

# Elettronica di Acquisizione di GIANO

---

## Parte analogica a temperatura criogenica

**Valdemaro Biliotti**

**17/07/2012**

## Sommario

*Giano è uno spettrometro infrarosso ad alta risoluzione costruito attorno al sensore Hawaii2 PACE, 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 si adatta a questa caratteristica, essendo composta da quattro canali di acquisizione indipendenti, ognuno dei quali è dedicato alla gestione di un quadrante del sensore. Il disegno è perciò innovativo rispetto ai sistemi di acquisizione costruiti per gli strumenti precedenti. Ogni canale di acquisizione e controllo per il quadrante del sensore è formato da una parte che funziona a temperatura ambiente e una parte, cruciale per le prestazioni del sistema, che lavora alla temperatura dell'azoto liquido. Il presente rapporto descrive la parte analogica a temperatura criogenica dei canali che gestiscono i quadranti del sensore e ne amplificano il segnale generato. L'uso di componenti 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 al misurabile.*

Figura1 : Schema a blocchi

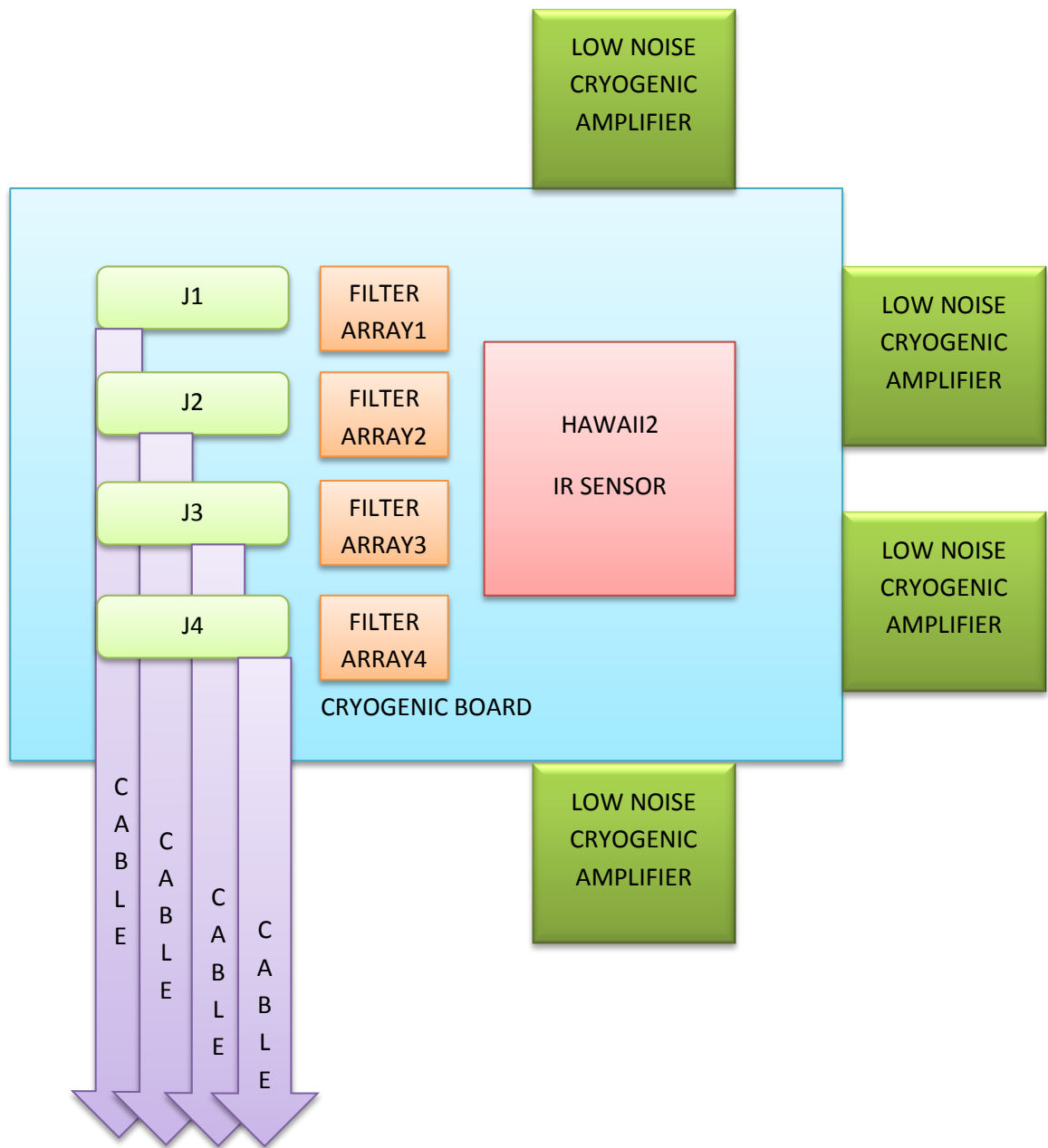


Figura 2: foto della scheda lato componenti.

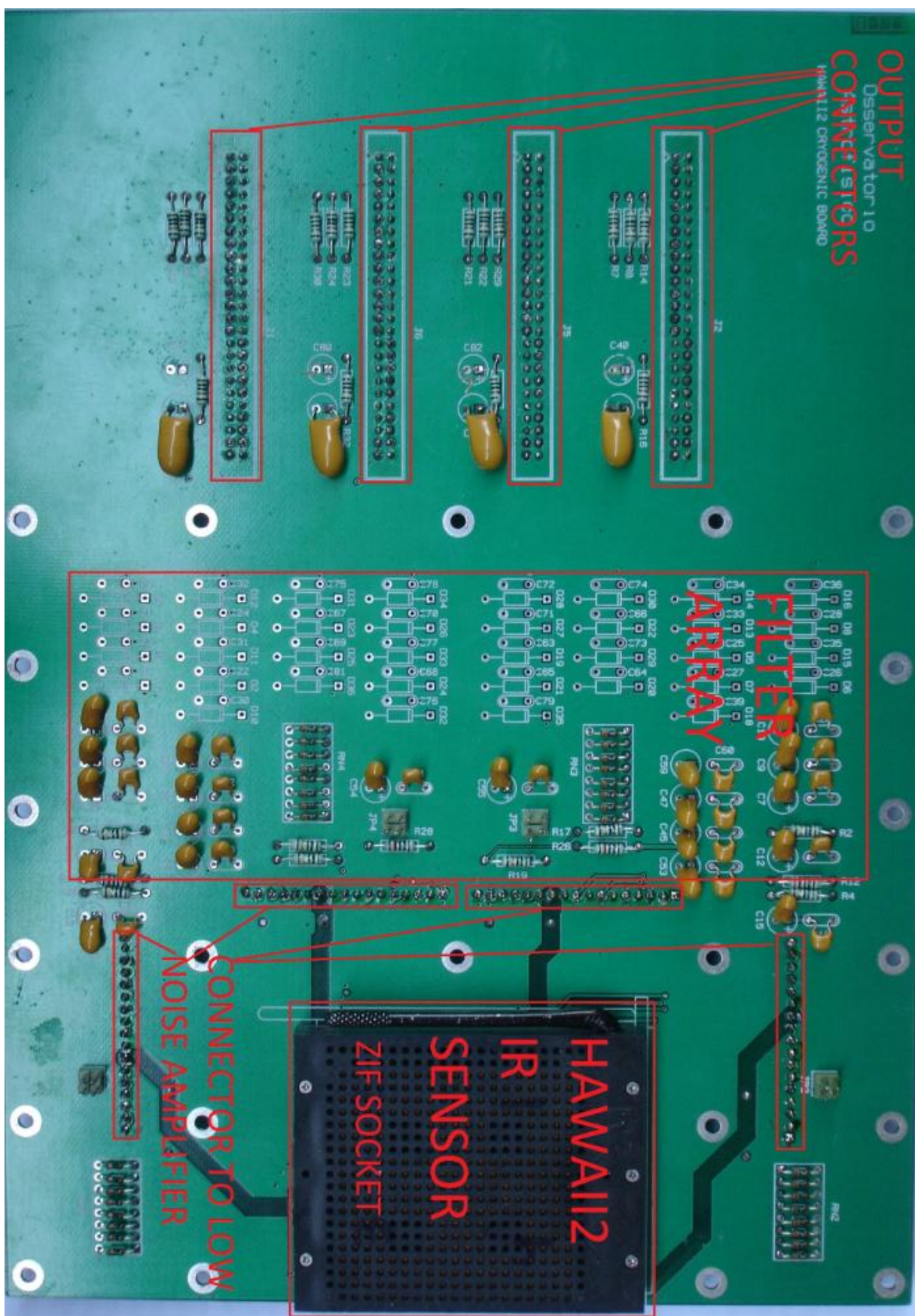


Figura 3: foto della scheda lato saldature.

