'ordine di $100 \mathrm{kHz/cm}^2$.

I parametri principali di questo rivelatore sono molteplici e abbastanza rigidi. Innanzitutto, tenuto conto di un opportuno fattore di sicurezza, si richiede la capacità di sostenere flussi di particelle fino a $200-300\mathrm{kHz/cm^2}$. Per una corretta identificazione del bunch-crossing è necessario un jitter temporale del segnale minore di 20 ns. L'invecchiamento non deve essere apprezzabile fino ai limiti di dose di radiazione previsti nella zona (circa 10 - 70 kRad/anno per M1 e un fattore 10 inferiore per M2 – M5), mentre il rapporto S/N dev'essere il più alto possibile. La precisione spaziale è invece relativamente modesta, essendo sostanzialmente limitata dallo scattering multiplo nelle lastre di ferro, ed è dell'ordine del cm.

3.2 Tecniche proposte

È difficile combinare le diverse caratteristiche in un solo tipo di rivelatore, se si tiene conto anche di ragionevoli limiti di costo. Per questo nel Technical Proposal [1] sono state proposte due soluzioni diverse fra le zone ad "alto" rate (maggiore di circa $5\mathrm{kHz/cm^2}$) e a "basso" rate. Le camere della stazione M1 e quelle montate vicino all'asse del fascio su M2 — M5 devono quindi funzionare ad alto rate, le altre a rate basso. Il confine fra le due regioni per queste ultime stazioni si situa quindi fra 1 m e 2 m dall'asse. La soluzione del TP prevedeva Cathode Pad Chambers (CPC) per le zone ad alto rate, e Multigap RPC (MRPC) per quelle a basso rate.

Successivamente sono stati proposti altri tipi di rivelatori. Il gruppo di Roma 1 ha proposto di adottare nelle zone ad alto rate camere del tipo Thin Gap Chambers (TGC): si tratta di camere sviluppate dal Weizmann Institute di Rehovot, e sono adottate dall'esperimento ATLAS per il rivelatore di muoni a piccolo angolo. Queste camere sono notevolmente più semplici e meno costose delle CPC.

Il gruppo di Roma 2 ha invece proposto di utilizzare RPC tradizionali al posto dei più complicati, delicati e costosi MRPC, per la zona a basso rate. L'utilizzo di materiali a bassa resistività nella costruzione di tali camere permette di migliorarne sensibilmente le prestazioni ad alto rate.

La scelta sulle tecnologie da utilizzare effettivamente nelle diverse zone del rivelatore è chiaramente subordinata agli studi da compiersi in vista della stesura del TDR. Esiste da parte dei gruppi italiani l'interesse e la disponibilità a partecipare al lavoro di sviluppo e di costruzione relativo a soluzioni alternative, qualora fosse dimostrata la loro preferibilità rispetto alle soluzioni da loro attualmente in studio.

3.3 Geometria

I parametri del rivelatore di muoni saranno definiti con precisione solo nel TDR dei μ, previsto per il gennaio 2001, tuttavia un disegno di massima ragionevole è già possibile. Il confine fra le zone alto-basso rate sarà qui fissato a $X=\pm 2$ m, $Y=\pm 2$ m dall'asse del fascio su M2 – M5. Con tale limite non ci sono problemi nel funzionamento degli RPC tradizionali. La separazione sarà scelta alla fine in base agli studi (attualmente in corso) sul fondo e sulle effettive prestazioni ad alto rate degli RPC. Una modifica del confine fra le due zone non cambia comunque sostanzialmente il quadro generale.

In base a tale suddivisione abbiamo quindi la tabella seguente:

La zona coperta dagli RPC potrà aumentare del 16 % circa se la zona interna sarà ridotta a $2\times 2\mathrm{m}^2$.

Mentre nel Technical Proposal si proponeva una lettura a pad su tutta l'area delle 5 stazioni, in seguito a una proposta dei gruppi italiani e a uno studio più accurato dell'efficienza del

Tabella 1 Geometria del rivelatore di mu. Le due ultime colonne rappresentano le aree delle zone risp. ad alto e basso rate (cf. testo)

Stazione	Z (m)	Largh. H (m)	Alt. V (m)	$S_{\mathrm{tot}}(\mathrm{m}^2)$	$S_{\mathrm{H}}(\mathrm{m}^2)$	$S_{\mathrm{L}}(\mathrm{m}^2)$
M1	12.15	7.4	6.1	45.0	45.0	—
M2	15.5	9.4	7.8	73.3	16	57.3
M3	16.6	10.0	8.3	83.0	16	67
M4	17.7	10.7	8.9	95.2	16	79.2
M5	18.8	11.4	9.4	107.2	16	91.2
Totale					109	295

trigger, ci si è adesso orientati verso una configurazione mista a strip e pad, che permette di ottenere prestazioni migliori con un numero minore di canali di elettronica.

3.4 Rivelatori TGC

3.4.1 Descrizione della tecnologia

Le TGC hanno una struttura simile a quella delle MWPC; la distanza tra filo e filo è maggiore di quella tra catodo e anodo e operano in regime saturato. Questo modo di operazione ha il vantaggio di rendere la camera meno sensibile alle tolleranze geometrico-meccaniche e all'angolo di incidenza delle particelle, generando una quantità di carica adatta al funzionamento ad alto rate. Complessivamente garantisce un più stabile punto di lavoro [2].

Il segnale si può leggere sia direttamente sui fili o per induzione su elettrodi esterni alla camere grazie alla trasparenza di un catodo resistivo ottenuto grafitando la superficie interna della camera. Questo permette una tecnologia più semplice e affidabile (rispetto ad altre camere quali le CPC) per la realizzazione degli elettrodi e della loro connessione con l'elettronica di lettura (in particolare se viene richiesta una struttura di elettrodi a pads). Questa caratteristica unita alla modesta precisione spaziale richiesta dall'esperimento, permette la costruzione di camere affidabili ed economiche che potrebbero essere interessanti per coprire grandi aree.

3.4.2 Prototipi e test in corso

Il nostro programma consiste in una valutazione delle caratteristiche delle camere esistenti e nello studio dei parametri delle camere per ottenere le caratteristiche ottimali per le esigenze dell'esperimento, in particolare:

- risoluzione spaziale-granularità. Dimensione di STRIP e PAD
- comportamento ad alto rate - cross-talk. Resistività del piano di grafite
- jitter temporale - distanza fra i fili - miscela di gas - numero di piani per stazione necessari per la definizione del bunch-crossing

Le prime distribuzioni in carica e risoluzione temporale da noi misurate su fascio in una singola gap sono riportate in fig. 2. I risultati ottenuti corrispondono pienamente a quelli aspettati per il regime di funzionamento del rivelatore. Misure preliminari dell'efficienza in funzione del rate sono risultate incoraggianti.

Attualmente abbiamo disponibili due prototipi: uno derivato direttamente dalle camere di trigger di ATLAS e il secondo (fig. 3) realizzato apportando alcune modifiche significative al modello precedente per renderlo più consono alle esigenze di LHCB (geometria di lettura con risoluzione spaziale peggiore ma minore cross-talk. Resistività del piano grafitato minore per adattarsi alle rates più alte). Ambedue le camere sono doppie (due gaps con lettura indipendente) con fili "staggerati". Stimiamo che l'OR dei segnali di due gap abbia un jitter temporale adeguato per la definizione del bunch-crossing. È previsto un test beam in luglio.

