

INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Progetto Giano

**Test dell'elettronica e
misure di stabilità a lungo termine**

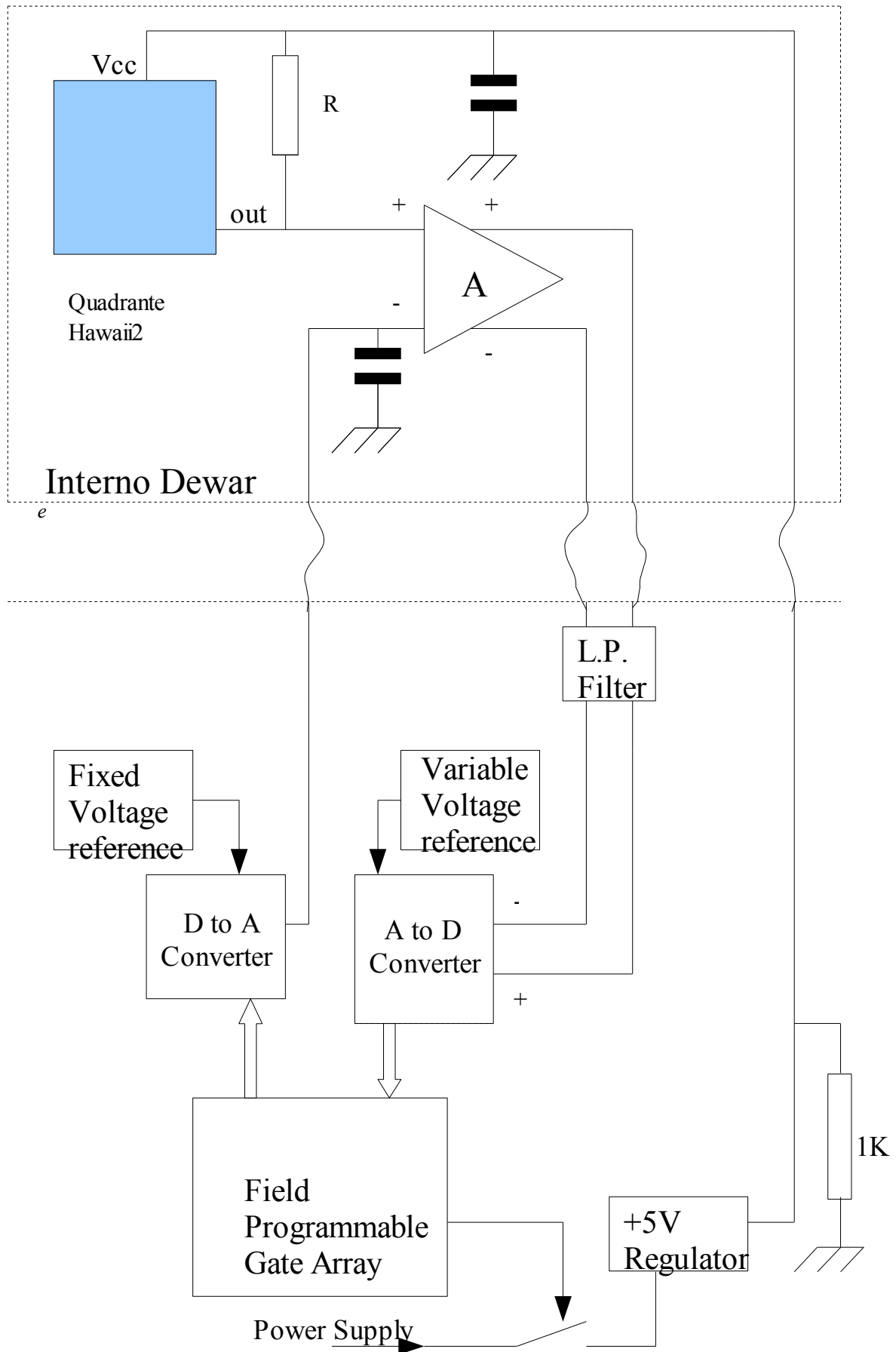
Biliotti Valdemaro, Baffa Carlo, Falcini Gilberto,
Giani Elisabetta, Oliva Ernesto, Origlia Livia, Tozzi Andrea, Sozzi Mauro

Rapporto tecnico dell'Osservatorio di Arcetri N° 18/2010.

Sommario

Questo rapporto descrive alcuni test eseguiti sull'elettronica di GIANO e le sue prestazioni misurate. Le misure sono state eseguite a temperatura criogenica costante, durante un ciclo di raffreddamento effettuato usando il multiplexer al posto del sensore. Il nostro scopo era quello di valutare la stabilità dell'elettronica nell'arco di tempo corrispondente ad una nottata osservativa al telescopio. La presenza del multiplexer al posto del sensore HAWAII2 non pregiudica i risultati delle misure stesse, in quanto le misure si riferiscono all'elettronica che lavora "a sensore spento", e in condizioni operative reali. Altre misure sono state fatte per valutare la sensibilità dell'elettronica alle interferenze, in special modo rispetto alla tensione di rete (pick-up a 50Hz); queste misure sono state fatte sia a temperatura criogenica (con il Dewar chiuso), sia a temperatura ambiente (con il Dewar aperto), in entrambi i casi non si evidenziano fenomeni di disturbo, che rimangono sotto la soglia del misurabile. Infine sono state eseguite misure di cross-talk tra canali e la calibrazione, i risultati di queste misure, sebbene siano state fatte a temperature ambiente, sono comunque consistenti con quelli ottenuti a temperature criogeniche, perché le caratteristiche dell'amplificatore differenziale e della catena di acquisizione non cambiano in modo significativo. In particolare anche per quanto riguarda il cross-talk tra i canali abbiamo verificato che, se presente, è comunque inferiore alla risoluzione del convertitore.

Figura 1, Schema di principio dell'elettronica sotto esame



Descrizione del sistema di acquisizione

La figura 1 riporta lo schema dell'elettronica analogica interessata al test. Riportiamo solo lo schema di principio, e non tutto lo schema elettrico del progetto originale come fatto con il CAD, perché questo avrebbe richiesto coinvolgere parti di tre schemi elettrici. Per una più immediata comprensione abbiamo scelto di rappresentarlo con una sintesi che raccoglie in una sola pagina tutti gli elementi importanti, ovvero tutti i dispositivi che hanno o possono avere una certa influenza sulle prestazioni misurate nei test. Mostriamo sia le parti che stanno dentro il Dewar (racchiuse in un rettangolo tratteggiato) e che funzionano alla temperatura dell'azoto liquido, sia le parti che lavorano a temperatura ambiente.

