

# Elettronica di Acquisizione di GIANO

---

## Descrizione d'insieme

**Valdemaro Biliotti**

**05/07/2012**

## Sommario

*Giano è uno spettrometro infrarosso ad alta risoluzione costruito attorno al sensore Hawaii2 PACE, è sensibile allo spettro compreso fra 0.95 e 2.5 $\mu$ m. Il sensore è formato da un mosaico di quattro quadranti con segnali di controllo, masse e alimentazioni, indipendenti tra loro. L'elettronica di acquisizione ricalca questa caratteristica ed è quindi composta da quattro canali di acquisizione indipendenti, ogni canale è dedicato ad un quadrante del sensore. Il disegno che ne deriva è perciò innovativo rispetto ai sistemi di acquisizione costruiti per gli strumenti precedenti. L'uso di componenti analogici di ultima generazione e un nuovo disegno per l'amplificazione del segnale a temperature criogeniche, hanno portato a ottimi risultati per quanto riguarda il rumore di lettura, la stabilità a lungo termine e il cross-talk fra i canali, che risulta inferiore alla soglia misurabile. Inoltre, i componenti programmabili FPGA hanno permesso di implementare funzioni complesse, che si traducono in elevata flessibilità in condizioni operative e elevata capacità di auto diagnosi, dalla quale deriva una ottima manutenibilità nel tempo. Il seguente rapporto presenta una descrizione di insieme.*

L'elettronica di GIANO è stata progettata per gestire ed acquisire i segnali generati dal sensore HAWAII-2 Teledyne (ex Rockwell), si tratta di un sensore infrarosso CMOS a mosaico formato da 4 quadranti indipendenti, ognuno dei quali è composto da un array di 1024x1024 pixel, per un totale di 2048X2048 elementi sensibili.

I quadranti sono completamente indipendenti, sia per quanto riguarda i segnali di controllo, sia per quanto riguarda i segnali di riferimento, le alimentazioni e le masse, gli unici elementi in comune fra i quadranti sono il substrato del multiplexer e il substrato del sensore. Questa caratteristica ci ha spinti a progettare un sistema di acquisizione formato da quattro canali (uno per ogni quadrante del sensore) completamente indipendenti tra di loro. Questo tipo di disegno ed altri accorgimenti hanno portato il cross-talk<sup>1</sup> fra i segnali dei quadranti ad un livello inferiore a  $10^{-5}$ , dunque non misurabile. I segnali dei quadranti sono amplificati in prossimità del sensore, a temperature criogeniche, e sono inviati verso l'esterno del Dewar in modo differenziale e bilanciato su quattro cablaggi indipendenti: ciò ha reso elevata l'immunità elettromagnetica e anche la sensibilità al rumore di pick-up<sup>1</sup>, entrambe sono a livelli non misurabili.

Ogni canale di acquisizione ha una propria memoria dove i dati campionati vengono temporaneamente immagazzinati prima di essere letti da un computer. La gestione è di tipo FIFO di immagine, nel senso che i dati vengono letti in modo asincrono rispetto alla temporizzazione di scrittura, ma viene conservato lo stesso ordine di arrivo. Le operazioni di scrittura e lettura possono avvenire anche contemporaneamente senza perdita di dati, in pratica la gestione della memoria garantisce che i dati in arrivo vengano messi in coda correttamente nelle locazioni, che si sono liberate per effetto di una lettura. La dimensione della memoria garantisce il temporaneo immagazzinamento fino a 4 immagini complete.

Essendo canali di acquisizione completamente indipendenti, possono lavorare in modo asincrono tra di loro, per esempio ogni canale può campionare il segnale con tempi e metodi propri, diversi da quelli degli altri canali. Di conseguenza è possibile eseguire delle misure che prevedono tempi di integrazione diversi sui quadranti, e dunque intervalli di tempo diversi

---

<sup>1</sup> Rapporto interno [8/2010](#) **Test dell'elettronica e misure di stabilità a lungo termine V. Biliotti, C. Baffa, G.Falcini, E. Giani, E.Oliva, L.Origlia, A.Tozzi, M.Sozzi**

fra le acquisizioni, che a loro volta possono essere effettuate con frequenze di campionamento diverse.