3.4.3 Attività futura

Stiamo disegnando un nuovo prototipo da mettere su test beam alla fine dell'anno che dovrebbe essere una buona approssimazione del "modulo 0" che sarà costruito e provato su fascio nel 2000.

Il nuovo prototipo prevede, come nel caso precedente, due gap indipendenti affacciate con fili staggerati. I fili di entrambe le gap sono raggruppati a formare delle strip ed il segnale comune è inviato all'ingresso di un unico canale dell'elettronica di front-end: in questo modo il tempo di arrivo del primo degli impulsi avrà un jitter temporale ridotto in modo da assicurare alta efficienza in un gate dell'ordine di 20 ns.

Tra le due gap c'è un solo sistema di strip che riceve gli impulsi di induzione da entrambe generando un segnale definito in tempo dal primo che arriva.

Questo schema permette di ridurre il numero di canali del front-end di un fattore 2 ottenendo la stessa efficienza nella definizione temporale.

3.4.4 Costruzione e costi

I prototipi attuali sono stati costruiti al Weizmann Institute di Rehovot su disegno di Roma 1 e discussi con gli esperti del gruppo di Mikenberg. Un nuovo prototipo, con il disegno più avanzato, descritto nel capitolo precedente, è in preparazione. Il costo del materiale di una camera di questo genere è molto basso, ma i costi globali di produzione (comprendenti attrezzatura e manodopera) devono essere ancora valutati con cura. Una stima di massima, fatta con la collaborazione di Mikenberg, è stata usata nel compilare la Tab. 2.

Attualmente soltanto il gruppo di Roma 1 sta studiando prototipi e progettando camere di tipo TGC per il rivelatore finale di LHCb. Altre istituzioni, però, hanno dichiarato interesse a partecipare alla realizzazione del rivelatore in caso di scelta di questa tecnica. In particolare PNPI sarebbe disponibile ed interessato a collaborare già alla realizzazione di un prototipo a breve scadenza, con materiale prelavorato fornito dall'Italia. Stiamo studiando diverse possibilità di produzione delle camere. Oggi, una possibile organizzazione potrebbe consistere nella fornitura da parte dell'Italia di materiali prelavorati (piani con strips e/o pads, completi di cornici per la filatura, e grafitatura) mentre il Weizmann o il PNPI potrebbero essere disponibili ad impiantare o a farci usare, una catena di filatura, incollaggio e assemblaggio. Intendiamo verificare anche la possibilità di una produzione fatta completamente da parte di industrie italiane.

3.5 Rivelatori RPC

3.5.1 Risultati dei test

Nel 1999 abbiamo utilizzato nei test tre diversi rivelatori RPC [2], tutti con resistività della bakelite $\rho \simeq 9 \cdot 10^9$ ohm cm, inferiore di circa un fattore 3 a quella in genere utilizzata da ATLAS [2]. I rivelatori, tutti di dimensioni $50 \times 50\ \mathrm{cm}^2$ e gap di 2 mm, sono stati costruiti dalla General Tecnica. Il primo è un RPC a singola gap (SRPC) stile "ATLAS" (cioè trattato con olio di lino) e lettura sui due piani con strips X e Y di passo 3 cm (in totale 32). Gli altri due sono rivelatori a doppia gap (DRPC) stile "CMS", (senza olio) in cui un unico piano di 25 strip (passo 2 cm) si trova nel mezzo di due RPC normali, ricevendo l'induzione di entrambi. Il vantaggio di tale configurazione è una efficienza superiore.

Non essendo ancora disponibili i chip GaAs abbiamo utilizzato elettronica tradizionale a basso rumore con un guadagno di 300 in tensione. Le uscite dei preamplificatori sono inviate a discriminatori con soglia di 60 mV e da qui al sistema di acquisizione. Un odoscopio con passo 1 cm in X e Y permette di misurare precisamente il profilo del fascio.

I rivelatori sono stati dapprima testati in laboratorio a Tor Vergata coi cosmici mostrando di comportarsi come previsto per la miscela di gas utilizzata ($96\%\ C_2H_2F_4, 3\%\ i-C_4H_{10}, 1\%\ SF_6$) [3]. Tuttavia nei due rivelatori a doppia gap si è manifestata una notevole corrente di fondo, dipendente dalla tensione, fino a varie decine di μA. Si attribuisce tale corrente a micro-scariche dovute all'imperfetta finitura delle superfici dei bakelite, corrente che dà luogo a un elevato rate di conteggi in singola. Si è quindi trattato con olio uno dei due DRPC, riducendo la corrente quasi a zero.

Il rivelatore SRPC e il DRPC non trattato sono stati quindi provati in aprile-maggio al CERN sul fascio T11 del PS, utilizzando miscele di gas con percentuali di SF_6 variabili fra 0.5 % e 2 %. Il fascio aveva un'area dell'ordine dei $20\ \mathrm{cm}^2$, con intensità massime di 15 kHz/ cm^2 nella zona centrale.

I risultati sono in ancora corso di analisi, ed appaiono molto positivi. In fig. 4 sono riportate le curve di plateau per i due tipi di RPC, a rate di picco fra 2 e 15 kHz/ cm^2 (nella zona centrale del fascio). Non si nota alcuna diminuzione di efficienza per il DRPC, mentre il SRPC ha un leggero abbassamento del plateau ad alto rate. Le prestazioni leggermente inferiori per le strip Y del SRPC sono da attribuirsi a una minore amplificazione dell'elettronica invertente usata su tali canali. L'effetto dovrebbe potersi correggere con un aggiustamento delle soglie. Utilizzando nell'analisi solo la parte centrale (1 cm^2) del fascio dove il rate è più intenso si sono comunque ottenute condizioni di funzionamento stabili con efficienza superiore al 95 % per il SRPC e e 97 % per il DRPC. Nel DRPC tuttavia, l'elevata corrente si traduce in un rate di fondo inaccettabile (superiore ai 5 kHz/ cm^2). I test sul secondo DRPC (trattato con olio) saranno effettuati nelle prossime settimane.

Sono state a suo tempo sollevate delle critiche alla caratterizzazione degli RPC utilizzando un fascio di piccola sezione come nel presente caso. Non abbiamo trovato nella letteratura recente evidenza per effetti di questo tipo, ciononostante abbiamo programmato un nuovo test alla GIF del CERN per la fine di giugno. In tale test sarà possibile sottoporre a rate elevato (vari kHz/ cm^2) e uniforme una grande superficie del rivelatore, in modo da simulare meglio le sue reali caratteristiche di funzionamento.

[2] Ringraziamo R. Santonico, R. Cardarelli e G. Iaselli per l'aiuto e le molte discussioni avute nella fase di costruzione e di test.

3.5.2 Costruzione e costi

In base ai risultati delle prove in corso nel 1999 e 2000 si deciderà se utilizzeremo due piani di RPC a singola gap, ciascuno con doppia lettura (X e Y). Altrimenti si monteranno due DRPC (uno con lettura X, l'altro Y).