Lo schema rappresenta un quarto del sistema elettronico di acquisizione, il quale è formato da quattro moduli identici e completamente indipendenti fra di loro, ognuno dei quali è dedicato alla gestione e all'acquisizione del segnale generato da uno dei quattro quadranti componenti il sensore HAWAII2. In alto a destra della figura è rappresentato il quadrante del sensore con la sua resistenza R (valore 200KOhm) di pull-up verso la tensione di alimentazione. L'alimentazione (V_{cc}) del quadrante è fornita da un regolatore che accende o spegne il quadrante sotto il controllo della Field Programmable Gate Array (da ora in avanti FPGA); questa è una caratteristica di progetto dell'elettronica di Giano che permette di fare delle acquisizioni con il “sensore spento”. A prima vista ciò può sembrare un inutile esercizio tecnico; in realtà la possibilità di effettuare acquisizioni sulla resistenza da 200 KOhm senza l'alimentazione, e perciò “richiusa verso massa” permette di misurare (in condizioni operative reali), eventuali interferenze, il rumore dei dispositivi elettronici e, come vedremo più avanti, la stabilità a lungo termine di tutta la catena di acquisizione. All'uscita del quadrante abbiamo l'ingresso di un amplificatore differenziale (A), che è composto da due amplificatori operazionali AD8620 (¹). L'amplificatore A esegue la differenza tra il segnale in uscita dal quadrante e una tensione di offset, generata dall'elettronica esterna al Dewar, amplifica la differenza tra i due segnali e genera a sua volta una coppia di segnali: uno che corrisponde alla differenza moltiplicata per il guadagno, l'altro che corrisponde alla differenza moltiplicata per il guadagno ma cambiata di segno. Questi due segnali, che sono esattamente l'uno l'inverso dell'altro, vengono portati all'esterno su una linea bilanciata, e applicati prima ad un filtro passa basso (L.P.F. Adattato ad un campionamento di 100.000 campioni al secondo) e poi agli ingressi differenziali di un convertitore analogico digitale a 18 bit (AD7674). Questo convertitore esegue la conversione della differenza tra i due segnali rispetto ad una tensione di fondo scala regolabile, il che permette di variare il guadagno della catena amplificatore convertitore. I dati convertiti vengono letti dalla

¹ vedi rapporto interno [5/2006](#) Caratterizzazione criogenica degli amplificatori operazionali OPA627, AD8620 e AD8655 *V Biliotti, M. González, I. Mochi*

FPGA ed inviati verso il computer di controllo. In senso contrario e sempre attraverso la FPGA, il computer di controllo può determinare il valore della tensione di offset, che viene sottratta al segnale del quadrante.

Questa in estrema sintesi è la descrizione dell'elettronica di acquisizione, la parte scambio dati con il computer è in realtà molto più complessa e sarà descritta in un rapporto a parte, ma ai fini delle misure oggetto di questo rapporto, il protocollo e la logica che si occupa dello scambio dati con il computer di controllo sono ininfluenti. Va detto invece che i filtri passa basso dei quattro canali sono diversi tra loro: essendo nella fase prototipo stiamo valutando le diverse caratteristiche, in attesa di scegliere quello definitivo da adattare al sensore di grado scientifico.

Da un esame dello schema descritto, appare chiaro che dispositivi come i Voltage Reference, i convertitori e l'amplificatore, possono contribuire a determinare delle piccole fluttuazioni di tensione, dovute per esempio a variazioni della temperatura, e più in generale riconducibili a quello che viene comunemente chiamato "rumore $1/f$ ".

Lo scopo di questo rapporto interno è dare, tra le altre, una misura precisa di queste fluttuazioni.

Per effettuare la misura abbiamo fatto delle acquisizioni senza fornire l'alimentazione al quadrante, e fornendo una tensione di offset pari a 114 millivolt. Questa non è una procedura particolare allestita per questa misura che può essere fatta solo da "addetti ai lavori" durante i test di laboratorio, o in circostanze specifiche, è il comando "Noise Test" che fa parte integrante delle utility di Giano e potrà essere eseguito da chiunque in futuro anche (e soprattutto) al telescopio, per valutare le prestazioni del sistema.

Quando l'elettronica esegue il Noise Test, il convertitore digitale analogico viene programmato con il valore 1500 e lo converte in una tensione pari a 114 millivolt, la quale diventa uno dei due segnali in ingresso all'amplificatore A. L'altro segnale è solo il rumore elettronico generato dalla resistenza R (200KOhm) alla temperatura di 80°K, tale resistenza si trova connessa verso massa attraverso la capacità di filtro sulla tensione di alimentazione e la resistenza 1K (1KOhm) posta sull'uscita del regolatore, che rimane spento perché non abilitato dalla FPGA. Per quanto riguarda l'acquisizione, il convertitore lavora con le stesse modalità e temporizzazioni usate per convertire il segnale generato dal quadrante, in altre parole la conversione viene effettuata con la stessa sequenza di segnali usati per fare l'acquisizione di una immagine in condizioni operative standard, perciò il risultato visivo che si ottiene è comunque una immagine bidimensionale, in cui però il valore dei pixel è dato dalla differenza amplificata tra una tensione fissa (l'offset) e la tensione di rumore generata dalla resistenza di pull-up. L'immagine acquisita può essere pertanto ottenuta da singola acquisizione, o doppia (double-correlated) e in tal caso si tratta della differenza tra due immagini prese ad un intervallo programmato (il tempo di integrazione).

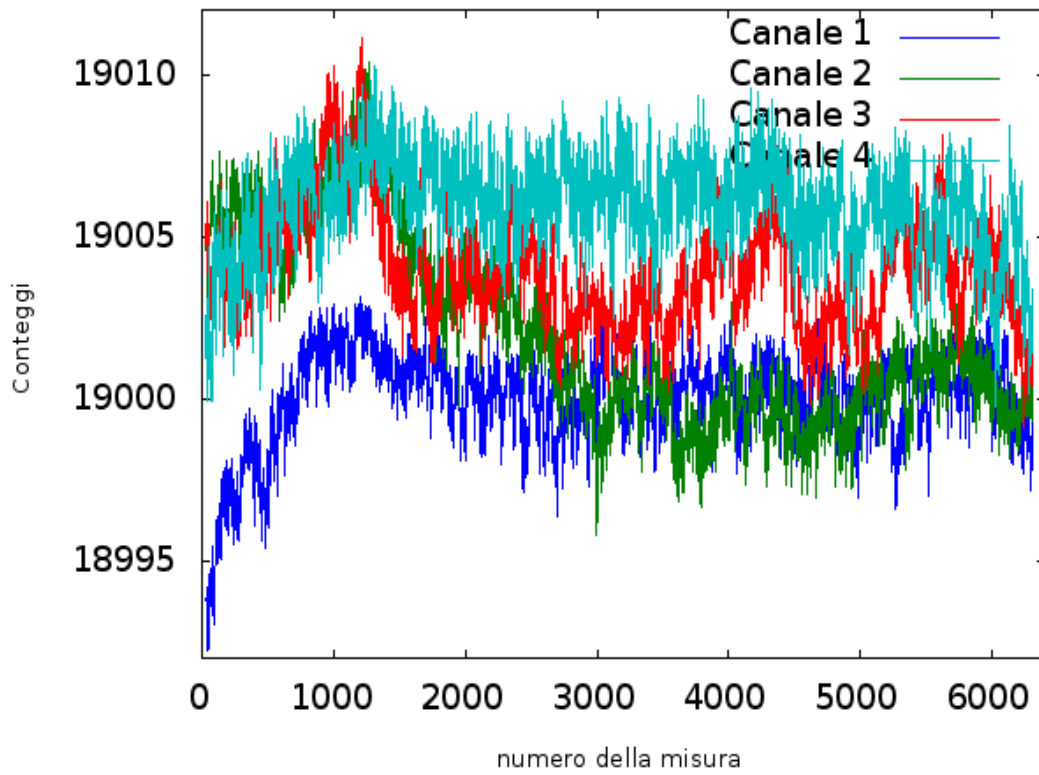
La deviazione standard dei valori dell'immagine così ottenuta è data dal rumore della resistenza

