

Programma di ricerca e sviluppo tecnologico volto alla produzione di strumentazione scientifica, attinente al settore "Strumentazione Scientifica"

Consuntivo scientifico del terzo anno di attività e del periodo successivo di completamento dei lavori

Questo rapporto contiene il consuntivo scientifico del periodo conclusivo di attività, da luglio 2000 fino alla conclusione dei lavori, del: "Programma di ricerca e sviluppo tecnologico volto alla produzione di strumentazione scientifica", attinente al settore "Strumentazione Scientifica" del Fondo 5% dell'anno finanziario 1995/96.

Due dei sei Temi di Ricerca nei quali il programma è articolato, il tema n. 3 (Rivelatori di particelle ionizzanti a microelettrodi in gas) e il n. 6 (Sviluppo dell'elettronica di lettura per una camera a proiezione temporale ad argon liquido) hanno concluso l'attività entro il secondo anno, come inizialmente previsto e come illustrato nel consuntivo scientifico del 2^o anno.

Questo rapporto tratta quindi solamente i rimanenti quattro temi:

- 1) Rivelatori al silicio con microelettrodi;
- 2) Microconnessioni verticali ad alta densità (Bump Bonding);
- 4) Front-end, lettura e trigger per lo spettrometro μ di ATLAS;
- 5) Alimentatori per alte tensioni continue;

Come estesamente descritto nei capitoli che seguono, per tutti i temi gli obiettivi del Programma sono stati pienamente centrati, realizzando la piena riuscita del Programma di Ricerca

Il presente consuntivo, così come quelli degli anni precedenti, è frutto del contributo dei responsabili dei differenti temi, i quali, nell'ambito dei Comitati Paritetici, hanno seguito e gestito lo svolgimento dei Progetti, operando le scelte che hanno portato al successo finale.

Gli effetti positivi del lavoro di collaborazione tra ambiente di ricerca e mondo industriale hanno già iniziato a dare i primi frutti concreti. Alcune ditte coinvolte in questo Programma sono infatti risultate vincitrici di importanti gare internazionali, in campi connessi ai temi di questo progetto.

Rivelatori al silicio con microelettrodi (ditta ST Microelectronics)

Nel corso del III anno di attività è stata messa definitivamente a punto la tecnologia per la produzione su larga scala dei rivelatori a microstrisce necessari per l'esperimento CMS e sono stati consegnati all'INFN tutti i rivelatori previsti dal progetto. L'ottimizzazione della tecnologia, realizzata con le serie prototipali, ha permesso di aumentare considerevolmente la resa complessiva sia per alta tensione di rottura che per percentuale di condensatori e strisce prive di difetti.

I rivelatori messi a punto su maschere denominate ROB2, sono stati realizzati su wafers da 6" nel reparto produttivo *M3*, sono stati controllati industrialmente nel reparto di *EWS* (Electrical Wafer Sensing) della ST e collaudati nei laboratori INFN di Pisa e di Firenze.

ROB2: descrizione del layout

Il rivelatore ROB2 (Fig.1) è stato disegnato in accordo con le specifiche ufficiali definite dal CERN. Il disegno del set di maschere è stato realizzato in collaborazione con l'INFN di Pisa.

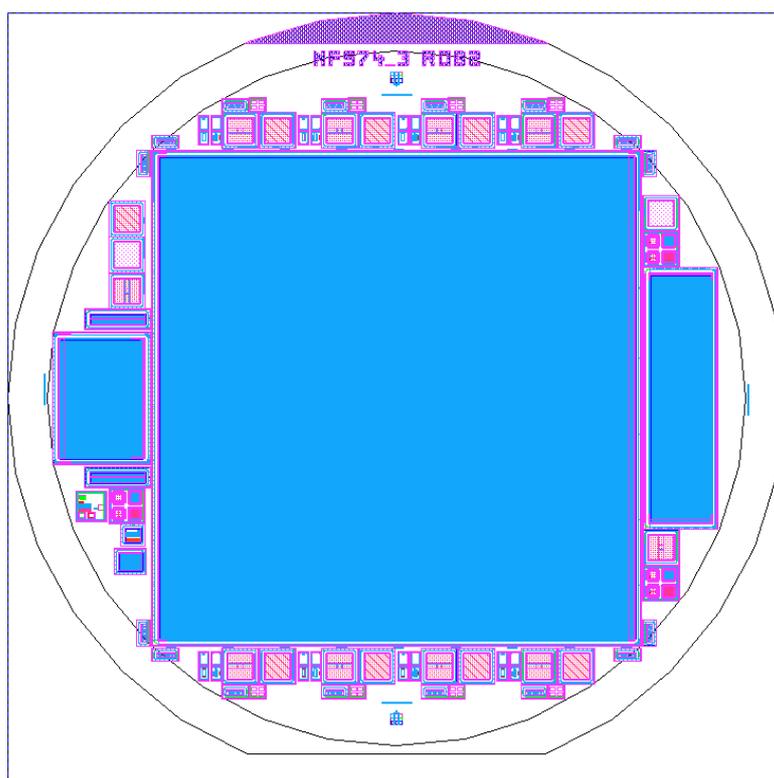


Fig. 1 Layout del rivelatore ROB2

Le caratteristiche geometriche di questo rivelatore sono le seguenti:

- **Dimensioni** = 96.4 mm * 94.5 mm
- **Numero di rivelatori per wafer** = 1
- **Spessore** = 508 $\mu\text{m} \pm 15 \mu\text{m}$
- **Numero di strips** = 512
- **Larghezza delle strips (P^+)** = 46 μm
- **Passo tra le strips** = 183 μm
- **Struttura di bordo** = 1 anello di guardia, field plate su channel stopper
- **Numero di quadri per resistore** = 663
- **Dimensione minima del contatto** = 8 μm -15 μm

Il rivelatore è circondato da numerosi test pattern per il controllo della tecnologia (sia da parte ST che da parte INFN).

Nella Fig. 2 sono illustrati un particolare della regione di bordo del rivelatore e la relativa sezione verticale.