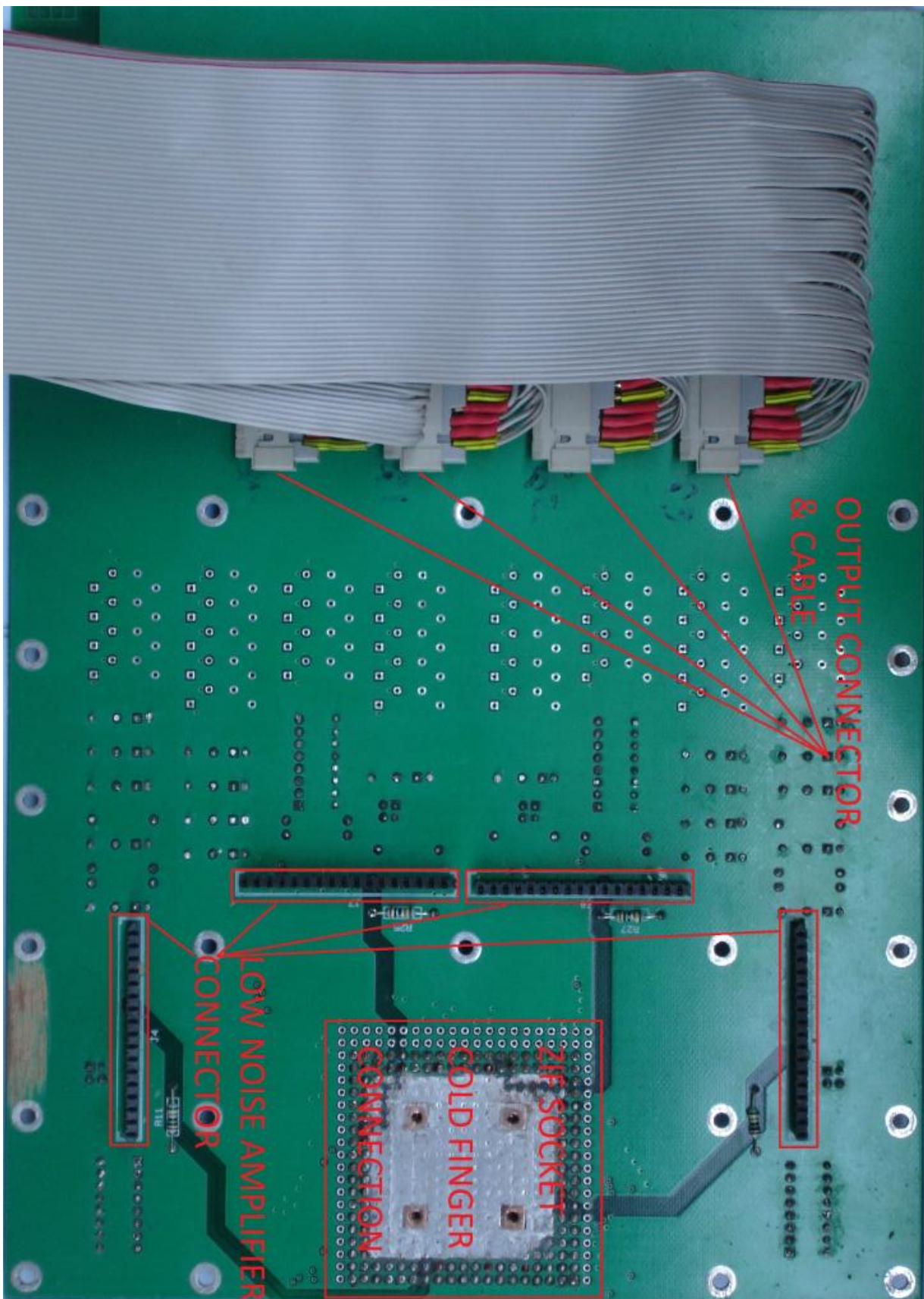