da 200 KOhm, e dal rumore della catena di acquisizione; la media dei valori dell'immagine è data dal valore della tensione di offset a cui si sommano le fluttuazioni casuali $1/f$, che sono l'oggetto delle nostre misure.

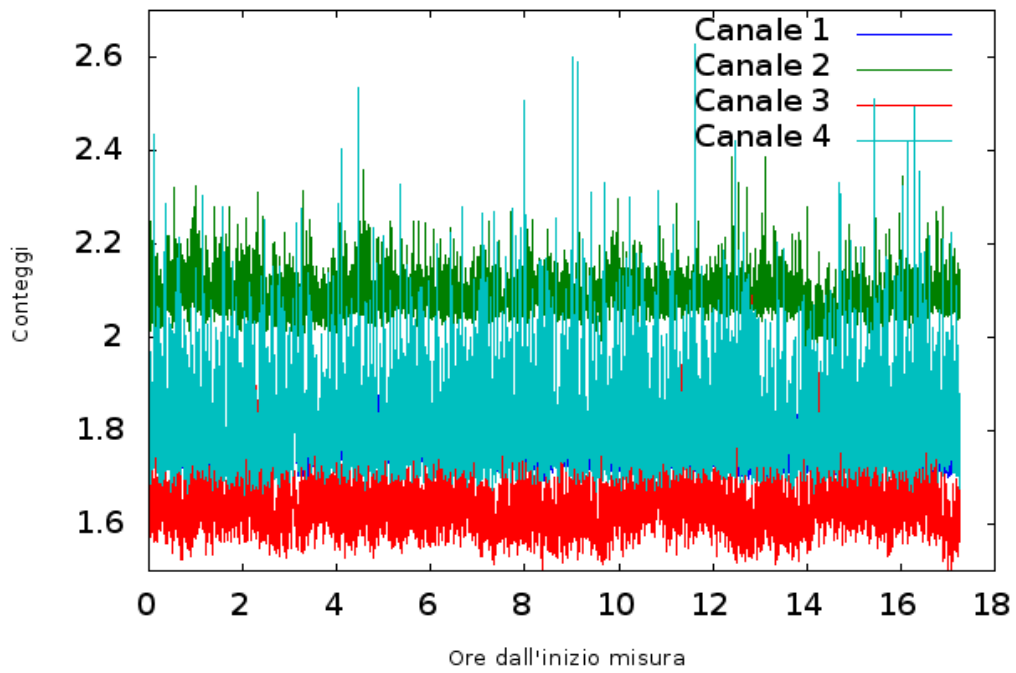
Abbiamo raccolto i dati media e deviazione standard dei valori delle immagini campionando i pixel con un periodo di 9.3 micro secondi e singola acquisizione, essendo l'immagine di ogni quadrante formata da 1024 pixel, più 16 extra pixel disposti su 1024 righe, l'intervallo di tempo richiesto per la conversione completa è 9.9 secondi circa. Dopo un decimo di secondo l'acquisizione è stata ripetuta, perciò le immagini sono state prese ad intervalli di 10 secondi l'una dall'altra, per il periodo di tempo necessario a completare 6000 acquisizioni, pari a circa 17 ore continuative; il tutto è stato ripetuto per tre volte, da circa le 16:00 a circa le 9:00 del giorno successivo

Diamo di seguito i grafici per la prima delle acquisizioni. Riportiamo in ordine: i valori delle medie, i valori delle standard deviation dei singoli quadranti che includono il rumore generato della resistenza da 200 KOhm, e la trasformata di Fourier di un sotto campione delle medie. Riguardo alla standard deviation va detto che le differenze tra i canali dipendono sostanzialmente dai filtri passa basso, che, come abbiamo accennato, sono leggermente diversi tra loro. L'ultimo grafico mostra l'andamento della temperatura della stanza insieme ai valori misurati per le medie del canale 1, si può notare che dopo tre ore dall'inizio delle misure la temperatura del laboratorio è aumentata, probabilmente per il fatto che la porta del laboratorio è stata chiusa, e si è stabilizzata a circa 302°K, dalla quarta ora di misura le fluttuazioni delle medie sono rimaste comprese entro i 5-6 conteggi picco picco fino al termine delle acquisizioni, mentre in un intervallo di tempo più piccolo, diciamo dell'ordine delle decine di minuti, il le medie dei valori delle immagini rimangono entro 2 o 3 conteggi picco picco.