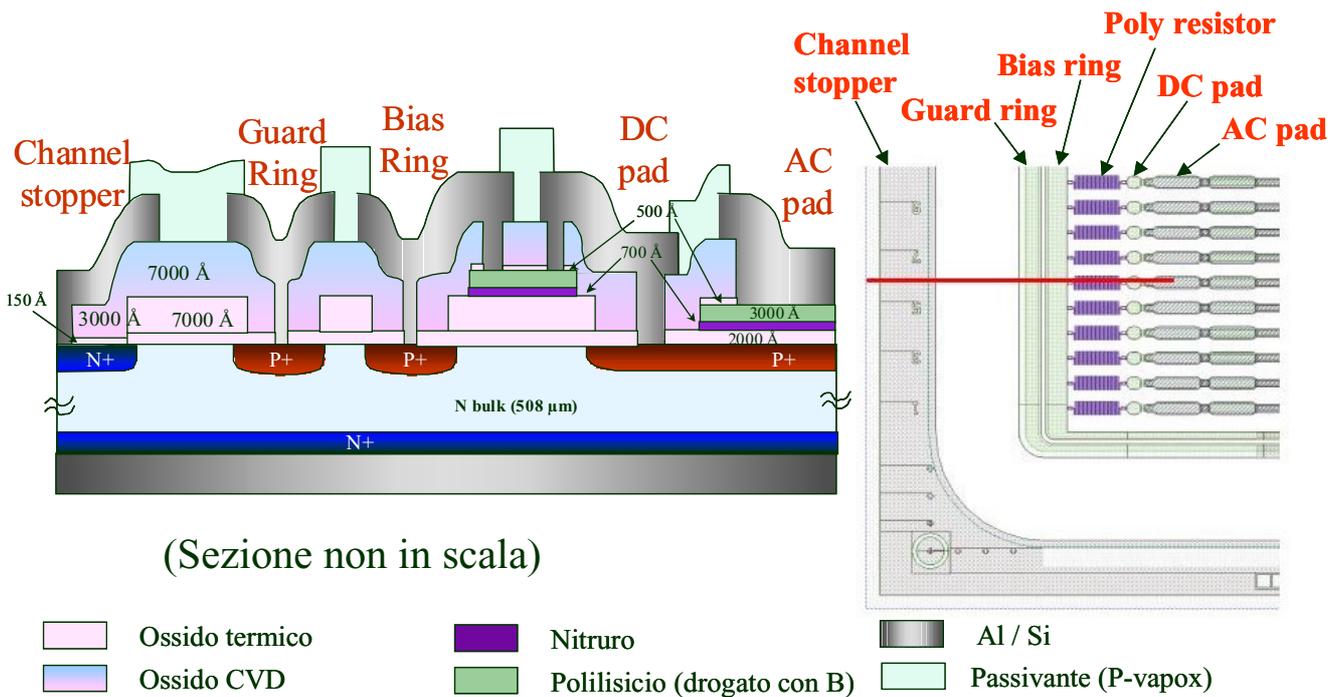


Fig. 2 Regione di bordo del rivelatore

Collaudo automatico

Il collaudo dei rivelatori è stato effettuato in maniera automatica nel reparto EWS. Per ciascun sensore sono stati misurati i seguenti parametri:

- Corrente di leakage totale del sensore (curva caratteristica inversa da 0 a 550 Volts);
- Scan delle 512 strisce:
 - Misura della corrente di leakage del dielettrico di accoppiamento;
 - Misura dell'isolamento elettrico tra strisce adiacenti;
 - Misura dei resistori in poly.

I criteri di accettazione per un sensore sono stati definiti nella maniera seguente:

- La corrente di leakage a 450 Volts non deve superare i 10 μA e, inoltre, la pendenza della curva caratteristica inversa tra 450 e 550 Volts non deve superare 100 nA/Volt.
- Il numero di strisce difettose deve essere inferiore o uguale all'1% (cioè sono ammesse al massimo 5 strisce difettose per sensore).

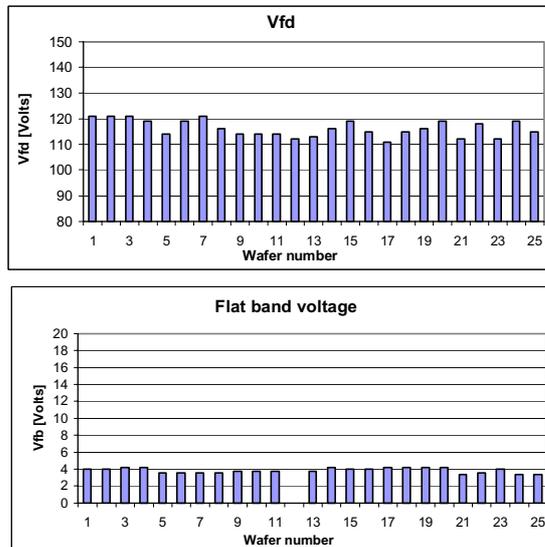
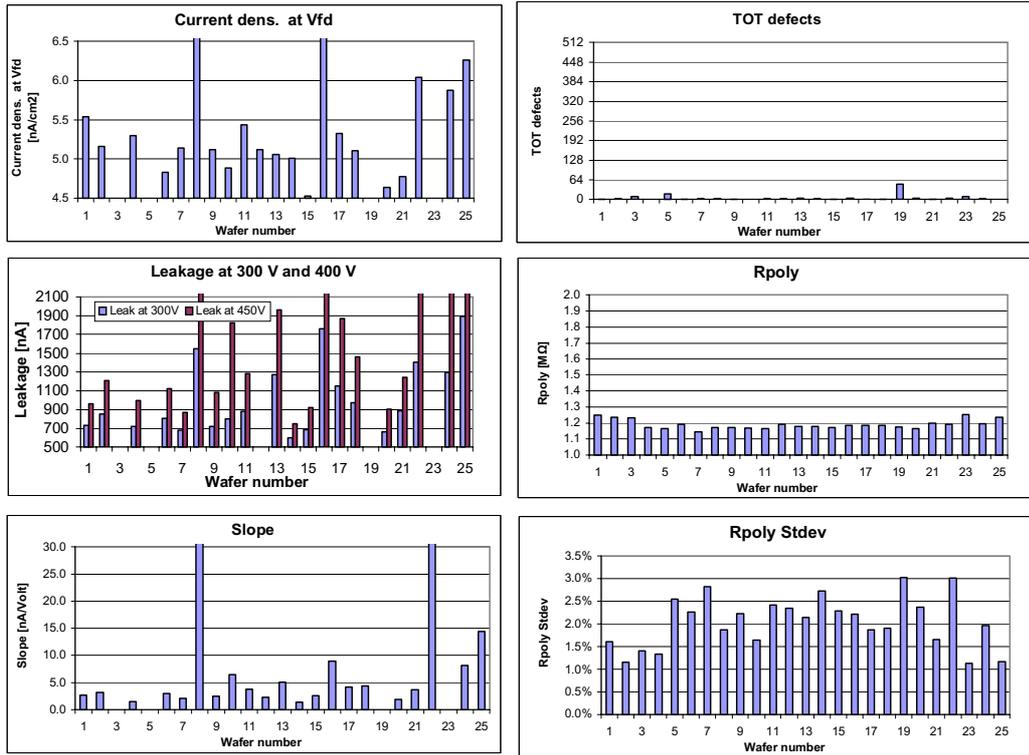
Risultato dei test

L'ST ha consegnato all'INFN 1343 sensori di tipo ROB2. I rivelatori sono stati sottoposti alla procedura di collaudo standard definita dal progetto. In particolare, sono state effettuate misure di corrente inversa e di breakdown, misure di tensione di svuotamento e di concentrazione di cariche nell'ossido, misure di integrità dei condensatori e di corrente di leakage delle strisce. Inoltre, sono state effettuate misure varie di controllo del processo sulla lunetta "standard". 1107 rivelatori hanno superato positivamente il collaudo e, a conclusione dell'attività di test, la produzione di pre-serie è stata accettata dall'INFN.

I grafici seguenti illustrano un esempio di risultati di collaudo ottenuti per un lotto di rivelatori di tipo ROB2.