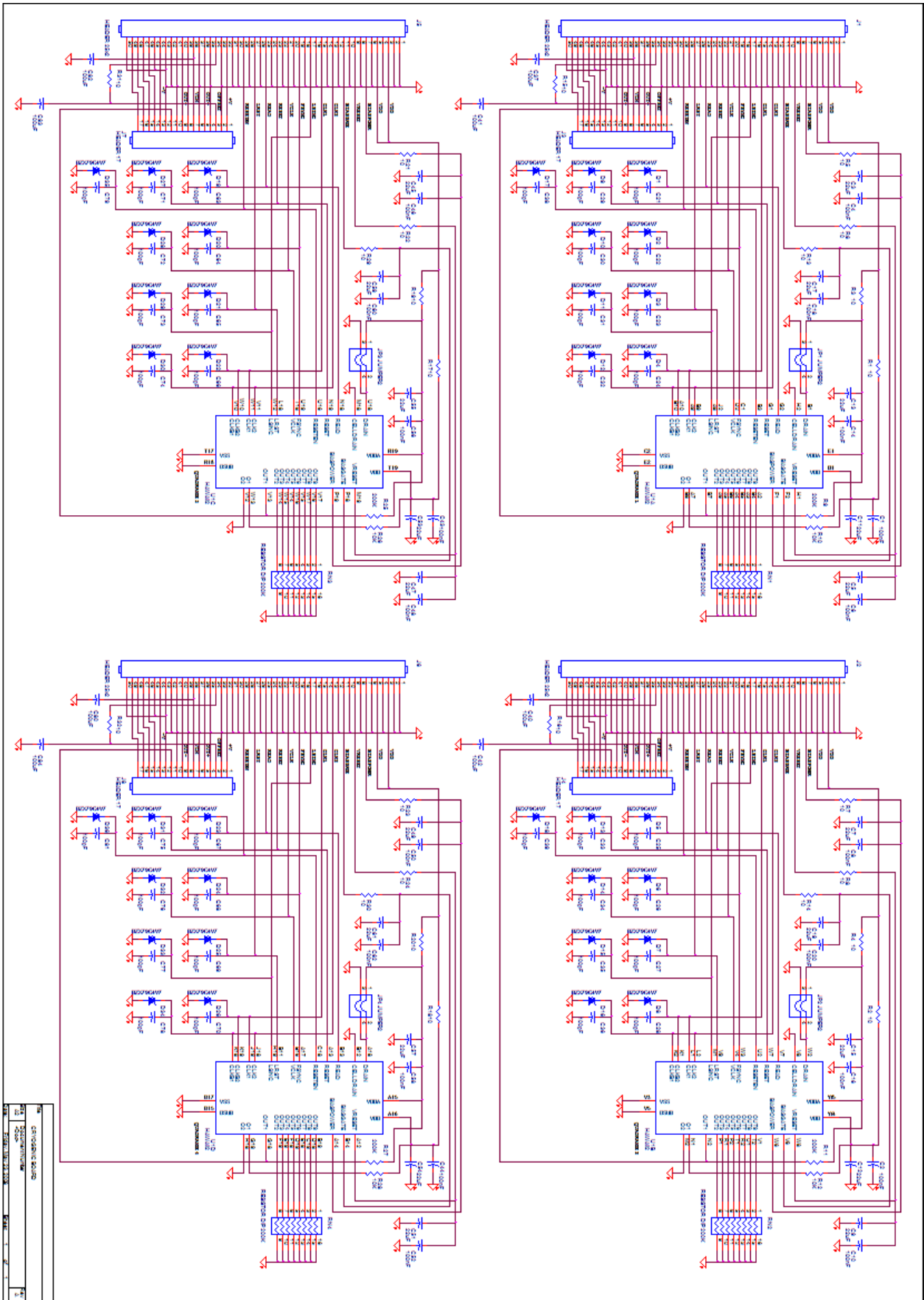