Tavola1: parametri dei canali di acquisizione

PARAMETRO	VALORE
Risoluzione	16 BIT – 2 ADU*
Fattore di conversione	4.2 $\pi$ Volt/ADU
Rumore R.M.S. ingresso a massa	3 $\mu$ Volt, campionamento a 100KHz
Rumore R.M.S con resistenza a 77°K	1.8 ADU, 7 $\mu$ Volt, campionamento a 100KHz
Periodo di campionamento	Compreso fra 2 e 17.5 $\mu$ Sec, a passi di 62 nSec
Filtro antialiasing	Passa basso del 2° ordine differenziale a 100 KHz
Filtro 2	Aperto
Capacità di memoria	9.4 MB corrispondenti a 4,5 immagini
Segnali digitali in uscita	11, con ampiezza 0-5 Volt, durata programmabile
Segnali analogici in uscita	3, programmabili con risoluzione a 16 BIT

\* La dinamica reale è compresa fra 0001 e FFFE, perché 0000 e FFFF sono codici riservati.

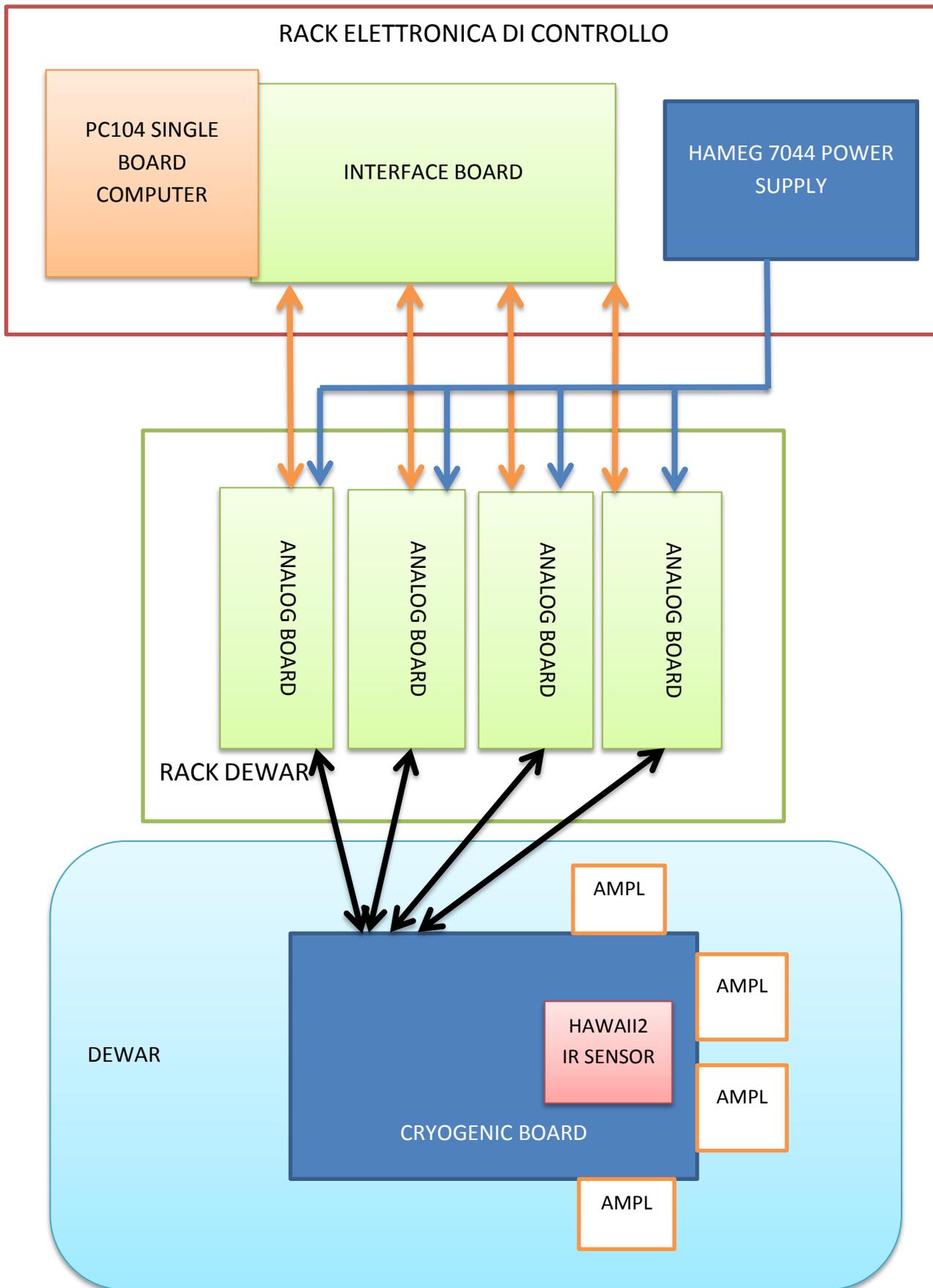
Queste sono le caratteristiche principali:

- **Immunità al cross-talk e al pick-up:** l'elettronica è composta da quattro canali di acquisizione completamente indipendenti tra loro.
- **Flessibilità:** la parte digitale dell'elettronica di acquisizione e controllo è fatta con componenti programmabili FPGA, che permettono l'implementazione di funzioni complesse in un unico dispositivo. Il progetto a canali indipendenti e l'elevata scala di integrazione dei componenti programmabili rendono possibili tecniche di misura speciali, che prevedono la gestione del sensore basate su temporizzazioni e modi operativi diversi fra i quadranti. Questo livello di flessibilità può essere aumentato, se del caso,

perché aggiungere funzioni o modificare quelle esistenti si realizza semplicemente configurando in modo diverso il componente.

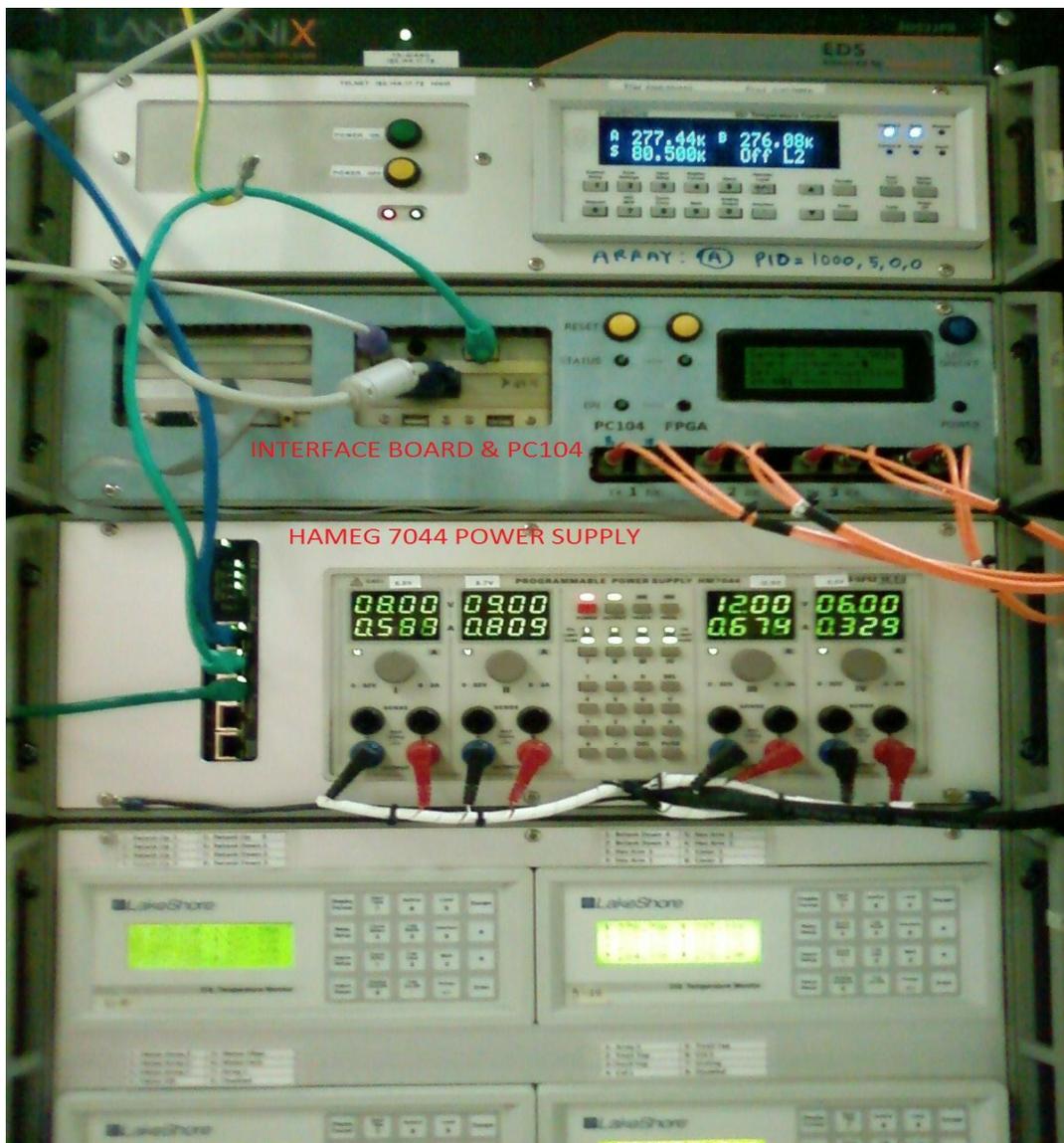
- **Basso rumore di acquisizione:** il perno della catena di acquisizione è un amplificatore DiFET, che è stato scelto per il suo basso rumore, per la sua bassa deriva in funzione della temperatura e per la sua capacità di funzionare alle temperature criogeniche. Il contributo di rumore del sistema di acquisizione corrisponde a meno un elettrone del sensore HAWAII2 campionando a 100 Khz, mentre la stabilità nel tempo è circa un elettrone su tempi dell'ordine delle decine di minuti. Tali risultati sono stati raggiunti grazie alla combinazione di questo amplificatore con un convertitore analogico digitale di ultima generazione a 18 bit e a particolari accorgimenti di progetto.
- **Affidabilità e manutenibilità:** tutte le funzioni del sistema di acquisizione sono verificate in tempo reale: una parte del sistema elettronico è dedicata a controllare se stessa e riconoscere eventuali guasti o malfunzionamenti. Oltre al controllo in tempo reale, è