La superficie totale delle stazioni M2 – M5 (vedi Tab. 1), pari a 295 m^2, può essere coperta con un numero di coppie di RPC (mono o bigap) variabile fra 30 e 45, con dimensioni di circa 1×2 m^2. Il numero totale di camere è circa 300. Per tener conto degli sprechi, spares ecc. consideriamo il 20 % in più, quindi 360 camere con superficie 720 m^2. Il costo degli RPC tipo ATLAS è 500 kL+IVA per m^2, mentre quasi raddoppia per i doppia gap. Considerando la possibilità di avere una lettura a pad, il costo potrebbe aumentare a causa della maggiore complessità dei piani di lettura.

Gli RPC saranno costruiti nell'industria. La General Tecnica ha tutta l'esperienza e le attrezzature necessarie. La produzione per noi è relativamente piccola, dato che anche nell'ipotesi DRPC la superficie totale è inferiore a quella prodotta per BABAR. Abbiamo verificato che una simile produzione per LHCb non interferisce con quella per ATLAS e CMS. Il test dei rivelatori sarà fatto in laboratorio a Roma 2 per mezzo di raggi cosmici. Si prevede che ogni RPC richieda 1 settimana per il test, per cui sarà necessario provarne contemporaneamente un certo numero, man mano che verranno consegnati dalla GT.

3.6 Elettronica

I gruppi INFN intendono assumersi la responsabilità di tutta l'elettronica del rivelatore, dal front-end fino alla pipeline del trigger di livello 0, trigger di cui è responsabile il gruppo di Marsiglia [4]. Eventualmente, previo un accordo con tale gruppo, esiste la possibilità di contribuire a parti del trigger stesso. Ci sono competenze su tutti questi argomenti nelle sezioni. In particolare, Cagliari coordina gli sforzi per lo sviluppo dell'intero sistema e per disegnarne l'architettura completa, dal front-end alle pipeline del trigger di livello 0. I punti cruciali del sistema, sui quali è necessario un contributo importante, sono illustrati di seguito.

3.6.1 Front-end

Il conteggio del numero di canali dipende in gran parte dalla scelta fra la soluzione pad e quella mista pad+strips. Al momento possiamo basarci sulla stima del TP, che per la soluzione pad prevede circa 260k canali "fisici", da raggrupparsi in circa 45k canali "logici". I canali logici sono quelli connessi al trigger. Ogni canale fisico è costituito da un circuito integrato preamplificatore+shaper+discriminatore, con uscita su standard ECL o LVDS, per minimizzare i consumi. Questa elettronica va montata direttamente sul rivelatore.

Esistono diversi circuiti integrati il cui uso appare appropriato al nostro caso. Si tratta dei circuiti già sviluppati per analoghi rivelatori nell'ambito di altri esperimenti (ATLAS e CMS). In particolare, per quanto riguarda le RPC, il candidato più in vista è il circuito integrato al GaAs sviluppato a Roma 2 per gli RPC di ATLAS. Il chip contiene 8 canali completi con uscite ECL, capaci di pilotare fino a 12 m di cavo. Questo circuito è inoltre estremamente resistente alla radiazione, sopportando fino a 100 MRad di dose integrata (in LHCb la parte più interna del rivelatore è stimata assorbire in 10 anni 0.7 MRad). Per le TGC il candidato più accreditato è il circuito della SONY sviluppato per le TGC di ATLAS. Il suo pregio principale è la buona risposta in termini di rumore e risoluzione temporale fino a capacità del rivelatore elevate (oltre 300 pF), mentre presenterebbe una modesta resistenza alla radiazione (max 100 krad). Ciò pone un problema per la parte del rivelatore più vicina al fascio.

Riguardo alla scelta del circuito di front-end da utilizzare, occorre ancora provarne le prestazioni quando questi vengano effettivamente accoppiati ai rivelatori di LHCb, avendo questi diverse caratteristiche di capacità, ampiezza ed evoluzione temporale del segnale. Il consumo e la resistenza alla radiazione saranno elementi di valutazione importanti, insieme al costo. Ciò comporta una capillare ed estesa fase di test e non si può al momento escludere l'eventualità di un rifacimento, parziale o totale, dei circuiti suddetti (o di altri possibili). A questo proposito, competenze adeguate esistono presso le sezioni di Cagliari e Roma 2.

3.6.2 Logica di pretrigger

Questa comprende la logica di OR e Majority OR per passare dai canali fisici ai canali logici. Oltre a ciò, i canali logici vanno messi in tempo, per mezzo di ritardi programmabili attraverso il software online, entro la risoluzione temporale propria del rivelatore (2 – 10 ns). Questa logica sarà realizzata su schede (dette Intermediate Boards - IB) da collocarsi in prossimità del rivelatore (ordine 10-15 m di distanza massima). A questo livello è cruciale organizzare il sistema in maniera da rendere possibile il trasferimento dei dati verso il trigger senza creare colli di bottiglia e poter sostenere la banda passante richiesta di 45k bit a 40 MHz. Un altro aspetto cruciale è il limite temporale sulla latenza del trigger di livello 0, che va mantenuta entro i 4 μs e impone di realizzare tutti gli stadi della logica tenendo conto di questo limte. Ciò pone anche dei vincoli al grado di multiplexing realizzabile e obbliga a mantenere il numero dei collegamenti elevato.

3.6.3 Trasferimento dati

Le uscite sincronizzate delle IBs vanno inviate alle schede di interfaccia col trigger, contenenti fisicamente le pipeline di livello 0, dove l'informazione risiede per 4 μs in attesa di essere accettata o meno. Per motivi pratici di accessibilità all'elettronica anche durante la presa dati, si preferisce collocare il trigger a circa 50-60 m di distanza dal rivelatore.

Siamo dell'avviso che, nella sua concezione attuale, basata sul lavoro del gruppo di Marsiglia, la logica di trigger sia un po' troppo concentrata a valle delle pipelines, rendendo necessario il trasferimento di questa cospicua mole di dati (circa 1.8 Tbit/s). Ciò si riflette nel costo dei link ottici. Stiamo dunque pensando a una ridistribuzione della logica, potenziando in particolare l'elettronica di pretrigger. Un'altra possibilità nel ridurre la banda passante consiste nel realizzare una compressione dei dati a monte dei links, ricostruendo l'intera informazione a valle, come necessaria all'algoritmo di trigger. Rispetto a ciò, il vincolo principale è di nuovo rappresentato dal ristretto margine di tempo a disposizione per realizzare la codifica e decodifica dell'informazione. Il problema è attualmente in fase di studio. Le idee sopra sono state considerate nella Tab. 2, pur con grossi margini di errore, visto lo stato ancora iniziale del progetto.

Il dispositivo di trasmissione reperito sul mercato che mette a disposizione la massima integrazione, ad un prezzo tutto sommato migliore di altre soluzioni possibili, è il circuito integrato denominato PAROLI (PARallel Optical LInk) della Siemens, capace di sostenere una frequenza di trasmissione di circa 15Gb/s. Su di esso è sostanzialmente basata la nostra stima dei costi.

3.6.4 Interfaccia con il trigger di livello 0

Nell'attuale schema lo stadio iniziale della logica di trigger è basato su una scheda di interfaccia, denominata Front End Board Interface (FEBI), la quale contiene:

i). l'optical link receiver;

ii). le pipeline di livello 0;

iii). gli OR 16 in 1 dei bit appartenti allo stesso settore;

iv). la logica di comunicazione con il trigger;

v). la logica necessaria all'acquisizione dei dati scelti dal trigger.