ROB2

D238605



Conclusione

Con la qualifica della pre-serie, riteniamo che sia stato raggiunto l'obiettivo tecnico principale del progetto, consistente nel far raggiungere alla tecnologia di produzione dei rivelatori a microstrip un grado di maturità tale da consentire l'industrializzazione su grandi volumi.

Microconnessioni verticali ad alta densità (Bump Bonding) (ditta Alenia Marconi Systems)

Nella tabella che segue sono sintetizzati gli obiettivi definiti in accordo con l'Alenia Marconi Systems (AMS) al momento della stesura del programma di collaborazione con l'INFN.

Obiettivi		1 anno				2 anno				3 anno			
	Fase 1												
1.1	Individuazione delle soluzioni tecnologiche termini di materiali e processi	■											
1.2	Acquisizione dell'attrezzatura necessaria per il bonding e sviluppo della tecnologia.		■	■	■	■	■						
1.3	Messa a punto del processo di taglio per la separazione dei componenti dal wafer			■									
1.4	Individuazione e messa a punto delle procedure di "reworking"					■	■						
1.5	Ottimizzazione del processo di allineamento e saldatura per l'assieme multiplo			■	■								
1.6	Realizzazione prima serie di prototipi A (cella 50x400 µm)					■							
1.7	Realizzazione seconda serie di prototipi B (cella 50x300 µm)								■				
	Fase 2												
2.1	Ottimizzazione delle procedure finalizzate alla produzione di serie									■			
2.2	Realizzazione della preserie										■	■	■

Gli argomenti svolti nel terzo anno di attività sono, in accordo con quanto stabilito nel piano iniziale, l'ottimizzazione delle procedure finalizzate alla produzione di serie [2.1] e la produzione della preserie [2.2].

Ottimizzazione delle procedure finalizzata alla produzione di serie [2.1]

Sono state definite, all'inizio del terzo anno del progetto, le procedure di controllo di qualità e sono stati stimati i tempi e i rendimenti delle varie fasi di lavorazione. È stata messa in funzione una base di dati per controllare il flusso delle parti necessarie alle produzioni di moduli. Questa base di dati consente anche di verificare i risultati delle misure che ciascuna parte deve superare per essere qualificata e consente di seguire la storia di ciascun modulo, dalla produzione dei suoi componenti fino alle prove di qualifica finale e, in prospettiva, al suo funzionamento in esperimento.

La base di dati può essere consultata alla pagina:

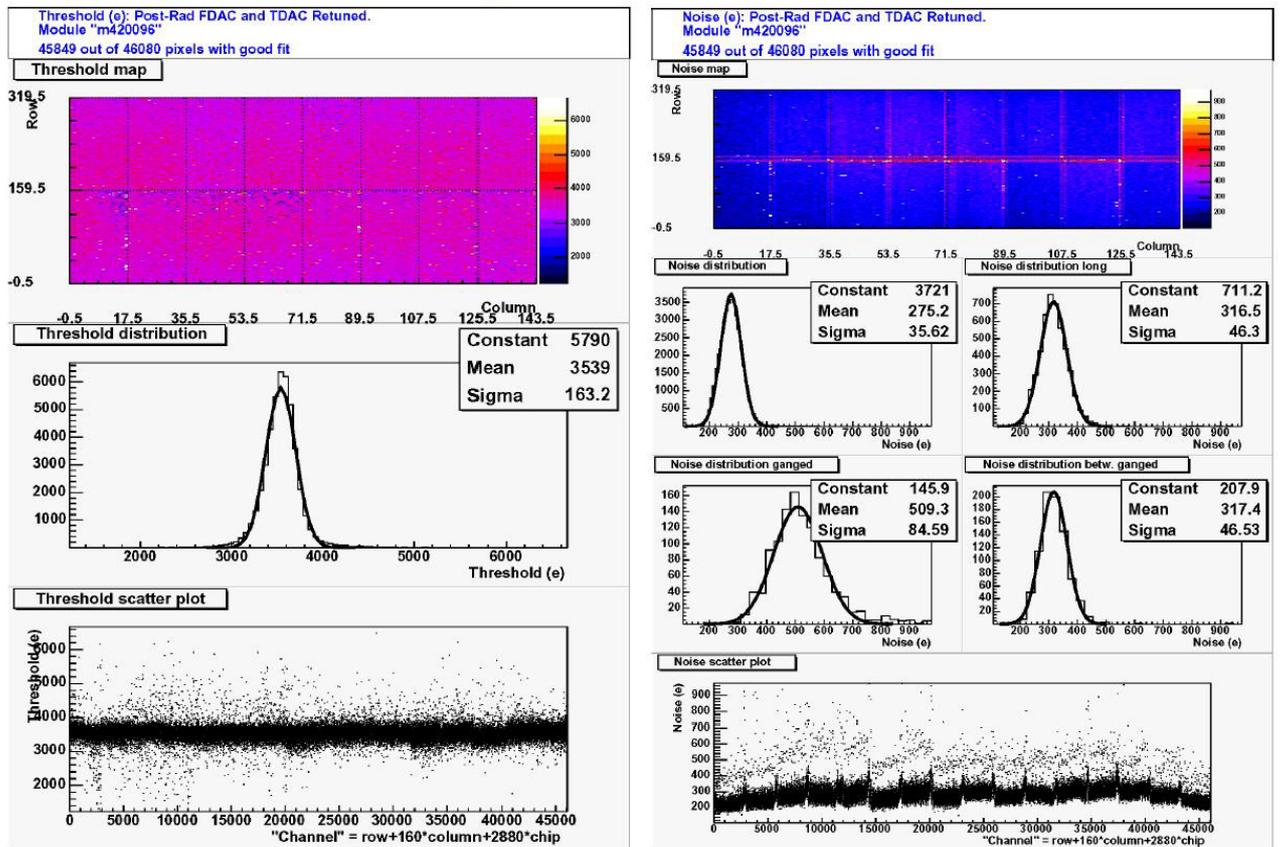
<http://www.fisica.uniud.it/PDB/>

Realizzazione della preserie [2.2]

E' stata realizzata una preserie di 50 moduli con chip e sensori resistenti alle radiazioni. I moduli così realizzati sono stati provati sia in laboratorio che su fasci di alte energie sia prima che dopo un irraggiamento che corrisponde a quanto atteso in 10 anni di operazione all'acceleratore LHC.

I moduli hanno continuato a funzionare secondo le specifiche anche dopo l'irraggiamento dimostrando così che il disegno complessivo del rivelatore è adeguato all'impiego nell'esperimento ATLAS a LHC.

GE_14 (AMS, CIS, 600V) threshold tune:



In particolare la figura indica che la soglia media di un modulo, dopo l'irraggiamento equivalente a 10 anni di funzionamento in ATLAS, è di 3500 e-, mentre il rumore medio è di 275 e-, valori entrambi nelle specifiche definite dall'esperimento. I corrispondenti valori per un modulo non irraggiato sono di 3000 e- e 200 e-.