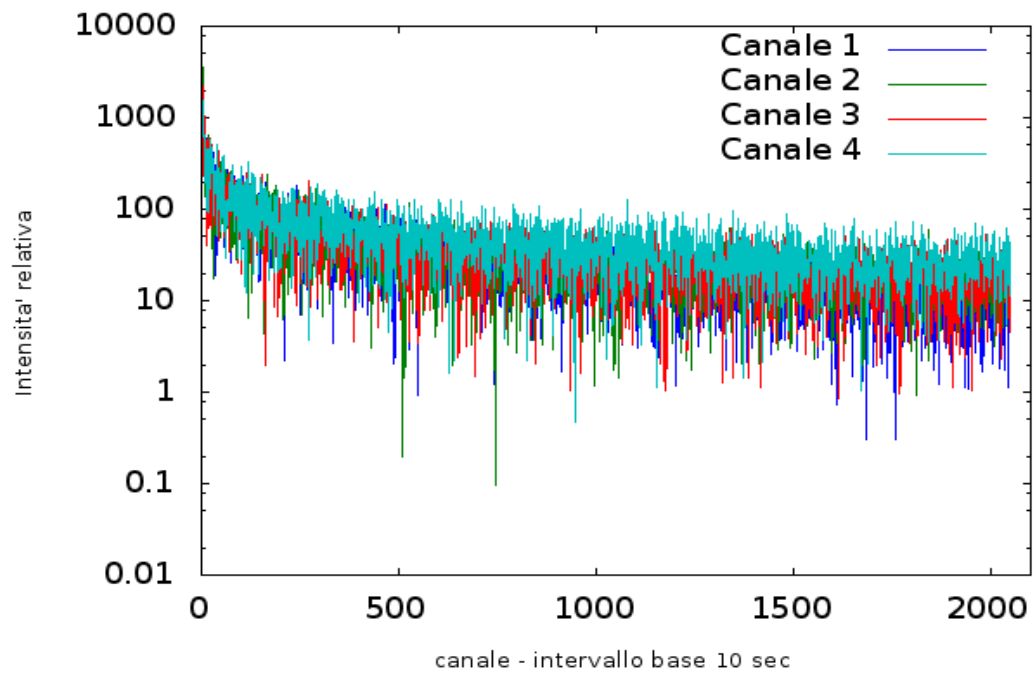
Dati 20101006 - media delle misure



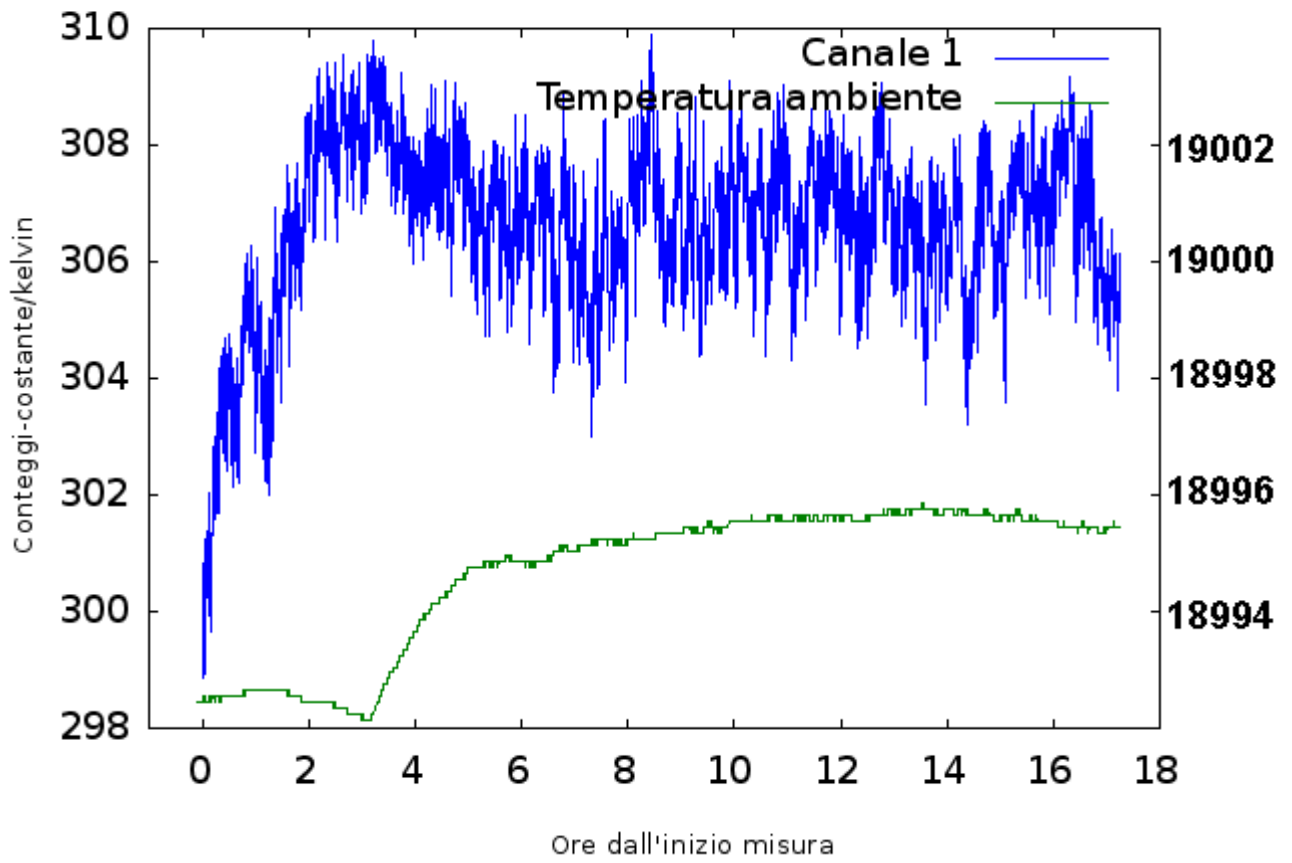
20101006 std delle misure



Dati 20101006 - Fft dei valori medi sui quadranti



Dati 20101006 - media verso temperatura



Calibrazioni

Una volta aperto il Dewar abbiamo fatto la calibrazione dei quattro canali di acquisizione, come detto in precedenza ogni convertitore analogico digitale ha una tensione di riferimento che può essere regolata per aggiustare il guadagno (fattore di scala) della catena di acquisizione. Nel nostro caso non avevamo fatto nessuna regolazione a priori, perciò è stata verificata.

Prima di procedere va detto che nel rapporto interno (1) avevamo verificato che le caratteristiche degli amplificatori AD8620 alla temperatura dell'azoto liquido si erano mantenute, in particolare il guadagno a loop aperto e la risposta in frequenza erano (entro una piccola percentuale di errore) quelle a temperatura ambiente. Se il guadagno a loop aperto degli amplificatori non cambia di ordini di grandezza, il guadagno differenziale a loop chiuso (circa 9) dipende sostanzialmente dal rapporto tra valori di resistenze, perciò il guadagno a 300°K con il Dewar aperto equivale a quello che l'amplificatore ha a 78°K.

Per la calibrazione abbiamo usato un generatore di funzioni AGILENT 33220A, collegato come nella figura al posto del quadrante del sensore. Abbiamo impostato una onda quadra con ampiezza 20 mVolt picco picco e frequenza 10 mHertz. Campionando con 10 secondi ad immagine abbiamo ottenuto 5 immagini con il segnale a -10 mVolt e 5 immagini con il segnale a + 10 mVolt. La differenza tra i valori medi delle immagini campionate con il segnale a + 10 mVolt e i valori medi delle immagini campionate con il segnale a -10 mVolt dà come risultato il fattore di scala (Volt/conteggio) cercato. Nella seguente tabella sono riportate le medie dei valori medi di ogni gruppo di 5 immagini, la differenza dei conteggi corrispondente a 20 mVolt, e il fattore di conversione.