Figura 4: lo schema elettrico.



Lo schema elettrico della Cryogenic Board è abbastanza semplice: il sensore (U1) viene rappresentato in quattro parti (A, B, C, D), una per ogni quadrante. Ogni quadrante è connesso a un connettore verso l'esterno e a un connettore verso l'amplificatore a basso rumore. I segnali che arrivano dalla Analog Board ricevono sulla scheda un diverso trattamento in funzione del tipo: per i segnali statici, come le tensioni di riferimento e le alimentazioni, c'è un filtro passa basso formato da resistenza e capacità; per i segnali che commutano c'è solo una capacità da 100pF. Questi condensatori servono per adattare l'impedenza di ingresso a quella di linea del cablaggio e garantire l'integrità del segnale ricevuto, sono stati previsti anche dei diodi Zener, ma non sono stati montati, perché non necessari, visto che i segnali arrivano al sensore integri e senza oscillazioni. Dai connettori verso l'esterno del Dewar arrivano anche le tensioni per gli amplificatori generate dalla Analog Board, si tratta di alimentazioni e tensione di offset, che entrano direttamente nei relativi connettori. Dai medesimi connettori escono i segnali amplificati in forma differenziale.

Figura 5: schema elettrico cablaggio interno Dewar.

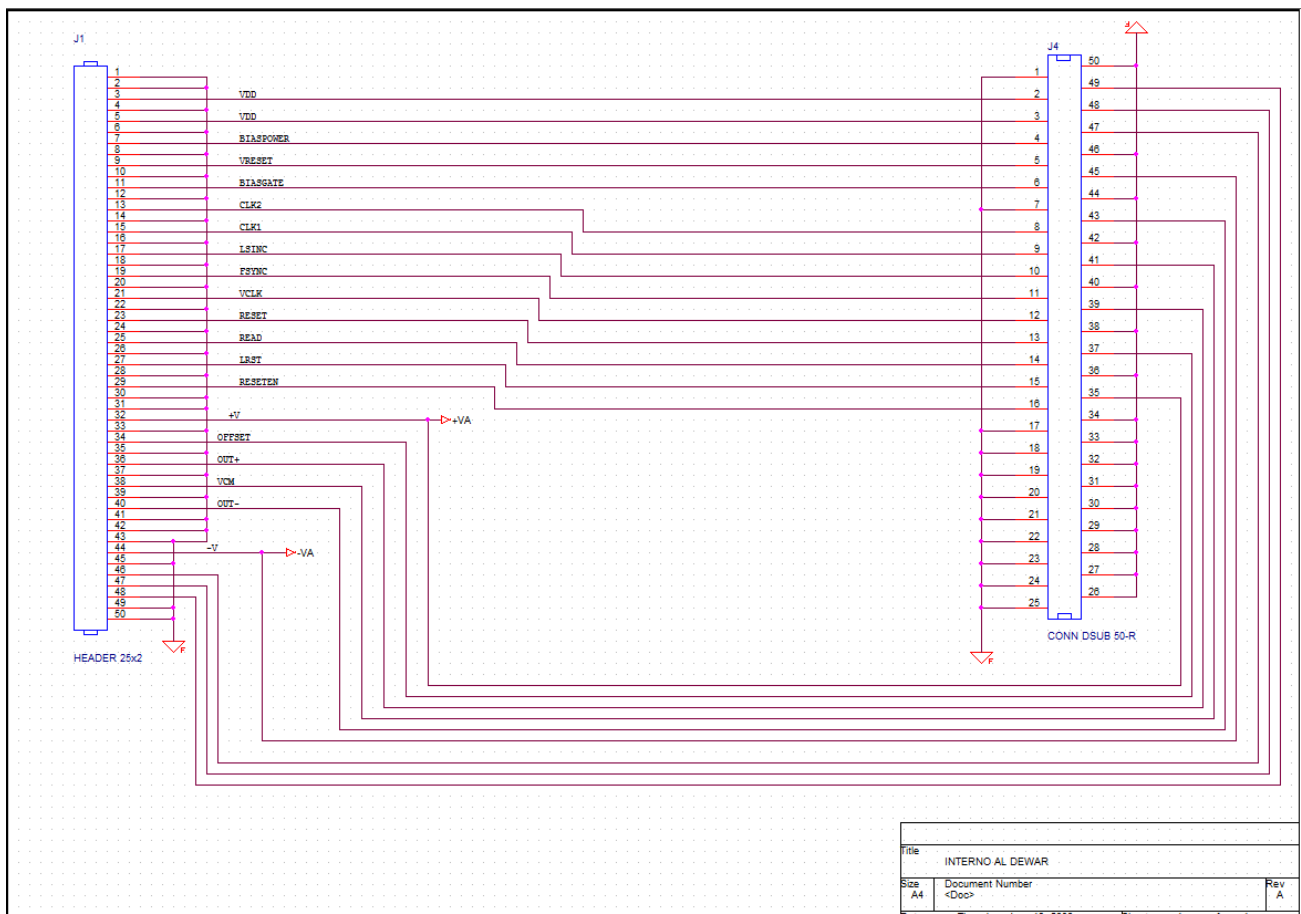


Figura 6: schema elettrico amplificatore.