Va inoltre osservato che l'elettronica resistente alle radiazioni è realizzata su wafer da 8" di diametro, è stato perciò necessario adattare il processo di deposizione a questa nuova dimensione (prima era limitato a 6"), il che ha leggermente ritardato il progetto che comunque si è concluso entro il terzo anno come previsto dal piano iniziale.

Sono stati anche provati insieme di moduli montati sui supporti finali e tutti contemporaneamente in funzione. Il comportamento dell'insieme elettronica/sensore non cambia sia che si tratti di un solo chip di elettronica su un piccolo sensore, sia di 16 chip di elettronica su un grande sensore (modulo), sia di un insieme di moduli. Ciò prova che il disegno e la realizzazione dei moduli di rivelatore a pixel sono adeguati per la costruzione su larga scala.

Possiamo quindi affermare che l'obiettivo tecnico principale del progetto sia stato raggiunto. Le competenze acquisite durante lo sviluppo hanno permesso alla ditta AMS di partecipare con successo alla gara internazionale per la fornitura di moduli per l'esperimento ATLAS. Tale gara è stata vinta dalla ditta AMS che ha offerto il prodotto più competitivo e a miglior prezzo e si è così aggiudicata la fornitura dei 1500 moduli necessari per la realizzazione del rivelatore a pixel dell'esperimento ATLAS.

Front-end, lettura e trigger per lo spettrometro μ di ATLAS (ditta CAEN SpA)

Il progetto ha avuto per scopo la realizzazione dell'elettronica per il sistema di trigger di primo livello di muoni ed il read-out del rivelatore RPC, della parte centrale ("barrel") dell'esperimento ATLAS.

Come già illustrato nel precedente consuntivo, per cause esterne al progetto l'attività ha avuto inizio con un ritardo rilevante, essenzialmente per un aumento della richiesta di resistenza alla radiazioni da parte dell'esperimento ATLAS e per poter sfruttare nuovi dispositivi che la rapida evoluzione della tecnologia stava per mettere sul mercato e che hanno notevolmente semplificato il progetto.

Il sistema di trigger si basa sulla lettura di segnali provenienti da un rivelatore dedicato, Resistive Plate Chamber (RPC) e sulla loro elaborazione in speciali processori locali, chiamati PAD, ubicati sul rivelatore stesso. I PAD sono di due tipi: quelli dedicati alla selezione di particelle con basso momento trasverso, Low Pt, e quelli dedicati alla selezione di particelle con alto momento trasverso, High Pt. Anche se fisicamente i due PAD sono uguali, dal punto di vista logico svolgono funzioni diverse. Nel sistema di trigger ci sono in totale 416 processori di Low Pt e altrettanti di High Pt.

Il PAD di Low Pt trasferisce i risultati della propria elaborazione a quello di High Pt che a sua volta elabora l'informazione locale complessiva di trigger e la trasferisce, attraverso una connessione ottica, a dei moduli di elettronica ubicati in sala di controllo. I moduli sono: il Ricevitore Ottico, la Logica di Settore ed il Read-Out Driver (ROD). Ogni terna di tali moduli mette insieme l'informazione di trigger di 1/32 dell'apparato e la trasferisce poi al Processore Centrale di trigger ubicato nella stessa sala di controllo.

L'algoritmo di trigger e gran parte delle operazioni ad esso accessorie sono gestite dal chip Matrice di Coincidenze (CM), che è stato appositamente sviluppato. Esso è realizzato in tecnologia "deep-submicron" 0.18 micron e opera ad una frequenza di 320 MHz. Ogni processore PAD ospita quattro chip CM.

L'attività si è sviluppata attraverso varie fasi. E' iniziata con lo studio e realizzazione, dal solo punto di vista degli ingombri meccanici, di un prototipo di PAD contenente quattro matrici di coincidenza (contenitore, connessioni di ingresso e uscita, possibili lay-out, dimensioni delle schede, dissipazione termica, ecc.). Successivamente è stato sviluppato il disegno globale del progetto, che ha dovuto tener conto di una rilevante modifica del front-end degli RPC, a causa della quale è stato introdotto nel sistema un numero di schede di distribuzione dei segnali ("splitter" di cui parleremo avanti) uguale al numero totale dei processori PAD (832).

La Fig. 1 mostra la foto di una PAD motherboard. Sulla scheda madre vengono alloggiati otto schede figlia; quattro sono i due mezzanini CM PHI (Fig. 2) ed i due mezzanini CM ETA (Fig. 3), per le due viste η e le due viste Φ , che alloggiavano le matrici di coincidenza. Le altre quattro schede contengono il circuito PAD-OR di somma dei segnali d'ingresso, il trasmettitore per la connessione ottica, la scheda di gestione dei bus seriali di controllo I2C, CAN e JTAG (mezzanino ELMB) ed il circuito di ricezione del sistema di distribuzione delle temporizzazioni TTCRX. E' da notare l'elevatissimo numero di connessioni esterne gestite da un PAD.

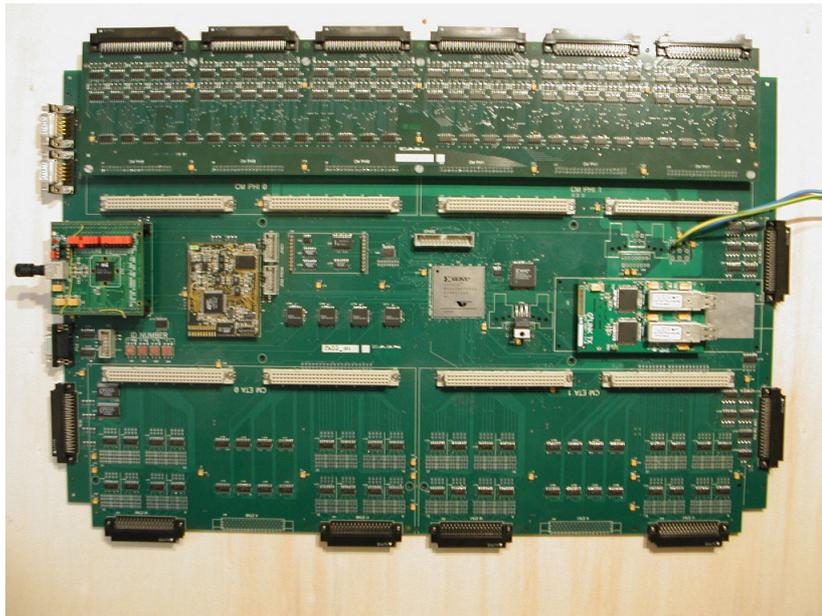


Figura 1: foto della PAD, equipaggiata con mezzanini TTC, ELMB, LINK.