Valore medio con +10mV	Valore medio con -10mV	Differenza con 20mV	Fattore di conversione uVolt/Conteggio
CH1 => 33796	31609	2187	9.1/ADU
CH2 => 33056	30814	2242	8.9/ADU
CH3 => 34172	31773	2399	8.3/ADU
CH4 => 33670	31375	2242	8.7/ADU

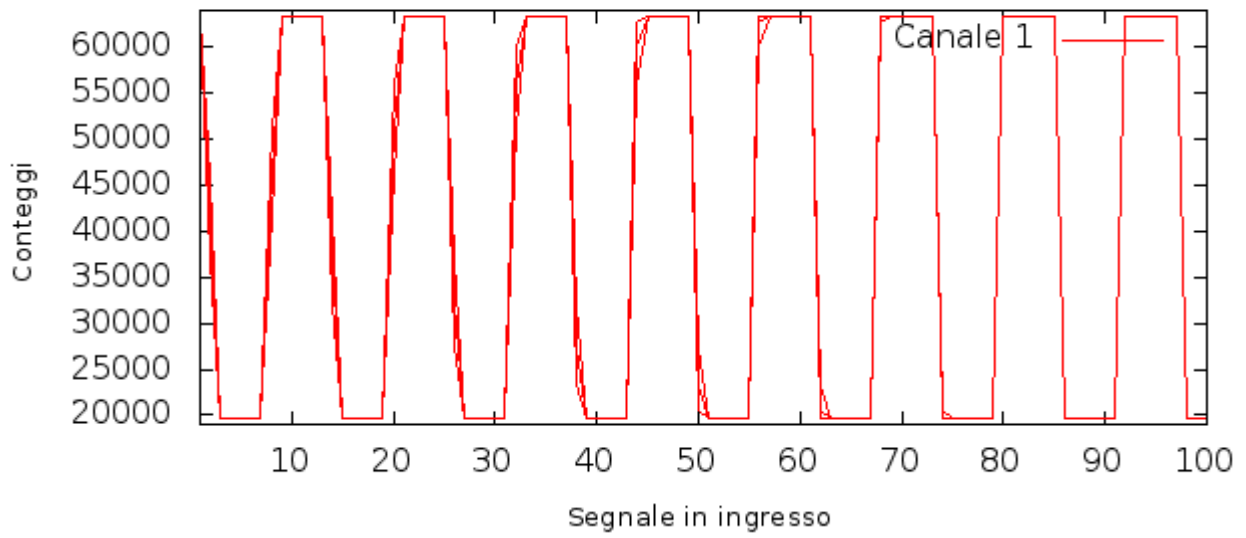
Ovviamente il fattore di scala è diverso tra i canali, a conferma che nessuna regolazione era stata fatta prima e durante le misure.

Misure di cross-talk

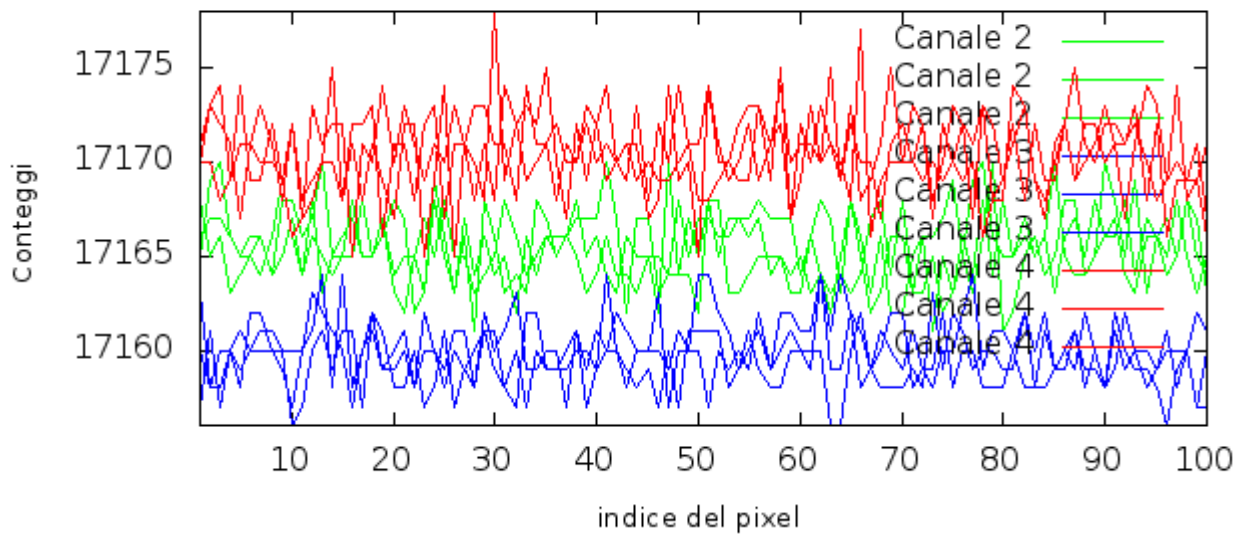
Usando lo stesso generatore di funzioni e la stessa configurazione dei circuiti elettronici, abbiamo fatto anche delle misure di cross-talk tra i canali di acquisizione, l'obiettivo era misurare se e quanto ogni catena di acquisizione risente del segnale che attraversa le altre. Abbiamo perciò fatto delle acquisizioni su tutti a canali contemporaneamente, con una onda quadra pari a 400 mVolt picco picco e frequenza circa 10KHz applicata al solo canale 1, mentre gli altri acquisivano solo il rumore generato dalla resistenza da 200KOhm, meno la tensione di offset. Una situazione ostile e rappresentativa per l'elettronica: 45000 conteggi rappresentano circa 90000 elettroni generati dal sensore HAWAII2.

Di seguito riportiamo i grafici delle acquisizioni che mostrano i valori dei primi 100 campioni per i quattro canali, e il grafico della Fast Fourier Transform dei primi 500 campioni. Sia nel dominio del tempo che nel dominio della frequenza, il livello di cross talk non è misurabile, nel senso che, se presente, il rapporto tra il segnale ed il cross talk è più alto della dinamica del convertitore (16 bit), o che la frazione di segnale “raccolto” è inferiore al livello rappresentato dal bit meno significativo, cioè inferiore al rapporto $400\text{mVolt}/45000$, ovvero inferiore a 9 uVolt.