possibile attivare dei test specifici per verificare con accuratezza il corretto funzionamento di singoli (o gruppi di) componenti, queste due caratteristiche rendono facile ed immediato individuare e sostituire la parte che non funziona correttamente. Fra le procedure di test ne esiste una, probabilmente mai realizzata fino ad ora in uno strumento astronomico, che permette di effettuare l'acquisizione del segnale a sensore spento. Questa funzione può apparire come un contro senso, ma non lo è perché quando il sensore è spento il sistema acquisisce il rumore generato dalla resistenza da 200K $\Omega$  di pull up del quadrante (durante i test in laboratorio si è rivelata molto utile per migliorare e verificare le prestazioni), può essere usata in qualunque momento per controllare le prestazioni del sistema di acquisizione.

Figura 1 : schema a blocchi



La figura 1 illustra lo schema a blocchi e la disposizione dell'elettronica di GIANO. Come si può vedere il sistema è distribuito in tre zone diverse: c'è la parte criogenica alloggiata dentro il Dewar, che comprende il sensore HAWAII2 e gli amplificatori a basso rumore; c'è la parte di interfaccia digitale, che è montata sul rack insieme ad altre unità per il controllo motori e temperature; e c'è infine una parte dedicata all'acquisizione e conversione dei segnali che è montata su un rack dedicato posto immediatamente fuori dal Dewar, per minimizzare la lunghezza dei collegamenti.

Figura 2: elettronica di interfaccia e alimentatore.



La figura 2 mostra la scatola di interfaccia e l'alimentatore installati nel rack dell'elettronica di controllo. I cavi arancioni sono in realtà fibre ottiche, un doppino per ogni canale di acquisizione. Gli altri sono collegamenti al monitor, tastiera e Ethernet per il PC104.