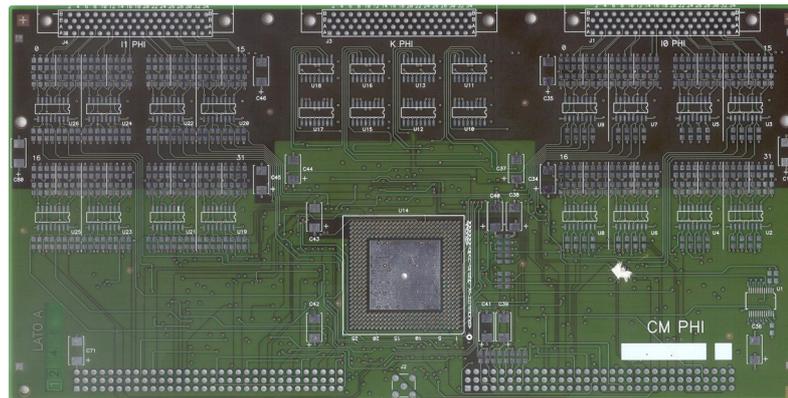


Figura 2: foto del mezzanino PHI.

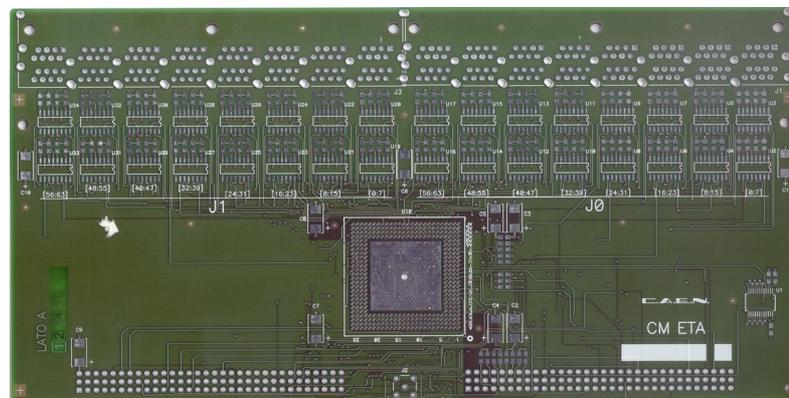


Figura 3: foto del mezzanino ETA

Altro aspetto significativo e di fondamentale rilevanza per il buon funzionamento del progetto, visto l'elevato numero di canali di elettronica connessi ai rivelatori RPC (circa 400.000), è stato lo studio dettagliato della ricezione dei segnali e del loro invio, attraverso le schede PAD, alle matrici di coincidenza. Ciò, come già accennato, ci ha portato all'introduzione nel sistema di schede "splitter" per la distribuzione dei segnali. Il compito di tali schede è quello di ricevere i segnali dal rivelatore RPC e distribuirli ai processori PAD per l'esecuzione dell'algoritmo di trigger. I segnali provengono dai rivelatori posti in entrambe le proiezioni rispetto alla direzione del fascio di particelle, quella parallela Φ e quella perpendicolare η .

Lo schema di base della scheda splitter è rappresentato in Fig. 4. I segnali provenienti dagli RPC sono di tipo segnale-massa, mentre alle uscite delle splitter si hanno segnali differenziali LVDS (Low Voltage Differential Signal). Il sistema di trigger fa uso di due tipi di schede splitter, una per il Low Pt ed una per l' High Pt. Sebbene le due schede siano funzionalmente uguali, esse differiscono per dei dettagli tecnici implementativi. Ogni scheda splitter contiene 12 mezzanini; 4 ETA, 4 PHI_MASTER e 4 PHI_SLAVE (Fig. 5). Le schede splitter, come le schede PAD, saranno contenute in scatole metalliche fissate sopra il rivelatore RPC.

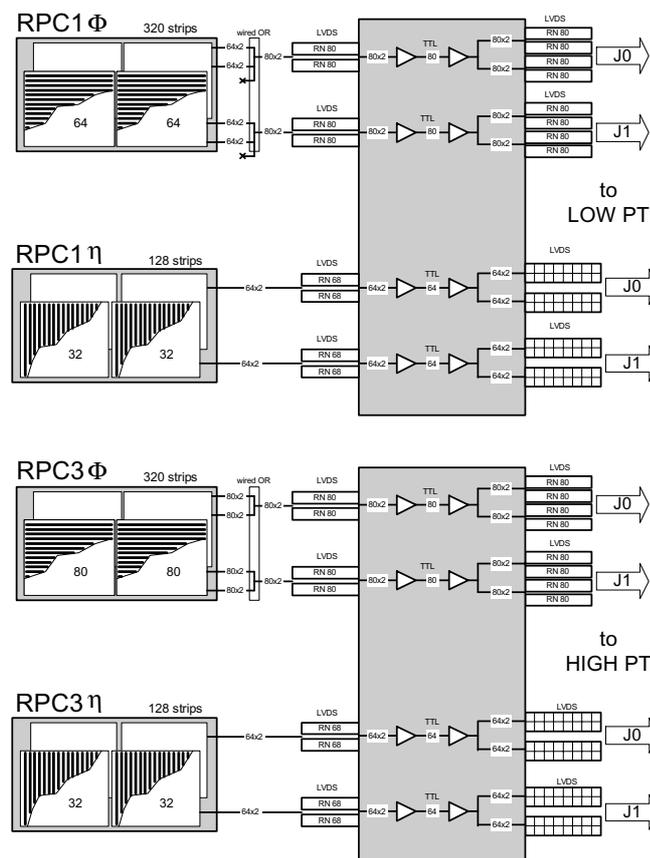


Figura 4: schema a blocchi dello Splitter

Lo sviluppo delle schede splitter è stato portato a termine con fondi dell'esperimento ATLAS, senza usufruire di finanziamenti all'interno di questo Programma di Ricerca.

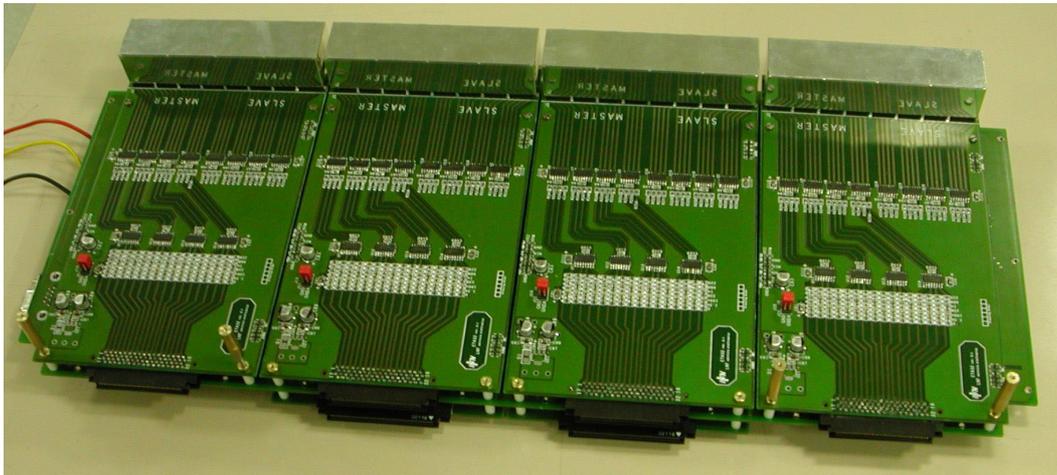


Figura 5: foto della motherboard SPLITTER e mezzanini SPLITTER-ETA

E' stato inoltre sviluppato un sistema di test industriale, basato su standard JTAG, che consiste in schede dedicate che, poste su tutti i connettori della scheda madre, permettono di verificare la bontà delle connessioni tra connettori e dispositivi e tra dispositivi stessi (vedi Fig.6 e Fig.7).