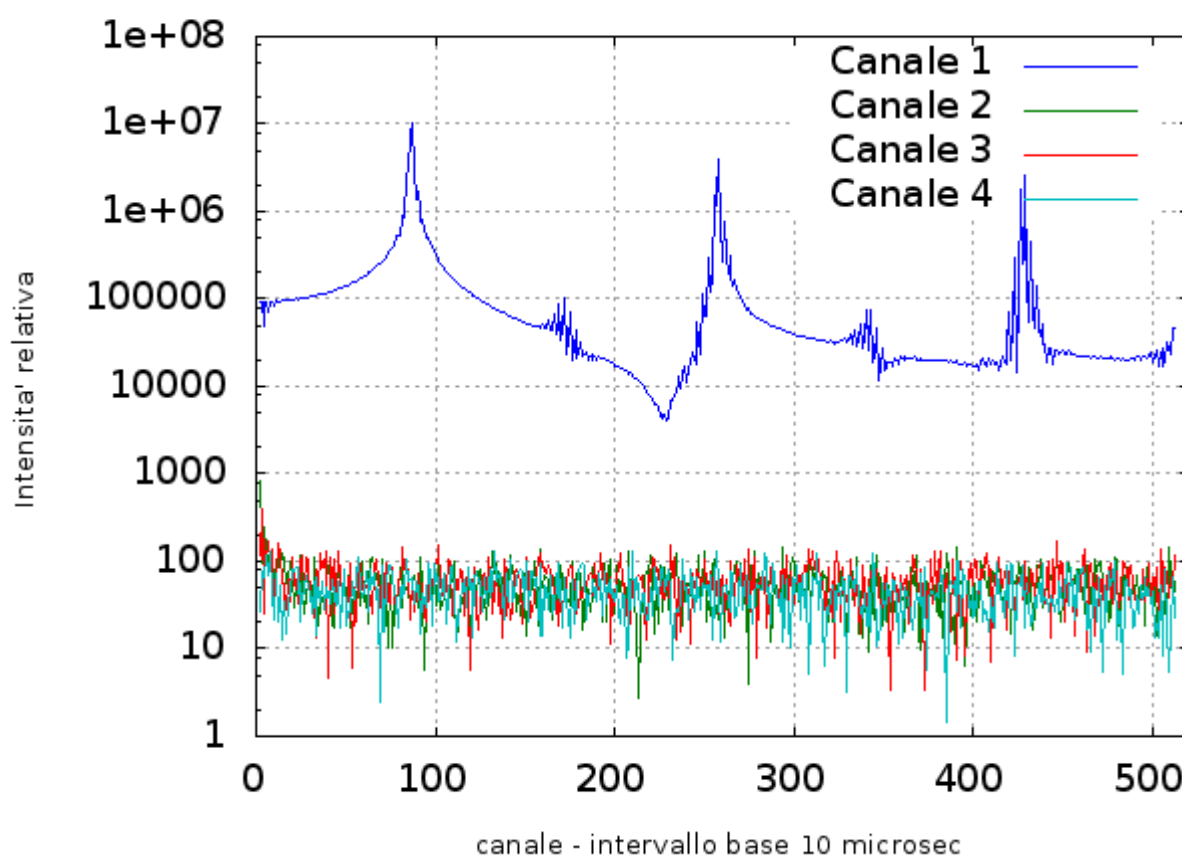
20101020 Analisi del cross talk



Canali senza ingresso



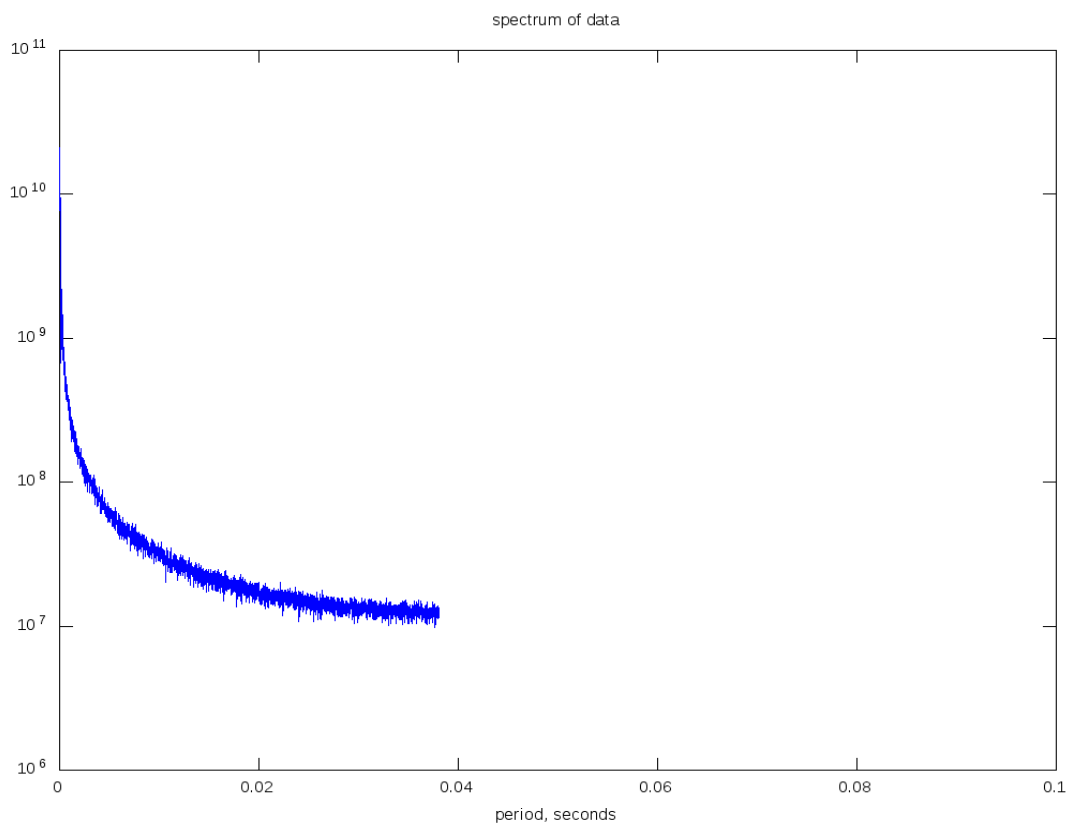
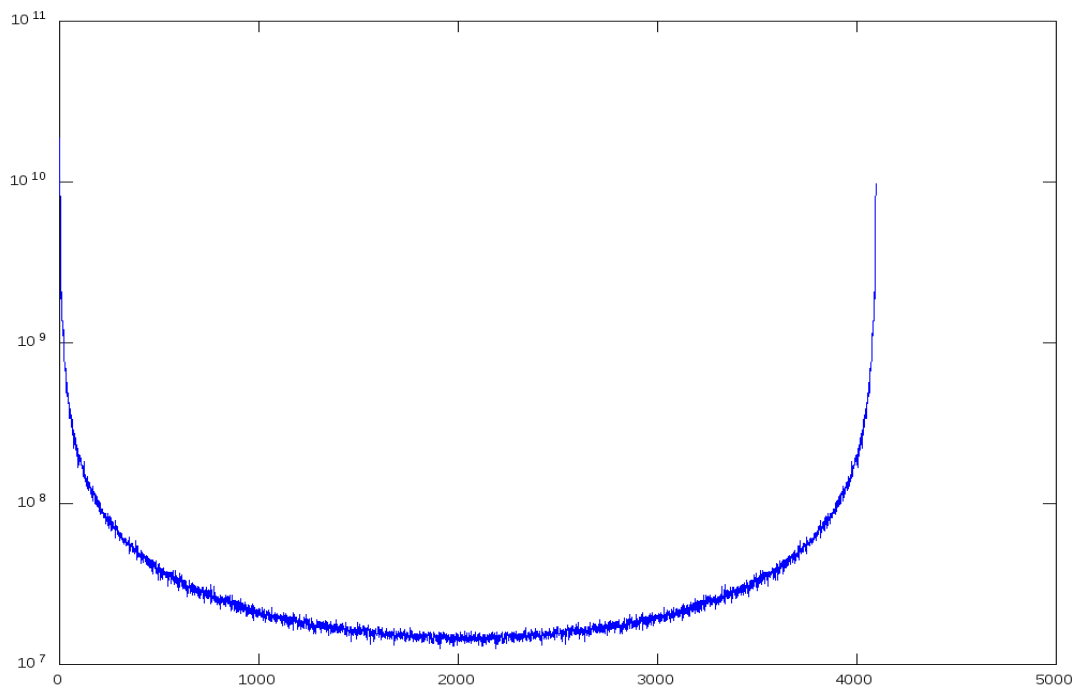
Dati 20101006 - Fft dei valori dei pixel sui quadranti