Queste schede andranno pensate e realizzate in stretta collaborazione con il gruppo di Marsiglia, essendo di fatto parte integrante del loro sistema e influenzando direttamente l'implementazione dell'algoritmo del trigger di livello 0. Anche il costo delle FEBIs fa parte del costo contemplato per il sistema globale. Non è al momento possibile decidere se e in quale proporzione i costi relativi a questa parte del sistema vadano eventualmente condivisi con il gruppo che realizzerà il trigger. Abbiamo assunto il caso in cui le FEBIs siano di competenza e responsabilità totalmente italiane.

3.7 Meccanica

I supporti con relativa movimentazione dell'assorbitore in ferro e delle stazioni verranno progettati e realizzati dal CERN. Nell'ambito della collaborazione italiana, e in particolare a Roma 1, c'è interesse e disponibilità alla progettazione dei supporti della camere.

3.8 Profilo temporale

1999
- decisione sulla configurazione del rivelatore
- studio tecnologie
- test prototipi
- studio front-end e connessione con trigger L0

2000
- scelta tecnologie
- costruzione e test di prototipi scala reale
- progetto front-end

2001 gennaio: TDR rivelatore (finalizzazione front-end e disegno della meccanica complessiva)

2002 TDR trigger e inizio costruzione camere

2003 — 2004 costruzione e test camere

2004 installazione e messa in funzione del rivelatore

Per quanto riguarda le attività e l'organizzazione del gruppo dei μ della Collaborazione LHCb nel suo complesso,vedi [6].

3.9 Costi

La tabella 2 presenta una stima del costo del rivelatore completo, escluso l'assorbitore esterno il cui costo (4.5 MCHF) è a carico del CERN.

Tabella 2 Stima approssimativa del costo del rivelatore di μ.

RPC	(720 m^2 doppia gap)	720 ML
TGC	(125 m^2 doppia gap)	400 ML
HV RPC	(1 canale/gap)	300 ML
HV TGC		250 ML
Meccanica		300 ML
Sistema gas		200 ML
Slow controls		100 ML
DAQ		200 ML
Elettronica front-end	(260 kch a 6 kL)	1560 ML
Totale 1		4030 ML
"short links"		450 ML
OR+Timing chips	sviluppo	100 ML
OR+Timing chips	produzione (50 kch)	350 ML
200 Intermediate boards		400 ML
20 Crate VME		300 ML
"long links"		900 ML
200 FEBI boards		400 ML
Totale 2		2900 ML

Il totale corrisponde a circa 6930 ML (5.8 MCHF). Questo è in accordo con un calcolo indipendente fatto al CERN. Il contributo degli altri paesi (Russia e Brasile) dovrebbe corrispondere (con tutte le incertezza del caso) a circa 2 MCHF.
Pertanto la richiesta totale per la parte di nostra competenza è di 4520 ML (3.8 MCHF).

4 RICH

4.1 Descrizione

I RICH dell'esperimento LHCb sono costituiti da 3 radiatori, che si possono fare corrispondere a 3 progetti distinti. I 3 radiatori sono, in ordine di distanza dal punto di interazione: aerogel (solido n=1.03), C_4F_{10} (gas, n=1.0014) e CF_4 (gas, n=1.0005). Coprono l'identificazione di particelle in tre regioni di momento: 1-10 GeV, 10-50 GeV, 50-150 GeV rispettivamente. Quindi si ha distinzione p/K/π sia per il tag che per l'identificazione dei canali di decadimento cercati.

I laboratori italiani di Ferrara, Genova, e Milano sono interessati alla costruzione del RICH 2 e del radiatore aerogel (che è situato immediatamente prima del RICH 1).

La collaborazione sul RICH è costituita da CERN, U.K., Italia. Il CERN sara il 'laboratorio di appoggio'. Essendo già attrezzato con un laboratorio di test per gli specchi (attualmente per COMPASS), sarà utilizzato secondo necessità. Nel seguito si descrivono solo le parti del progetto in cui la partecipazione italiana è gia attiva o sta cominciando. Il RICH 1 dovrebbe essere responsabilità dei laboratori UK.

4.2 Aerogel

L'aerogel è una particolare forma di quarzo, con densita bassissima. E g̀ia stato usato come Cherenkov a soglia nell' esperimento TASSO a DESY. Nel 1996, è stato dimostrato, con la partecipazione anche del gruppo di Milano [5], che l'aerogel puo essere impiegato per un rivelatore di anelli Cherenkov nel range di momenti 1-10 GeV, a condizione che le sue qualità ottiche siano eccellenti. Questo vuol dire poter disporre di un materiale con coefficienti di trasparenza C dell'ordine di 0.005-0.010 μm^4/cm. Il coefficiente C determina la chiarezza del campione poichè la trasmissione della luce di lunghezza d'onda λ traversante uno spessore L è proporzionale a e^{-CL/λ^4}.

La migliore qualita di aerogel, secondo le indagini che abbiamo condotto a Milano, viene prodotta in due centri: 1) dalla Matsushita (Giappone) (idrofobica), e 2) da Novosibirsk (igroscopica). Durante il 1999 sono stati acquistati campioni di diversa qualità e dimensioni, per cominciare il lavoro di ottimizzazione.

Il numero medio di fotoelettroni rivelato per una particella traversante 5 cm di aerogel di n=1.03 e stato misurato nel test del 1996 essere 15. È importante avere un rivelatore di fotoni estremamente sensibile per poter identificare l'anello dovuto all'aerogel. Il piano di rivelatori di fotoni è comune per l'aerogel e il gas C_4F_{10} del RICH 1. La risoluzione per fotoelettrone è infatti simile a quella del C_4F_{10} (1.4 mrad per l'aerogel e 1.1 mrad per il gas).

Una collaborazione è cominciata con entrambi i centri di produzione: il prezzo dell'aerogel varia moltissimo a seconda della qualita ottica (fattore C), dei cracks presenti, e delle dimensioni richieste. Il range di prezzi è attualmente da 1500 a 2900 dollari US al litro. L'esperimento necessità di 30 l, una quantita piccola per usufruire di prezzi migliori, almeno in questo momento.

La posizione in cui l'aerogel si trova lo sottopone a una grande dose di radiazione. Prove fatte a KEK hanno mostrato una estrema resistenza alla radiazione di questo quarzo, non mostrando degradazione fino a dosi di 10 Mrad. Intendiamo comunque ripetere queste misure, essendo l'aerogel che abbiamo acquistato di composizione leggermente diversa.

Milano ha acquistato campioni da Matsushita (C=0.010), e da Novosibirsk (C=0.005). Abbiamo ottenuto in prestito da Matsushita anche mattonelle di grandi dimensioni (20x20x2 cm^3), molto piu costose delle dimensioni standard 11x11x1 cm^3. Su questi campioni abbiamo in programma di misurare, con la sfera integratrice che si trova all'università di Roma La Sapienza, le qualità ottiche (assorbimento, scattering, trasparenza). Usando il fascio del PS in T9, a nostra disposizione a fine ottobre 1999 per dieci giorni, intendiamo eseguire diversi test, in particolare: il numero medio di fotoelettroni rivelati, la risoluzione dell'anello per diverse qualità di aerogel, per diversi spessori e diverse dimensioni trasverse.