Figura 6: circuiti sviluppati per il sistema di test JTAG delle motherboard PAD.



Figura 7: sistema di test JTAG montato sulle motherboard PAD.

In vista della produzione in larga serie dei prototipi sviluppati, per ciascuno di essi è stata realizzata una preserie che ha consentito alla ditta di mettere a punto le tecniche di produzione.

Data la natura molto tecnica dell'attività, difficilmente spiegabile in dettaglio in questo contesto, per ulteriori approfondimenti si rimanda alla documentazione citata nel precedente consuntivo scientifico ed ai seguenti rapporti della ditta CAEN relativi alla fase finale dell'attività:

ATLAS: rapporto di attività, C. Tintori e A. Romboli, marzo 2002

ATLAS: minute tecniche riunione, C. Tintori e A. Romboli, aprile 2002

In conclusione si può affermare che gli obiettivi tecnico-scientifici del programma sono stati pienamente raggiunti. La ditta CAEN ha sviluppato competenze nel settore dei sistemi elettronici altamente complessi operanti in ambienti di particolare disagio. Le caratteristiche di tali sistemi sono l'alta velocità di risposta data l'elevata frequenza di collisione dell'acceleratore LHC, la compattezza a causa degli spazi limitati a disposizione, il basso consumo per l'elevato numero di canali e la tolleranza alle radiazioni ed ai campi magnetici. Tali competenze sono certamente importanti per gli sviluppi futuri dell'azienda.

Per quel che riguarda l'INFN l'elettronica sviluppata nell'ambito di tale programma soddisfa pienamente le specifiche richieste dall'esperimento. Sono state svolte, con esito positivo, per ciascuno degli elementi del sistema, le varie procedure di "Design Reviews" previste all'interno della collaborazione ATLAS. Per la consultazione e gli esiti si rimanda alla pagina <http://sunset.roma1.infn.it/muon11/reviews>.

Alimentatori per alte tensioni continue

Questo tema prevede lo sviluppo di un sistema di alimentazione di alta tensione in grado di sopportare le critiche condizioni ambientali presenti negli esperimenti a LHC, e dotato di flessibilità sufficiente per servire gli svariati tipi di rivelatore presenti in un singolo esperimento. Per aver la possibilità di verificare questo secondo aspetto, si è scelto fin dall'inizio di dividere il tema in due sottoprogetti, dedicati a due diversi tipi di rivelatore, le camere a deriva per muoni ed i rivelatori a microstrisce.

Applicazione per il rivelatore a deriva per μ

Come riportato nei precedenti consuntivi annuali, il progetto sviluppato prevede che il sistema di alimentazioni consista di moduli generatori di alta tensione (PCM – A876), alloggiati nel crate di sistema SY1527, da posizionare in una zona dell'esperimento non soggetta né a campo magnetico né a radiazioni ionizzanti, che alimentano moduli per la regolazione ed il controllo delle tensioni (MCM – A877) che risiedono nelle zone più critiche degli esperimenti.

Proseguendo l'attività del 2° anno, un secondo prototipo di modulo primario (PCM-A876) è stato prodotto con modifiche di ingegnerizzazione non sostanziali. Un secondo prototipo di MCM è stato prodotto per essere testato alla facility PROSPERO con neutroni fino a ~ 7 MeV e fluensa sino a 10^{12} n/cm² da personale del Electronics Pool del CERN. Prima dell'irraggiamento il modulo è stato seriamente danneggiato dall'interferenza causata da scariche in un cavo a 15 kV che alimentava un'altra apparecchiatura pure sotto test. L'elettronica di comunicazione e i canali sopravvissuti hanno conservato la loro funzionalità operativa, ma il valore del test è stato seriamente limitato e i risultati di non facile interpretazione. Tale modulo è stato recuperato e modificato fungendo da modulo prototipale di saggio con le tre soluzioni alternative di Macro Canali previste nel consuntivo del precedente anno. Esso è stato testato alla medesima facility CYCLONE – UCL a Louvain la Neuve il 25/10/00 con fascio di protoni monocromatici di 60 MeV sino a una fluensa di $5 \cdot 10^{10}$ p/cm², pari a circa 50 volte quella stimata in 10 anni di funzionamento di LHC alla massima luminosità sulle balconate alla periferia del cilindro di CMS.

Il test è stato superato positivamente dalle soluzioni DC-DC e NPN Transistor, mentre la soluzione IGBT ha mostrato sostanzialmente i medesimi problemi del prototipo a VMOS. Il rapporto sul test può essere reperito sul sito:

<https://edms.cern.ch/document/303612/1>

Un secondo modulo completo MCM con 12 macrocanali è stato approntato, utilizzando NPN Transistor, ed è stato testato alla medesima facility sino a $5 \cdot 10^{10}$ p/cm² il 27/06/01, con esito positivo: nessuno dei canali HV ha evidenziato effetti di deterioramento. I circuiti di monitor e comunicazione, pure nuovamente irraggiati senza evidenziare alcun problema, hanno confermato la propria adeguatezza ai requisiti imposti. Il rapporto su questo test può essere reperito sul sito:

<https://edms.cern.ch/document/391261/1>

Il test di una porzione significativa di dispositivi, ha consentito di estrarre una stima attendibile per l'intervallo medio tra due eventuali rotture (MTBF) in un sistema completo (250 moduli MC), pari a 50 giorni di funzionamento ininterrotto di LHC,

ovvero di ~300 giorni di funzionamento reale della macchina. Questo tempo è considerato largamente accettabile, in relazione alla frequenza di accesso stimata per la zona dell'esperimento CMS ove il sistema di distribuzione HV dovrebbe essere localizzato.

I positivi risultati dei test di irraggiamento sull'ultimo prototipo di modulo MCM mostrano che i problemi causati dal fallimento della soluzione con gli elementi di regolazione HV a MOSFET sono stati completamente superati, sia pure a prezzo di un ritardo di circa un anno. Lo sviluppo del progetto appare in larga parte concluso. Rimangono da effettuare i test di stabilità e di rumore elettrico su un carico reale come uno dei rivelatori la cui produzione è avviata. Quindi la ingegnerizzazione finale, per passare poi alla produzione della pre-serie.

Sul prototipo di modulo MCM A877 sono stati quindi eseguiti prolungati test di stabilità delle tensioni e correnti di uscita in varie impostazioni e condizioni di carico.

La stabilità risultante a lungo termine è di $\pm 0.5V$ (1 lsb) sulle HV d'uscita con impostazioni tra 100V e le tensioni nominali di (+ 4kV e $\pm 2kV$) impostate rispettivamente su Anodi, Strip e Catodi.

La stabilità lungo termine delle correnti si mantiene generalmente entro $\pm 10nA$ per Anodi e Strip ed entro $\pm 30nA$ per i Catodi (1 lsb) solo per alcuni canali la variazione si estende entro 2 lsb.