L'alimentatore HM7044 fornisce 4 tensioni preregolate per i circuiti di acquisizione e conversione, è controllato dal PC104 attraverso una interfaccia seriale di tipo RS232. L'interfaccia permette di abilitare le tensioni, di stabilirne i valori e il livello massimo di corrente oltre il quale scatta la protezione. Tali valori vengono impostati automaticamente dal PC104 quando l'elettronica dello strumento è in condizioni operative, tuttavia può essere utile la seguente tabella con i valori di default.

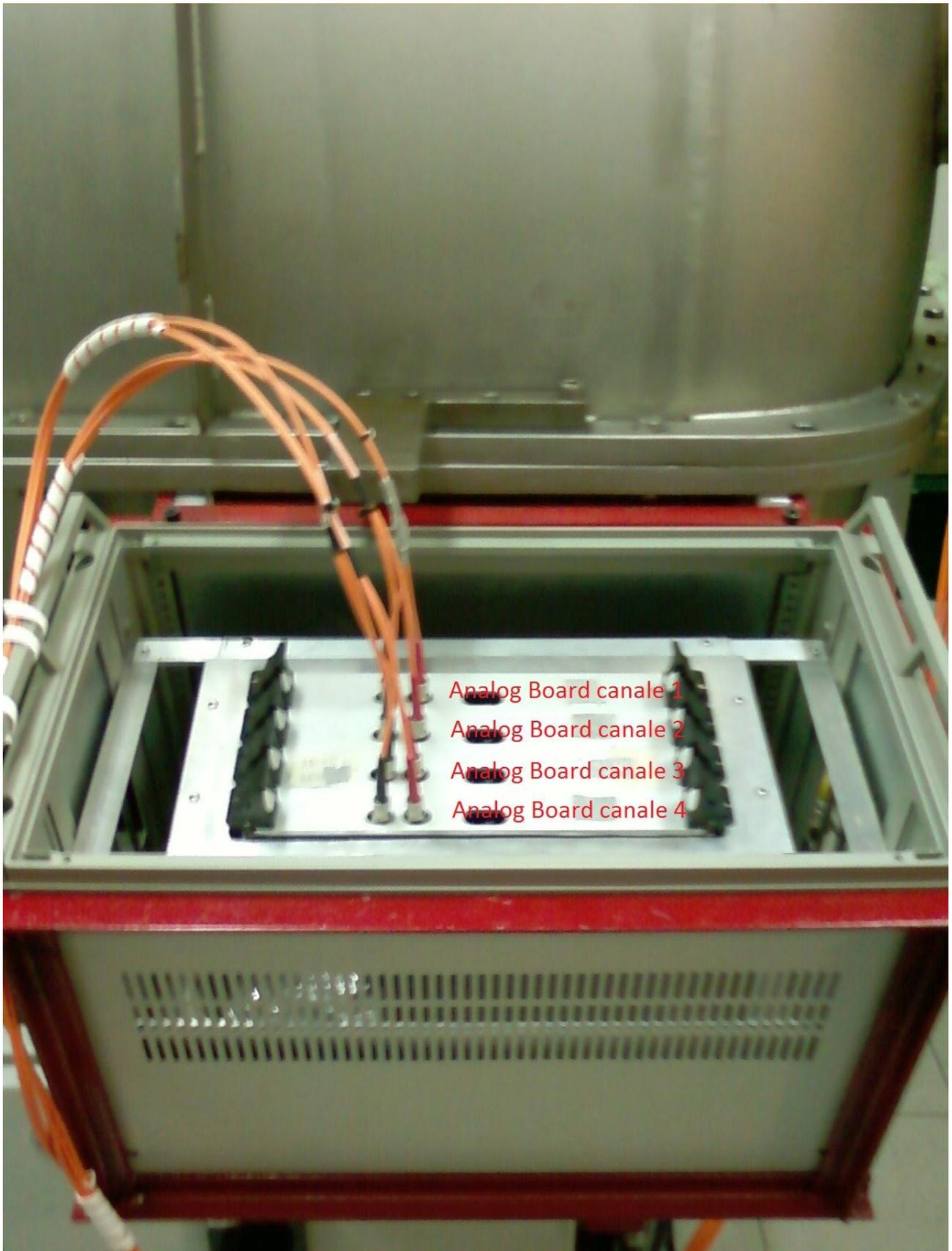
Tavola2 : alimentazioni

Tensione	08.00	09.00	12.00	06.00
Corrente massima	1.000	2.400	1.500	0.500
Corrente tipica	0.580	0.810	0.670	0.330