4.3 RICH 2

Il Rich 2 è previsto per identificare le particelle emesse a piccolo angolo ($\theta < 120$ mrad) dopo che le traiettorie di queste sono state aperte dal campo magnetico. Il radiatore del RICH 2 è uno spessore di circa 150 cm di CF_4, gas scelto per il suo opportuno indice di rifrazione a temperatura e pressione standard e per la sua bassa dispersione.
Gli specchi sferici hanno un raggio di curvatura di 820 cm e sono ruotati di un angolo di circa 350 mrad per portare l'immagine, con la presenza di specchi piani, fuori dall'accettanza dello spettrometro. Lo studio della migliore configurazione è sotto studio per il TDR, potrebbe cambiare leggermente a seconda delle frange del campo magnetico nella posizione in cui viene a trovarsi il piano dei rivelatori di fotoni. A seconda infatti del tipo, la sensibilità a campi dell'ordine di qualche decina di gauss potrebbe alterare il sistema focalizzante e distruggere la risoluzione spaziale. E stato fatto uno studio per una schermatura dei rivelatori HPD con μ-metal [7]. La soluzione dipende comunque dal disegno finale del magnete (fine 1999) e dal tipo di rivelatore di fotoni scelto (pad-HPD o pixel-HPD o MaPMT).

4.4 I rivelatori di fotoni

Per quanto concerne i fotorivelatori esistono tre possibili soluzioni costituite da:

- fotodiodi ibridi pad-HPD e
- Pixel-HPD
- fotomoltiplicatori multianodo R5900-00-M64, a 64 anodi della Hamamatsu (MaPMT).

Alla granularità necessaria corrispondono 340000 canali. I fotorivelatori sono previsti essere installati su un array rettangolare nel piano focale del sistema di specchi. La risoluzione spaziale per gli HPD è di ca. 2.5 x 2.5 mm^2 con una frazione attiva della superficie di rivelazione pari al 73% dell'area totale. In particolare il pad-HPD, caratterizzato da un rivelatore a pad di silicio "wire bonded" ad un separato chip di silicio, e' previsto presentare un diametro del fotocatodo di 127 mm e la sua risoluzione dovrebbe essere tale che, con una lettura analogica, si dovrebbe poter distinguere fra uno o due fotoni incidenti.
Il pixel-HPD, caratterizzato invece da un rivelatore a pixel di silicio "bump bonded" ad un chip elettronico di read-out, per il quale si prevede una lettura digitale, dovrebbe avere un fotocatodo con un diametro attivo pari a 72 mm.
Il fototubo multianodo Hamamatsu ha invece 64 pixel di 2 x 2 mm^2 con una frazione superficiale attiva del 46%. Per portare la copertura superficiale a quasi il 100% si e' pensato di fare uso di un sistema di lenti convergenti, analogamente a quanto fatto in HERA-B, che, d'altro

canto, porterebbero l'effettiva granularita' del rivelatore a 2.8 x 2.8 mm^2.
Per quanto concerne il tipo di lettura dei fotomoltiplicatori sono allo studio sia una soluzione con una lettura analogica, sia una con lettura digitale. Il vantaggio di quest' ultima, se realizzabile, sarebbe quello di una sensibile semplificazione del numero di canali dell' elettronica a valle.

4.5 Tests su fascio

Nel corso del 1999 sono in programma diversi test su fascio, a cui Milano e Genova stanno partecipando, sia dei rivelatori di fotoni (maggio-luglio 1999) , che dei diversi campioni di aerogel (ottobre-novembre 1999).

Nel periodo 18-25 maggio sono stati provati i MaPMT dell'Hamamatsu. L'iniziale programma era di provare un array costituito da 3x3 tubi, montati su una base comune. Per ritardi dovuti alla consegna dal parte dell'Hamamatsu e alla messa a punto dell'elettronica veloce, non si è potuto procedere al test come programmato (rimandato quindi a fine luglio). Si è studiato il comportamento di un MaPMT e l'effetto di una lente di quarzo artificiale, necessaria per allargare l'accettanza nel caso in cui si usassero questo tipo di fotorivelatori. Un esempio dei risultati ottenuti è mostrato in fig. 5.

4.6 Struttura meccanica

4.6.1 RICH 2

La costruzione del RICH 2 comporta alcuni aspetti delicati. Il volume totale del contenitore del gas CF_4 (a temperatura ambiente e pressione atmosferica) è circa 90 m^3, e la struttura deve presentare il minor spessore possibile all'interno della accettanza dello spettrometro. All'interno del volume devono essere alloggiati gli specchi, i cui supporti devono presentare la massima stabilità meccanica. È in studio la possibilità di aggiustare periodicamente la posizione degli specchi con un sistema di allineamento. Si prevede che la struttura meccanica del vessel sia sviluppata attorno a due strutture verticali a "C" che renderebbero il rivelatore divisibile in due metà attorno alla beam pipe. È però anche allo studio una soluzione meccanica con un unico vessel che racchiude intorno a sè la beam pipe e che permetterebbe di ridurre gli spazi morti per la rivelazione.
Andranno studiate le reazioni dei diversi materiali impiegati alla esposizione al CF_4.

4.6.2 Specchi

Al momento si prevedono specchi costituiti da uno strato di vetro di 6 mm e uno strato riflettente di Al e MgF_2. Viene considerata anche la possibilita' di usare come substrato berillio.
E' allo studio una soluzione in cui gli specchi sferici sono costituiti da un insieme di costituenti esagonali piani montati su supporti elastici che ne permetterebbero l'orientamento individuale in modo da formare una superficie sferica. Lo specchio sferico nel suo complesso sarebbe reso orientabile da due movimenti lungo due assi ortogonali del sistema globale su cui sono montati tutti gli specchi.

4.6.3 Supporti dei rivelatori di fotoni

I fotorivelatori sono posti agli estremi della struttura meccanica del RICH 2. Devono essere separati dal volume di gas da una sottile finestra di quarzo parallela ai fotocatodi. E' previsto l'uso di schermi magnetici intorno agli alloggiamenti dei fotorivelatori che dovrebbero permettere di ridurre il campo nei fotorivelatori a valori inferiori ai 10 G per gli HPD. Ciascun tubo dovrebbe essere accessibile per eventuali sostituzioni.
Dal punto di vista costruttivo sono in corso gli studi di fattibilità dei piani di sostegno per i differenti tipi di fotorivelatori. Si prevede che in tali piani sarà incorporata l'elettronica L0, le alimentazioni dei fotorivelatori e il sistema di raffreddamento. I piani dovrebbero essere posizionabili e registrabili con estrema precisione (100μm). È giustificato ritenere che, a parte le differenti dimensioni, le soluzioni messe a punto per il RICH 2 potranno essere adattate al RICH 1.

4.7 DAQ e software

Il rivelatore RICH comporta una attività anche sul DAQ. Il costo del DAQ contiene le unità di r/o. Non va dimenticato inoltre che il software è una parte molto importante per poter utilizzare il rivelatore in maniera efficace. I laboratori italiani hanno cominciato a impegnersi quindi attivamente anche su questo aspetto.