È stata pure verificata periodicamente la operatività della funzione di blocco tra tensione di Strip e di Anodo che doveva limitare automaticamente la differenza $V_A - V_S$ a ~2000V.

Si è quindi passati a test di funzionamento in condizioni reali, connettendo i moduli di alimentazione a camere per mu sia nel sito di costruzione presso i Laboratori di Legnaro dell'INFN, sia su fascio al CERN. Dopo alcune modifiche alle connessioni di massa e l'introduzione di filtri passa-basso sulle linee HV d'uscita all'esterno del modulo, il rumore elettrico indotto sulla camera è diventato indistinguibile dal fondo naturale, e la stabilità di funzionamento si è mantenuta quella delle prove a banco.

Il problema costituito dal rumore elettrico indotto sul rivelatore (in assenza di filtri) ha però consigliato di introdurre i filtri nel disegno del modulo stesso. Si è quindi decisa la integrazione dei filtri nel prototipo esistente per verificare l'efficacia della ingegnerizzazione prima di passare alla costruzione della preserie. Su questo modulo sono stati eseguiti tutti i test sopra menzionati di stabilità e funzionalità che hanno confermato i risultati precedenti. In particolare si è confermato un rumore elettrico al livello del fondo naturale del rivelatore.

Il soddisfacente risultato dei test sui prototipi finali ha quindi sancito la approvazione della costruzione della preserie, costituita da

- n. 1 sistema SY1527 completo di alimentazioni e firmware
- n. 2 Moduli primari PCM – A876 completi di firmware
- n.10 Moduli MCM – A877 completi di firmware
- n. 2 Cassetti metallici per MCM

Tale struttura risulta compatibile con le risorse finanziarie disponibili, e sufficiente per conseguire una stima attendibile della flessibilità e adeguatezza di prestazioni del sistema sviluppato.

Il sistema, connesso ad un PC, è stato sottoposto a vari test. I programmi di gestione e acquisizione dati erano forniti da CAEN, mentre il programma di visualizzazione grafica era fornito da INFN.

In questa configurazione, in qualche misura articolata e sia pure con programmi di capacità ridotta, è stato possibile verificare la gestibilità di un sistema complesso, accedendo in maniera trasparente ai moduli afferenti ai due diversi SY1527, gestendone il funzionamento, registrando i dati di monitor e ottenendone la visualizzazione grafica in tempo reale. Lungo lo svolgimento del test diversi moduli hanno occupato le medesime posizioni logiche. Inoltre la configurazione ha subito modifiche e variazioni, dimostrando la totale intercambiabilità dei moduli fisici rispetto alla posizione logica.

Il test

Verificato che la struttura meccanica e la localizzazioni delle varie funzioni rispettavano le specifiche di progetto, i test si sono focalizzati anzitutto sui seguenti aspetti :

- funzionalità del software di comunicazione tra PC di gestione e SY1527
- funzionalità del software di impostazione dei parametri nei moduli A876
- funzionalità del software di comunicazione e controllo tra A876 e A877
- funzionalità del software di acquisizione e registrazione dati dai A877

Dopo la correzione di alcune disfunzioni sia hardware che software, prontamente effettuata da CAEN, il test ha verificato l'effettiva programmabilità di tutti i parametri previsti in specifica entro i limiti richiesti e la generazione degli eventuali segnali di stato.

L'attenzione è stata quindi focalizzata su test di verifica delle funzionalità dei moduli A876 e A877 al fine di accertarne l'adeguatezza alle specifiche di progetto, con particolare riguardo alla stabilità e affidabilità di funzionamento con varie impostazioni di tensione, sia a vuoto che a carico, nonché alla valutazione del rumore elettrico eventualmente indotto in un rivelatore a deriva dello spettrometro per MU di CMS.

Tutti i moduli sono stati verificati per periodi di 3 giorni consecutivi a più riprese. Dai dati raccolti durante circa 40 giorni di funzionamento effettivo, si ricavano i seguenti risultati:

- Corrispondenza tra valori impostati e rilevati delle tensioni di uscita contenuta entro – 3V rispetto al valore impostato nel caso peggiore.
- Stabilità delle tensioni a vuoto e a carico entro 0.5V(1lsb) rispetto al valore iniziale
Stabilità delle correnti a vuoto entro 1 lsb (10 nA per Anodi e Strip, 30 nA per Catodi) rispetto al valore iniziale
Stabilità delle correnti a carico entro 2 lsb (10 nA per Anodi e Strip, 30 nA per Catodi) rispetto al valore iniziale, con carico non stabilizzato.
- Operatività del blocco V_A-V_S a $\sim 1950V$
- La funzione di Inter-Lock ha conservato la propria operatività generando, quando attivata dall'apertura del relativo contatto, l'appropriato segnale di stato.
- Mantenimento delle suddette funzionalità e della programmabilità dei parametri previsti dopo ripetute fasi di accensione e spegnimento.

Anche il rumore elettrico generato dai moduli del sistema è stato verificato, connettendo due moduli A877 a camere a deriva del rivelatore di MU-Barrel di CMS in un modo simile a quello che sarà utilizzato nell'esperimento. Di nuovo il rumore elettrico misurato sulla camera è risultato non superiore al fondo naturale del rivelatore stesso

Il test ha quindi dimostrato la completa rispondenza del sistema agli obiettivi di progetto. Ha anche evidenziato alcuni aspetti critici da tener presenti nel caso di utilizzo su esperimenti a LHC, distribuiti su grande scala e di difficile accessibilità, quali l'importanza della verifica delle specifiche di alcuni componenti critici e la necessità di correzione di alcuni limiti dell'attuale struttura del software, come ad esempio il limite di cinque connessioni di rete contemporanee al medesimo SY1527, unito all'impossibilità di chiudere un canale di comunicazione rimasto aperto a seguito di un eventuale malfunzionamento del SY1527.

Applicazione per il rivelatore a microstrisce

Come già riportato nel consuntivo scientifico del 2° anno di attività, ricordiamo che a seguito della decisione dell'esperimento CMS di fermare lo sviluppo dei rivelatori a microstrisce in gas, è risultato necessario dedicare l'ultima parte del lavoro allo sviluppo di un prototipo di alimentatore per i rivelatori a microstrip di silicio, che sostituiranno quelli in gas.

Il programma iniziale per lo sviluppo dei moduli specifici di alimentazione per le MSGC è stato concluso con la consegna e il test dei due moduli a 28 canali complessivi per 3.5kV e 600V rispettivamente. Il test ha dato risultati rispondenti alle specifiche richieste.

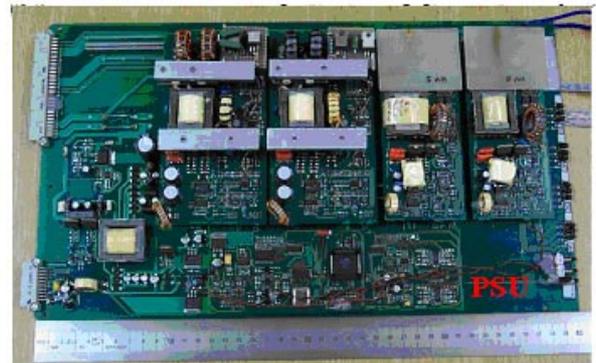
Il prototipo di alimentatore per i rivelatori a microstrip di silicio è stato sviluppato dalla CAEN in collaborazione con la Sezione INFN di Firenze, gruppo CMS, su progetto concordato con lo stesso gruppo INFN (<http://hep.fi.infn.it/CMS/power.html>).