Nella figura si notano le prime tre armoniche dell'onda quadra (filtrata) per il canale 1, nella parte alta, mentre in basso lo spettro in frequenza del segnale campionato dagli altri canali, si può notare che la distribuzione è omogenea, tipica del rumore “bianco”, e senza picchi in corrispondenza delle armoniche sul canale 1.

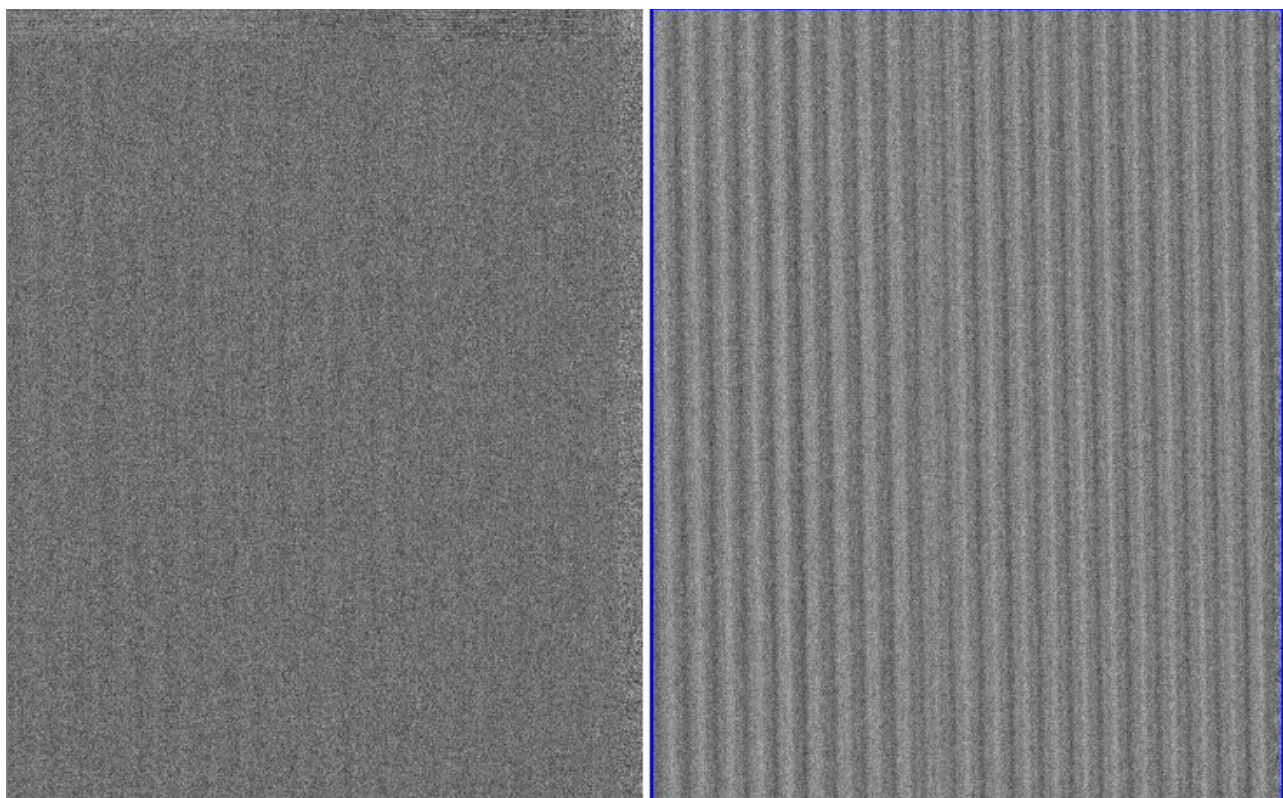
Infine, nella figura seguente riportiamo lo spettro di 4000 campioni del segnale, corrispondenti a quattro righe adiacenti nell'immagine; essendo il periodo di campionamento pari a 9,3 microsecondi, lo spettro rappresenta l'intervallo di frequenze compreso tra 50KHz e 26 Hz circa.

Nella figura successiva mostriamo lo spettro ottenuto con otto righe, e dunque più di 8000 campioni a 9.3 microsecondi. In entrambi i casi la distribuzione è regolare, non emergono righe, questo conferma che il canale di acquisizione non è stato influenzato dalla tensione della rete elettrica e più in generale da disturbi esterni.



Discussione dei risultati

I test effettuati confermano che amplificare il segnale vicino al sensore che lo genera e poi inviarlo in modo bilanciato e differenziale è la migliore strategia per minimizzare la sensibilità ai disturbi esterni. Un sistema di acquisizione per un sensore infrarosso è un classico esempio per il quale il sistema di acquisizione è distante dalla sorgente del segnale: il primo lavora a temperatura ambiente e fuori dal Dewar, mentre il sensore sta dentro, sotto vuoto e alla temperatura dell'azoto liquido, in mezzo a loro vari connettori e qualche metro di cavi. Aver trovato amplificatori operazionali (nel nostro caso abbiamo scelto lo AD8620) capaci di funzionare alle temperature criogeniche, ci ha dato la possibilità di implementare la soluzione ottimale: un amplificatore differenziale con uscita bilanciata. Lo spettro del rumore acquisito in condizioni operative conferma che è stata una scelta azzeccata. A conferma di quanto detto riportiamo l'immagine del canale 1 acquisita durante la fase del riscaldamento dello spettrometro, immagine double correlated (il sistema ha acquisito due volte e fatto la differenza) del rumore generato dalla resistenza da 200KOhm, mentre i riscaldatori interni al Dewar erano alimentati con 220 Volt (sulla destra). E per confronto la stessa immagine, sempre con il doppio campionamento correlato, ma acquisita con i riscaldatori spenti (immagine a sinistra) del canale 1, rivelatosi il più sensibile al disturbo. Le immagini sono ottenute con DS9 nella scala 2 a 1, perché con questo livello di zoom il software effettua una decimazione dei pixel che evidenzia meglio l'effetto, con altri livelli di zoom l'ondulazione è praticamente impercettibile.