4.8 Costi e manpower

La stima del costo del RICH 2 è dell'aerogel sono riportati nella tavola 3. La stima e basata su soluzioni che potrebbero però cambiare nella stesura del TDR (da finalizzare a meta dell'anno 2000). La richiesta totale per la parte di nostra competenza è di 4680 ML, di cui 600 ML per il DAQ del RICH 2 a cui 'i costruttori', per accordo con la collaborazione devono partecipare.

I laboratori che vogliono partecipare alla costruzione sono: Ferrara, Genova e Milano. Il numero di fisici sono rispettivamente 5 a Ferrara, 4 a Genova, 8 a Milano.
Il supporto delle officine consiste per Ferrara in 2 ingegneri e 5 tecnici (di cui un disegnatore) delle officine meccanica e elettronica. A Genova 1 ingegnere e 1 tecnico. A Milano è in allestimento l'officina meccanica dell'Università di Milano-Bicocca che fornirà il supporto di 4 tecnici meccanici. Gli interessi di questi tre laboratori si configurano in: Ferrara per la meccanica e elettronica, Genova per l'elettronica e la meccanica, Milano per l'aerogel e la meccanica. Genova e Milano intendono partecipare alla meccanica con la costruzione dei piani di supporto dei fotorivelatori, incluso il disegno e la realizzazione dello schermo magnetico, del contenitore e flussaggio di gas per l'aerogel.

4.9 Profilo temporale

L'attivita sul RICH e indicativamente ripartita negli anni a venire secondo il seguente profilo:

- 1999 - prima della fine dell'anno dovrebbe essere decisa la scelta del fotorivelatore tra le opzioni pad-HPD,pixel-HPD, MaPMT.

Tabella 3 Stima approssimativa del costo dei rivelatori RICH 2 e aerogel. Con le incognite del caso, l'elettronica si prevede essere finanziata da UK.

Struttura vessel	480 ML
Specchi	300 ML
Supporti degli specchi	96 ML
Sistema gas	480 ML
Fotorivelatori	2540 ML
Elettronica	920 ML
Aerogel	200 ML
DAQ	600 ML
Totale	5600 ML

- 2000 - scrittura del TDR per l'estate. Test dei fotorivelatori scelti. Test di aerogel di indice di rifrazione diverso da 1.03. Inizio costruzione di prototipi della meccanica e degli specchi.
- 2001-2003 - Test di prototipi e costruzione.
- 2004 - Misura del campo magnetico in situ. Montaggio.

5 Trigger calorimetrico L0

Il gruppo di Bologna intende contribuire alla realizzazione del trigger calorimetrico, sia elettromagnetico, sia adronico, di livello zero dell'esperimento, la cui funzione è selezionare eventi con elettroni e/o adroni di elevato impulso trasverso.
Nell'ambito della collaborazione LHCb è stato definito un accordo, per cui questa attività è sviluppata unitamente al gruppo francese di Paris-Orsay [9]. Ad un'intesa di collaborazione con il gruppo francese si è giunti una volta riconosciuta la sostanziale convergenza delle proposte sviluppate dai due gruppi [10], [11], [12], [13], stante l'attuale design del rivelatore, con l'obiettivo di formulare un comune progetto di trigger.
In una nota congiunta sono state raccolte le idee guida e l'architettura del sistema [9]; ad essa rimandiamo per una descrizione di maggiore dettaglio del progetto.
In Fig. 6 è mostrato in estrema sintesi lo schema logico a blocchi secondo il quale opera il trigger. Il sistema congegnato è totalmente sincrono, e presenta pertanto caratteri di particolare robustezza e facilità di controllo, abbinati ad elevate prestazioni in termini di efficienza e potere di reiezione.
Le operazioni del trigger possono essere riassunte nei quattro punti seguenti:

1 determinare i depositi energetici di maggiore entità presenti sui calorimetri (esattamente: il candidato di massima energia trasversa per ciascuna scheda di FE);

2 selezionare, rispettivamente, nel calorimetro elettromagnetico ECAL, gli sciami prodotti da elettroni e fotoni, e nel calorimetro adronico HCAL, gli sciami dovuti ad adroni (*validation phase* o definizione della PID dello sciame);

3 determinare per ogni tipo di particella d'interesse ai fini del trigger L0 di alto impulso trasverso (fotone, elettrone e adrone), sull'intero rivelatore (ECAL, HCAL) i rispettivi candidati di massima energia (E_{max}^{adrone}, $E_{max}^{elettrone}$, E_{max}^{fotone});

4 distribuire il risultato dell'elaborazione elettronica all'unità di decisione del trigger.

La selezione dei depositi energetici di maggiore entità è effettuata direttamente sul FE.
La realizzazione del FE e delle schede di selezione dei depositi energetici è di responsabilità del gruppo francese.
La realizzazione dell' elettronica destinata a svolgere le funzioni 2, 3 e 4 sopra elencate è invece del gruppo di Bologna.
Le schede elettroniche destinate alla identificazione degli sciami (*validation card*) saranno alloggiate nei medesimi *crate* occupati dalle schede di Front End e da quelle di ricerca dei depositi energetici di entità rilevante, in maniera d'impiegare per le connessioni al FE il *crate backplane*. La ricerca degli elettroni, fotoni e adroni di massima energia, richiede schede elettroniche alloggiate a distanza, su crate dedicati, connesse alle *validation card* mediante cavi in fibra ottica. Gli stessi *crate* sarebbero utilizzati per le schede di trasmissione della risposta del sistema elettronico all'unità di decisione del trigger.
Una valutazione dei costi di realizzazione del progetto di competenza del gruppo di Bologna è riportata nella sezione seguente.

5.1 Costi

La valutazione dei costi attualmente previsti per l'impegno hardware del gruppo di Bologna è presentata nella Tabella che segue, suddivisa per le diverse voci di spesa.
In termini di spesa media pro-capite, si potrebbe rilevare che l' entità complessiva dell' investimento proposto appare sottodimensionata rispetto alla forza globale del gruppo interessato. Tale entità è tuttavia proporzionata alle attuali e reali possibilità d'impegno del gruppo stesso, che nella situazione presente e del futuro immediato sostiene responsabilità di carattere prioritario nell'ambito di altro esperimento afferente alla CSN I (HERA-B), Collaborazione nella quale è l'unico gruppo INFN partecipante.
È intenzione dei proponenti -contestualmente alla graduale diminuzione dello sforzo richiesto da HERA-B- intensificare ed estendere la propria partecipazione a LHC-B a direzioni quali l'Acquisizione e l'Analisi dei Dati, ed eventualmente ad altri spazi/estensioni hardware che col tempo si rivelassero accessibili/opportune.