Il prototipo di sistema consiste in una unità di controllo, interfacciabile via ethernet con altri computer, e connessa via CANBus all'hardware specifico di alimentazione. Questo consiste in due canali complessi (PSU), ciascuno con quattro regolatori di tensione programmabili. Due regolatori di bassa tensione ($+2.5V \pm 5\%$, $+1.25 \pm 5\%$) e alta corrente ($I_{2.5} = 12\text{ A}$, $I_{1.25} = 7\text{ A}$) capaci di assicurare su carichi remoti la tensione programmata con cadute fino a 6 V (uso di sense), due di alta tensione (600V , $I = 20\text{ mA}$) per la polarizzazione dei rivelatori al silicio. È parametro di merito del canale di alimentazione il suo isolamento di modo comune ($100\ \Omega @ 5\text{ MHz}$).

A Giugno 2001 CAEN fornisce un mainframe SY2527 della sua produzione a catalogo, corredato di una unità prototipale (branch controller) per la comunicazione con le due PSU, un cestello meccanico con le due schede prototipo, una per PSU.

Ciascuna PSU è equipaggiata con un μP che colloquia con il branch controller via CANBus su una linea optoisolata. La PSU è munita di ADC/DAC per il monitoraggio e l'impostazione dei parametri (tensioni, correnti massime, ecc).

Il sistema è controllato localmente da tastiera e display o da remoto via TCP/IP (telnet 1527).

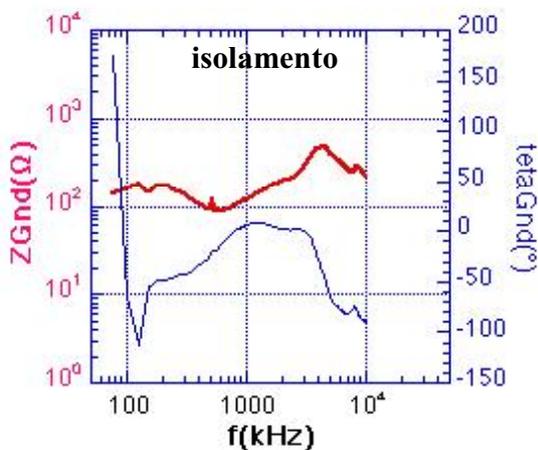


I prototipi, testati a banco a Firenze e a Torino, hanno mostrato una buona rispondenza ai parametri richiesti. Sono stati tuttavia necessari nuovi interventi, presso la ditta, sull'isolamento, la stabilità di uno dei due regolatori di bassa tensione, il rumore delle alte tensioni, la protezione contro l'inversione dei sense, l'intervento delle limitazioni in corrente e l'implementazione di circuiti crawl bar per il pilotaggio dei cavi.

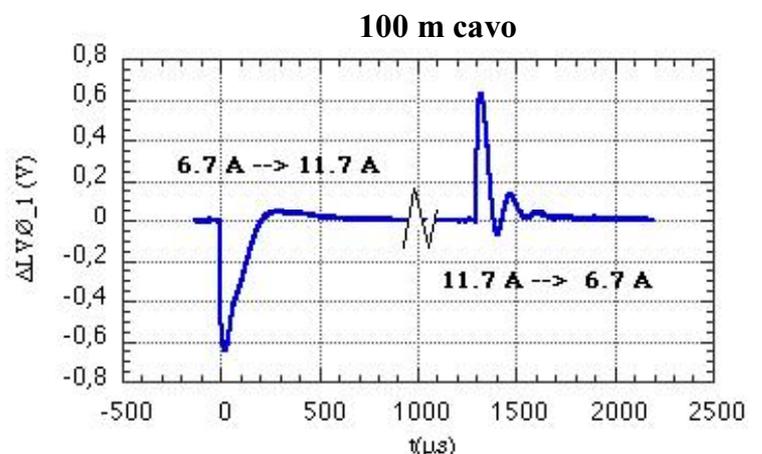
Dopo queste correzioni il prototipo è stato nuovamente testato prima a banco e poi sul primo setup completo (Firenze, TIB system test) con due moduli di rivelazione con 150 m di cavo. Anche i test a banco sono stati fatti utilizzando cavi di lunghezza fra i 50m e i 100m.

Rumore (< 10 mVpp per LV, < 60 mVpp per HV), compensazione caduta sui cavi, limitazione in isolamento ($> 100 \Omega @ 5\text{MHz}$) e intervento del circuito di crawl bar (vedi sotto) sono risultati entro le specifiche richieste. Le prestazioni al system test hanno confermato le aspettative.

Caen // PSU0 imp_HG+LG vs GND (48V)



Caen / 2.5 : current sudden variation



Conclusioni

Il documento programmatico relativo al tema “Alimentatori per Alte Tensioni Continue” individuava due obbiettivi da raggiungere:

- a) lo sviluppo di un sistema primario potente e flessibile, che fornisca in modo unitario per tutti i sottosistemi supportati le funzioni di uso generale e che sia sufficientemente flessibile da permetterne potenzialmente l'utilizzo per tutti i rivelatori di LHC;
- b) lo sviluppo di due sottosistemi specifici, ottimizzati per le esigenze di due particolari tipi di rivelatore molto diversi tra loro, in modo da permettere sia lo sviluppo della soluzione tecnica per gli specifici problemi di tali rivelatori sia la verifica dell'effettiva flessibilità del sistema primario

L'insieme dei risultati ottenuti dai test eseguiti sui due sistemi di alimentazione, relativi ai due sottoprogetti, dimostra il raggiungimento di entrambi gli obbiettivi.

Riguardo al punto a) il mainframe di sistema SY1527/SY2527 ha dimostrato la sua flessibilità e versatilità nel fornire in modo unitario per i diversi sottosistemi supportati le funzioni di uso generale, consentendo potenzialmente l'utilizzo per i vari rivelatori di LHC. Ciò è ulteriormente confermato dal fatto che quando la collaborazione CMS ha deciso di sostituire il rivelatore MSGC con un rivelatore al silicio, è stato possibile in breve tempo e usufruendo dei risultati conseguiti fino a quel momento, convertire l'uso del mainframe all'impiego per tale rivelatore, e sviluppare i moduli specifici adatti al nuovo rivelatore.

Riguardo al punto b) lo sviluppo delle diverse tipologie di moduli specifici di alimentazione, adatti a rivelatori completamente diversi fra loro per caratteristiche, requisiti e dislocamento nell'esperimento CMS, ha provato l'effettiva realizzabilità delle soluzioni tecniche adeguate ai diversi rivelatori e, di nuovo, la capacità del sistema primario di supportare anche le funzioni peculiari ai diversi sottosistemi specifici.