Queste impostazioni possono essere modificate manualmente, tenendo presente che per definire il limite massimo di corrente la tensione deve essere disabilitata in uscita: solo in quel caso il display visualizza il valore che si vuole impostare; se la tensione è abilitata, il parametro visualizzato è la misura della corrente che in quel momento viene assorbita.

La figura 3 mostra il rack che contiene i 4 circuiti stampati che svolgono la funzione di controllo e acquisizione del segnale generato dai quadranti del sensore infrarosso. Ogni scheda gestisce un canale e scambia i dati con i circuiti di interfaccia attraverso il cavo in fibra ottica ( cavo arancione). Come già accennato, le schede ricevono delle tensioni preregolate e con queste si ricavano le tensioni per il proprio funzionamento e per il funzionamento delle parti elettroniche che lavorano a temperature criogeniche. Ogni canale di acquisizione è indipendente dal punto de vista delle masse e delle alimentazioni, l'unico punto in cui le masse dei quattro canali sono collegate insieme è in prossimità del sensore, sulla scheda criogenica. La posizione dei circuiti è molto vicina al punto di uscita dei cablaggi dal dewar, in modo che la lunghezza di questi sia la più corta possibile, per minimizzare la sensibilità al pick-up elettromagnetico.

Figura 3 : rack dewar con l'elettronica di acquisizione e controllo



Iniziamo la descrizione seguendo il percorso del segnale generato dal sensore infrarosso: dentro il Dewar troviamo la Cryogenic Board e quattro piccole schede denominate AMPL, tutti questi circuiti lavorano a stretto contatto con il sensore e alla temperatura dell'azoto liquido. La Cryogenic Board fornisce il supporto meccanico al sensore HAWAII2 e ne garantisce il contatto termico con il "dito freddo"; ospita una certa quantità di componenti passivi, necessari per filtrare i segnali in ingresso, e quattro piccoli circuiti stampati che contengono gli amplificatori a basso rumore (indicati col nome AMPL). Questi ultimi sono montati sul lato opposto del sensore, il lato saldature del circuito stampato, in modo da schermare l'eventuale emissione dovuta al riscaldamento degli amplificatori quando sono in funzione. Ogni schedina AMPL contiene una coppia di amplificatori operazionali di tipo DiFET (Dielectrically insulated Field Effect Transistor), racchiusi nello stesso dispositivo AD8620<sup>2</sup>, tali amplificatori sono collegati tra loro in modo da formare un amplificatore differenziale. Ogni amplificatore amplifica la differenza (da cui il nome differenziale) tra il segnale in uscita dal quadrante del sensore e una tensione di riferimento programmabile, il risultato è una coppia di segnali bilanciati di segno opposto, che arrivano alla scheda Analog Board corrispondente. Il collegamento tra gli amplificatori e le Analog Board è realizzato tramite quattro cablaggi, uno per ogni canale di acquisizione. Questa struttura di collegamenti ha un punto in comune, la Cryogenic Board che risulta essere per questo motivo il "centro stella" dei collegamenti di massa, in ogni altra parte del sistema le masse sono separate.

La coppia di segnali differenziali arriva alla Analog Board e per prima cosa incontra un filtro differenziale passa basso del secondo ordine, che rimuove le componenti in alta frequenza (tipicamente rumore) e previene l'aliasing. Successivamente un convertitore analogico digitale di ultima generazione converte la differenza tra i segnali in un dato numerico, in base ad un fattore di scala regolabile: le impostazioni di default sono fondo scala 4.6 Volt per tutte le schede.