5.2 Profilo temporale

L'attivita e prevista svolgersi secondo i tempi qui indicati:

- 2000 - 2002 Continuazione dell'ottimizzazione dello schema, Costruzione e test di prototipi.
- 2003 - Scrittura del TDR
- 2004-2005 - Produzione e messa in opera

Item	costo unitario CHF	quantitá	Costo totale kCHF
ECAL Validation Card	4000	28	112
HCAL Validation Card	4000	8	32
ECAL Selection cards			50
HCAL Selection cards			50
9U VME FE e Validation Crates	13000	10	130
9U VME Selection Crates and backplane	13000	2	26
Links LVDS			120
Links Optical Fiber			130
Total			650
IVA e Spare (130 e 70 risp.)			200
Totale generale			850

Tabella 4 Stima dei costi per le componenti hardware del Level 0 Trigger. Contributo previsto per il gruppo di Bologna

6 Costo totale e Profilo di spesa

La costruzione di LHC-b è prevista svolgersi negli anni 2001-2004. La spesa indicata in tabella 5 dovrebbe ripartirsi con un profilo simile a quello indicato nella tabella 6.

I common funds sono stati calcolati come definito nel paragrafo 5.3 (pagina 4) dell' Interim Memorandum of Understanding. Costituiscono cioe il 28.5% dell'investimento TOTALE.

Tabella 5 Fondi richiesti per la costruzione, basati sulla stima approssimativa del costo dei rivelatori come indicato nel testo.

Rivelatori di μ	4520 ML	3.8	MCHF
RICH 2 + aerogel	4700 ML	3.9	MCHF
Trigger L0 cal	860 ML	0.7	MCHF
Totale investimento	10080 ML	8.4	MCHF
Common Funds (28.5% CT)	4040 ML	3.4	MCHF
Finanziamento totale	14120 ML	11.8	MCHF

Item	Rivelatore	DAQ+trigger
2001	11%	
2002	38%	12%
2003	42%	22%
2004	9%	50%
2005		16%

Tabella 6 Profilo di spesa per la costruzione di LHCb.

Riferimenti bibliografici

[1] LHCb Technical Proposal, CERN/LHCC 98-4, 1998.

[2] Vedi ad es. il TDR sui μ di ATLAS, CERN/LHCC/97-22 e relativa bibliografia.

[3] Vedi ad es P. Camarri et al., NIM A 414 (1998), p. 317.

[4] “The L0(muon) processor” - CPPM & IN2P3-CNRS Marseille - LHCb note 99-008.

[5] F. Abe *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A380 (1997) 1941.

[6] LHCB Muon Group - Status and Outlook, maggio 1999.

[7] LHC-b Milano, *Shielding for* γ *detectors* ,LHCb 98-017 RICH.

[8] LHC-b Genova, *guide di luce per MaPMT* ,LHCb 98-??? RICH.

[9] A Joint Proposal for the Level 0 Calorimetric Triggers LHCb-Note, TRIG, 99-017, 7 June 1999.

[10] The HERA-B electromagnetic pretrigger and its possible adaptations to the LHCb Level0 calorimeter trigger. LHCb-Note, TRIG, 98-034,10 February 1998.

[11] High P_T Electron and hadron trigger for LHCb. LHCb-Note, TRIG, 98-058, 4 September 1998.

[12] Proposal for a Level 0 calorimeter trigger system for LHCb. LHCb-Note, TRIG, 99-013, May 1999.

[13] An Update of the $2x2$ Implementation for the Level 0 calorimeter Triggers. LHCb-Note, TRIG, 99-007, 29 April 1999.

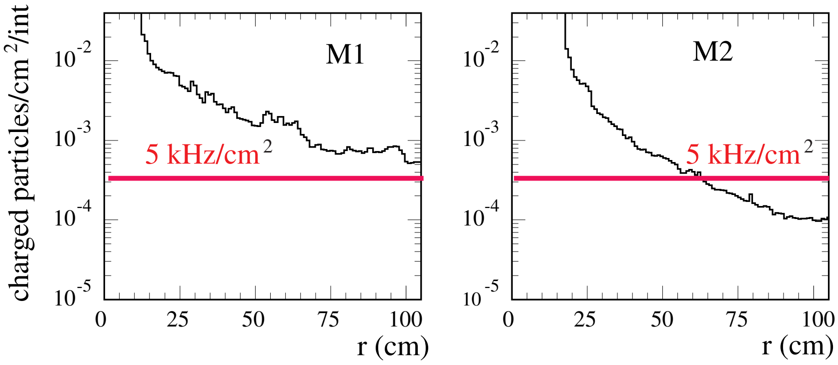

Figura 1 Flussi di particelle nelle camere μ M1 e M2. È indicato da una linea il valore corrispondente alla luminosità di funzionamento.