Riportiamo anche i valori numerici delle medie e delle standard deviation delle immagini, così come sono presentati dal software di acquisizione:

Msg-1: Acquired group = 1

Msg1: Integrating.....

Msg1: handle_image_acquisition: First read

Msg1: Read number 1 lettura 1 (nready = 1)

Msg2: Image read completed in 6.8054 sec (1.24408e+06 bytes/sec)!

Msg1: Read number 1 lettura 2 (nready = 1) at time Wed Dec 1 08:41:28 2010

Msg2: C1 - Quad 3 Mean = 500.8323 , Std = 1.628467

Msg2: C2 - Quad 2 Mean = 501.7664 , Std = 2.03418

Msg2: C3 - Quad 1 Mean = 505.5084 , Std = 3.232344

Msg2: C4 - Quad 4 Mean = 500.5226 , Std = 2.214747

Msg2: Image read completed in 7.07473 sec (1.19671e+06 bytes/sec)!

Msg-1: Acquired group = 2

Msg1: Integrating.....

Msg1: handle_image_acquisition: First read

Msg1: Read number 3 lettura 1 (nready = 1)

Msg2: Image read completed in 6.79507 sec (1.24597e+06 bytes/sec)!

Msg1: Read number 4 lettura 2 (nready = 1) at time Wed Dec 1 08:41:47 2010

Msg2: C1 - Quad 3 Mean = 500.0925 , Std = 1.580718

Msg2: C2 - Quad 2 Mean = 500.4005 , Std = 2.030837

Msg2: C3 - Quad 1 Mean = 501.8959 , Std = 2.820476

Msg2: C4 - Quad 4 Mean = 500.82 , Std = 2.189728

Msg2: Image read completed in 7.07793 sec (1.19617e+06 bytes/sec)!

Msg-1: Acquired group = 3

Msg1: Integrating.....

Msg1: handle_image_acquisition: First read

Msg1: Read number 5 lettura 1 (nready = 1)

Msg2: Image read completed in 6.79513 sec (1.24596e+06 bytes/sec)!

Msg1: Read number 6 lettura 2 (nready = 1) at time Wed Dec 1 08:42:06 2010

Msg2: C1 - Quad 3 Mean = 499.8896 , Std = 1.577886

Msg2: C2 - Quad 2 Mean = 500.1661 , Std = 2.058218

Msg2: C3 - Quad 1 Mean = 501.0247 , Std = 3.001043

Msg2: C4 - Quad 4 Mean = 500.4326 , Std = 2.157976

Msg2: Image read completed in 7.07265 sec (1.19707e+06 bytes/sec)!

Msg-1: Acquired group = 4

Msg1: Integrating.....

Msg1: handle_image_acquisition: First read

Msg1: Read number 7 lettura 1 (nready = 1)

Msg2: Image read completed in 6.80335 sec (1.24445e+06 bytes/sec)!

Msg1: Read number 8 lettura 2 (nready = 1) at time Wed Dec 1 08:42:26 2010

Msg2: C1 - Quad 3 Mean = 500.1465 , Std = 2.264155

Msg2: C2 - Quad 2 Mean = 500.0797 , Std = 2.020041

Msg2: C3 - Quad 1 Mean = 499.8821 , Std = 2.551704

Msg2: C4 - Quad 4 Mean = 499.997 , Std = 2.35346

Msg2: Image read completed in 7.0729 sec (1.19703e+06 bytes/sec)!

Msg-1: Acquired group = 5

Msg1: Integrating.....

Msg1: handle_image_acquisition: First read

Msg1: Read number 9 lettura 1 (nready = 1)

Msg2: Image read completed in 6.80183 sec (1.24473e+06 bytes/sec)!

Msg1: Read number 10 lettura 2 (nready = 1) at time Wed Dec 1 08:42:45 2010

Msg2: C1 - Quad 3 Mean = 499.981 , Std = 2.172253

Msg2: C2 - Quad 2 Mean = 499.9349 , Std = 2.044313

Msg2: C3 - Quad 1 Mean = 500.7609 , Std = 3.094894

Msg2: C4 - Quad 4 Mean = 499.6544 , Std = 2.318044

Msg2: Image read completed in 7.07287 sec (1.19703e+06 bytes/sec)!

Le prime tre acquisizioni sono state fatte con i riscaldatori spendi, le ultime due con i riscaldatori accesi, si può notare che mentre la deviazione standard (Std) dei canali C2 e C3 rimane praticamente stabile, per i canali C1 e C4 aumenta. Questo sicuramente può dipendere da due fattori: dalle caratteristiche dei filtri passa basso e dai cablaggi (ogni canale ha un cablaggio dedicato) necessari per trasportare i segnali da e verso il quadrante del sensore. Il cablaggio più vicino e o con il percorso parallelo a quello che alimenta i riscaldatori raccoglie più disturbo. E dall'altra parte se è vero tutti i filtri passa basso fanno passare ugualmente il disturbo a 50Hz, è anche vero che il suo contributo all'incremento della standard deviation è maggiore quando il rumore dell'elettronica è più basso (più filtrato) come nel canale 1. Infatti, mentre nel canale 1 l'incremento vale circa 0.6 conteggi, nel canale 4 l'incremento vale solo 0.2 conteggi, negli altri 2 canali non si apprezzano incrementi significativi.

La documentazione del sensore HAWAII2 lo descrive composto da un mosaico di quattro quadranti, che il produttore definisce indipendenti l'uno dall'altro, l'unico elemento in comune è la massa. Questa caratteristica ci ha spinti a progettare quattro canali di acquisizione completamente indipendenti tra di loro, ognuno dedicato ad un singolo quadrante. Tale architettura è in teoria intrinsecamente esente da cross talk, i risultati misurati lo dimostrano, ma impone che ci sia un metodo per riuscire a sincronizzare i quattro canali di acquisizione, in modo da farli lavorare perfettamente in fase tra loro. Questo metodo è stato pensato e implementato: verrà descritto nella documentazione dell'elettronica di un prossimo rapporto tecnico.

La misura della stabilità a lungo termine ha dato dei risultati, che danno una stima dell'errore che è ragionevole aspettarsi con tempi di integrazione molto lunghi. I 6 conteggi picco picco misurati corrispondono a 50 uVolt e sono da considerare come un valore limite, visto che si riferiscono ad un intervallo di acquisizione pari a circa 15 ore (vedi il grafico dalla seconda alla diciassettesima ora). Con tempi di integrazione dell'ordine della mezz'ora, o con acquisizioni multiple non distruttive di quella durata, l'errore si riduce a meno di 2 conteggi, che corrispondono a circa 17 uVolt.

Table of Contents

Sommario.....	3
Descrizione del sistema di test.....	5
Calibrazioni.....	10
Misure di Cross Talk.....	12
Discussione dei risultati.....	16