L'acquisizione del segnale generato dal quadrante del sensore infrarosso è sotto il controllo di un componente programmabile FPGA, da cui dipendono tutti i segnali necessari per la gestione del quadrante stesso, sia che si tratti di segnali costanti nel tempo, come le alimentazioni e le tensioni

---

<sup>2</sup> Rapporto interno [5/2006](#) Caratterizzazione criogenica degli amplificatori operazionali OPA627, AD8620 e AD8655 V Biliotti, M. González, I. Mochi

di riferimento, sia che si tratti di segnali variabili, come i clock di lettura. In particolare i clock di lettura sono generati per mezzo di una logica formata da una memoria di programma, un program counter e una macchina di stati digitale che si comporta come un processore RISC per la generazione di sequenze di segnali. Tale processore, che chiameremo Sequencer Processor sulla base di poche istruzioni e dei parametri ad esse associati, genera tutte le sequenze dei clock necessarie per gestire il quadrante del sensore in tutte le fasi operative: lettura, misura e reset, combinate fra loro a formare programmi di acquisizione anche complessi.

I dati ottenuti dalla conversione dei pixel vengono raccolti dal componente programmabile FPGA, processati e successivamente inviati verso la Interface Board. Lo scambio di dati e comandi tra le schede Analog Board e la Interface Board avviene attraverso un link ottico con un protocollo dedicato.

La Interface Board riceve i dati dei pixel dalle quattro schede Analog Board, gli scrive temporaneamente sui quattro banchi di memoria e gli trasferisce al PC104. Ogni banco di memoria contiene l'immagine campionata da un quadrante, sulla stessa scheda ci sono quattro banchi di memoria, uno per ogni canale del sistema di acquisizione. Come accennato la gestione delle memorie è di tipo FIFO: dal punto di vista operativo il PC104 può leggere i dati di un quadrante, mentre contemporaneamente avviene la scrittura dei dati ricevuti. Tutto ciò è gestito e controllato da un componente programmabile FPGA, il quale garantisce che tutte queste operazioni avvengano in modo virtualmente contemporaneo fra loro. In pratica la gestione di tipo FIFO permette che il PC104 vada a leggere i dati campionati in modo assolutamente asincrono rispetto alle temporizzazioni di scrittura. Questo fatto implica che si possa creare un accumulo di dati in memoria, specialmente in circostanze nelle quali i tempi di integrazione sul sensore sono minimi e la frequenza di campionamento dei pixel è elevata, oppure semplicemente perché il PC104 legge i dati di un quadrante, mentre alla Interface Board arrivano i dati di tutti i quadranti: quadranti che vengono letti di seguito vengono temporaneamente memorizzati. Per questo motivo la memoria è stata dimensionata in modo da poter contenere 4 immagini.

Oltre alla gestione della memoria il componente programmabile gestisce il link seriale a fibra ottica, per mezzo del quale avviene lo scambio dei dati e dei comandi da e verso le schede Analog Board. Il componente programmabile FPGA decodifica ed interpreta i comandi del PC104 e li invia

a destinazione. La trasmissione dei comandi può essere individuale, che riguarda cioè una sola delle Analog Board, oppure può essere broadcast, in tal caso viene inviato a tutte le schede contemporaneamente: il comando di inizio scansione del quadrante è un esempio di comando che può essere sia broadcast che individuale, nel primo caso la scansione parte sui quattro quadranti nello stesso istante, nel secondo caso l'acquisizione avviene solo sul quadrante che riceve il comando.

Grazie all'elevata scala di integrazione dei componenti programmabili è stato possibile implementare a bordo tutta una serie di funzioni di test specifiche. In dettaglio, una parte non trascurabile delle risorse logiche dei componenti programmabili è stata configurata per controllare (e segnalare) in tempo reale il corretto funzionamento del sistema. Tale meccanismo opera senza interferire con le normali funzioni operative del sistema, ma non arriva ad un grado di copertura elevato. Un'altra parte non trascurabile di risorse logiche è dedicata e programmata per eseguire dei test (off-line) che permettono di arrivare ad un grado di copertura guasti quasi totale, queste funzioni interagiscono molto con le risorse hardware e, di conseguenza, è esclusa la possibilità che possano avvenire contemporaneamente alle misure. In ogni caso, sia i test on-line che quelli off-line permettono di individuare rapidamente la parte elettronica (gruppo di componenti o singolo), che non funziona correttamente.