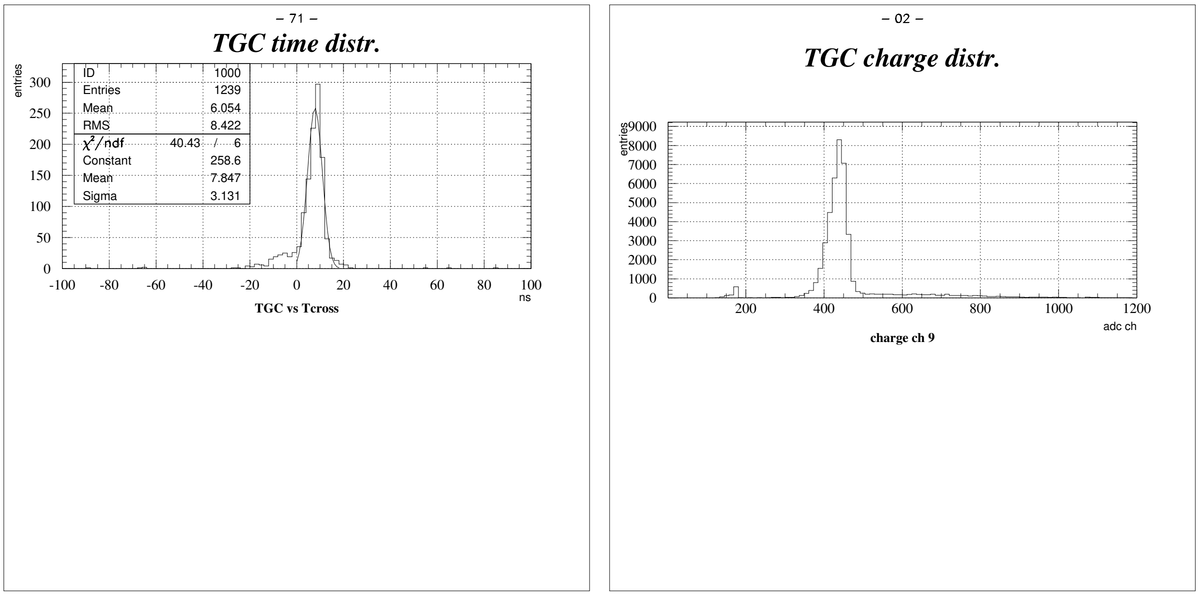

Figura 2 Distribuzioni temporale e di carica per il prototipo TGC

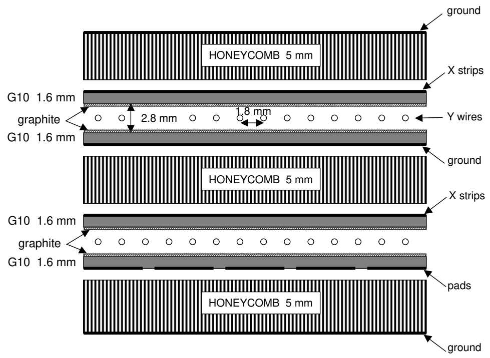

Figura 3 Schema costruttivo di una camera TGC

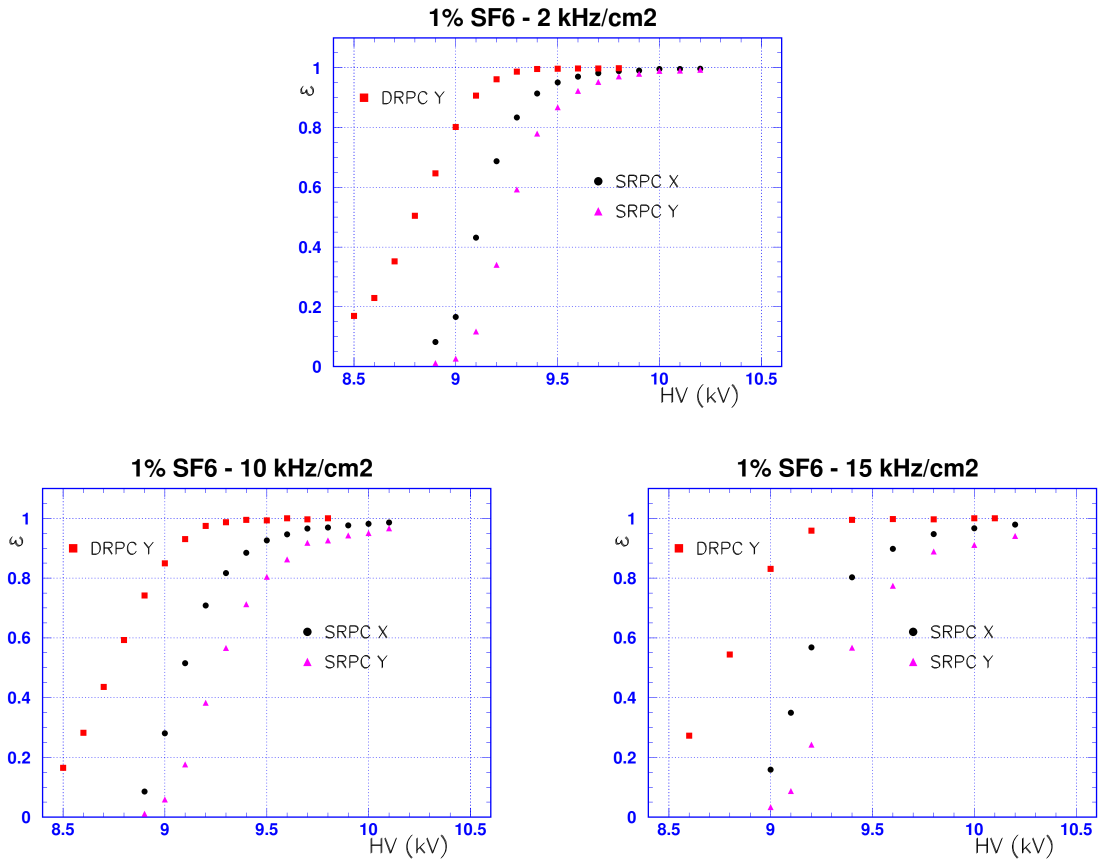

Figura 4 Efficienza su fascio per diverse intensità di picco.

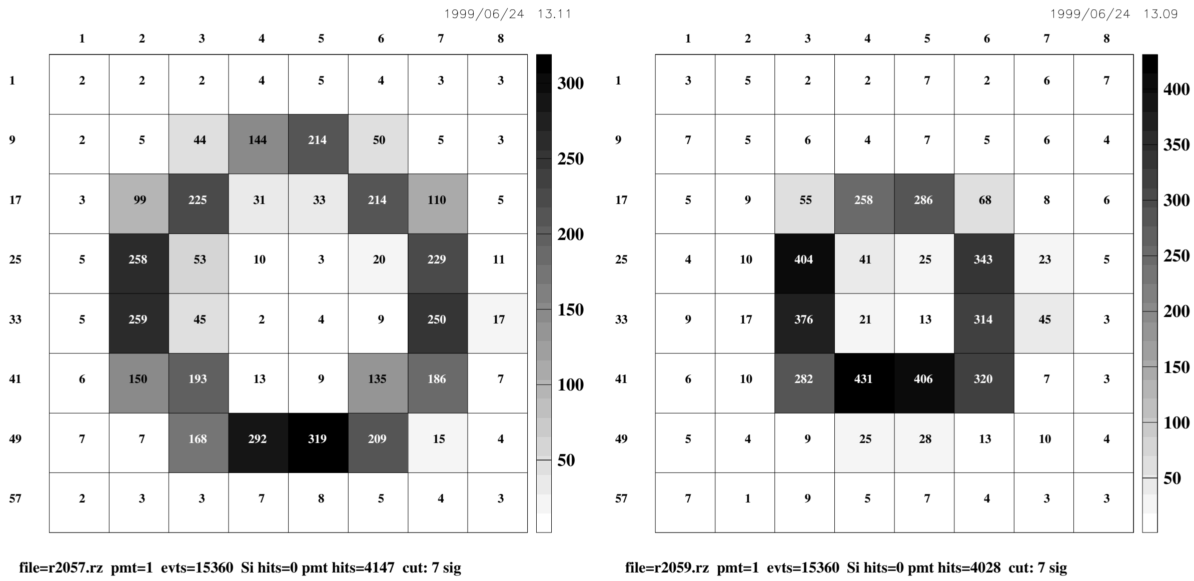

Figura 5 Anello dell'aria visto dal MaPMT senza lente e con la lente

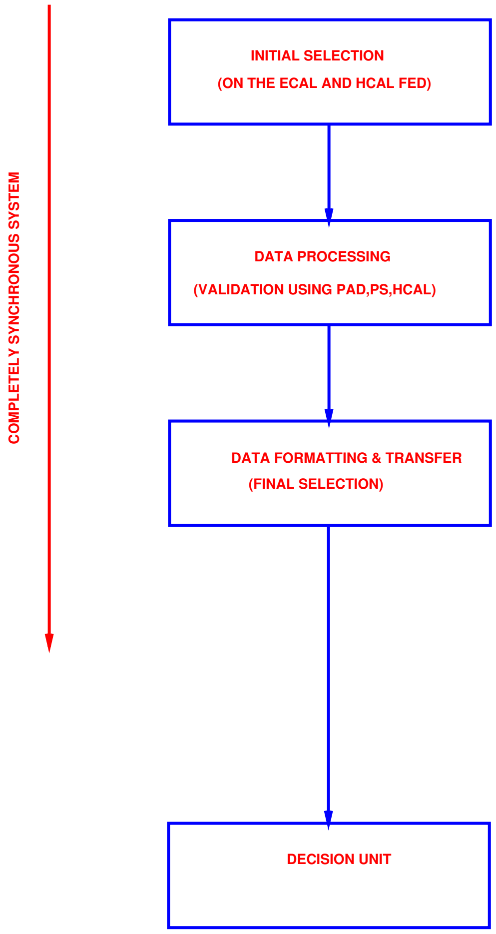

Figura 6 Schema di principio secondo cui opera il trigger di Livello zero di LHCb.