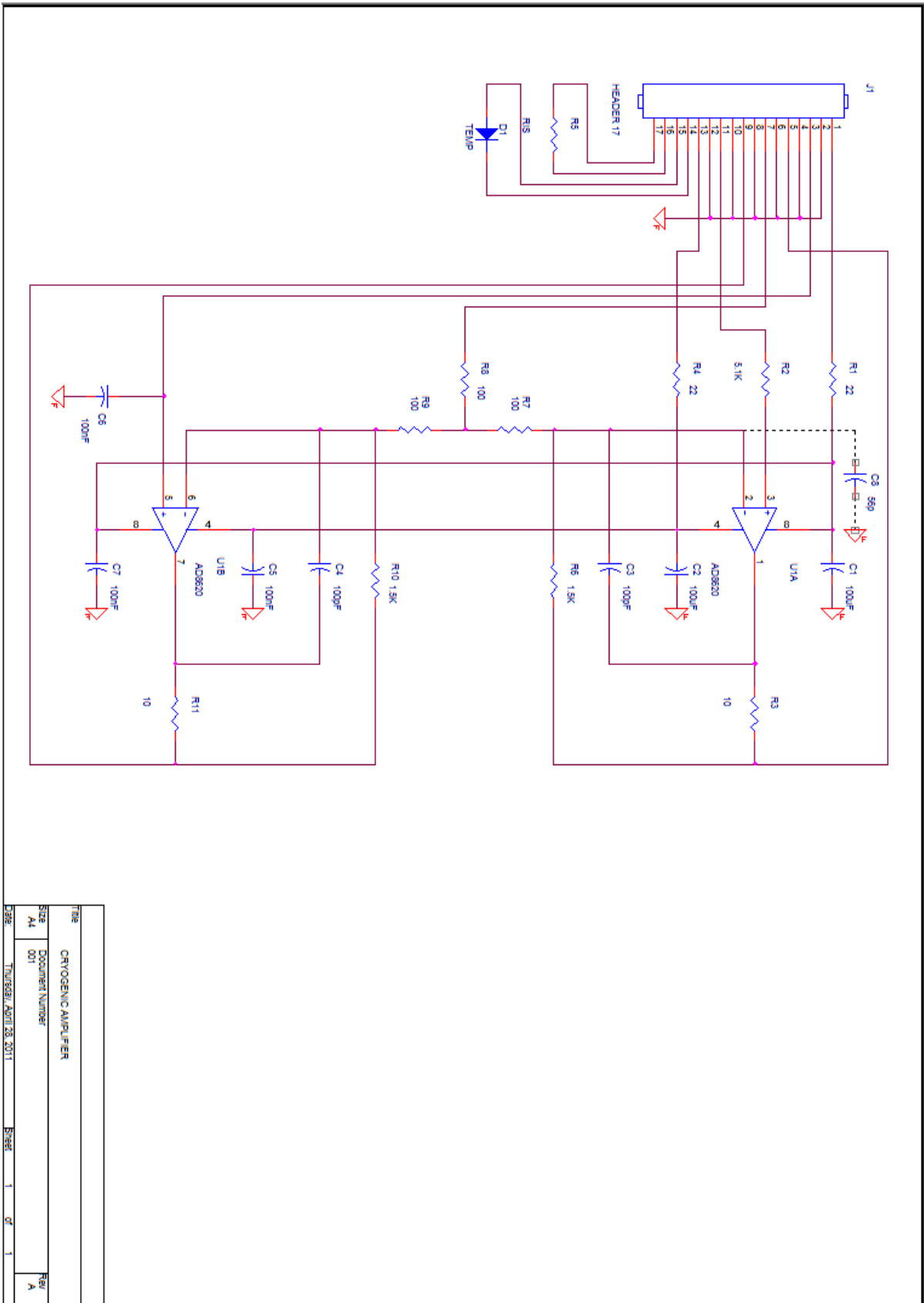
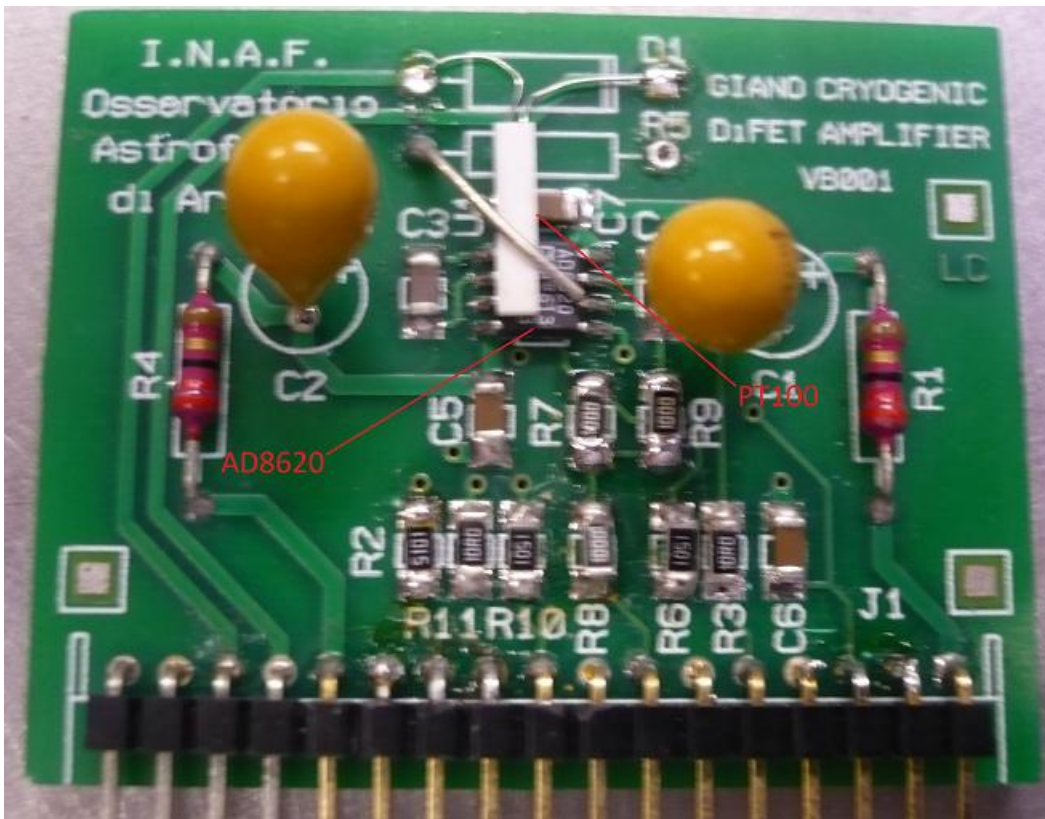




Figura 7: foto dell'amplificatore.



Gli amplificatori sono montati su schede poste sul lato componenti della scheda che ospita il sensore, per evitare che quando sono in funzione e si scaldano possano emettere radiazione infrarossa verso il sensore stesso. Sulla scheda trova posto anche un sensore PT100, che durante i test in laboratorio ha permesso di verificare che la differenza di temperatura tra amplificatore spento e acceso è circa 15°. Il componente usato è lo AD8620, un amplificatore duale con ingresso a FET (DiFET, Dielectrically Insulated Field Effect Transistor<sup>1</sup>). È stato scelto dopo test criogenici accurati<sup>2-3</sup>, che hanno dimostrato come le caratteristiche dichiarate dal costruttore a

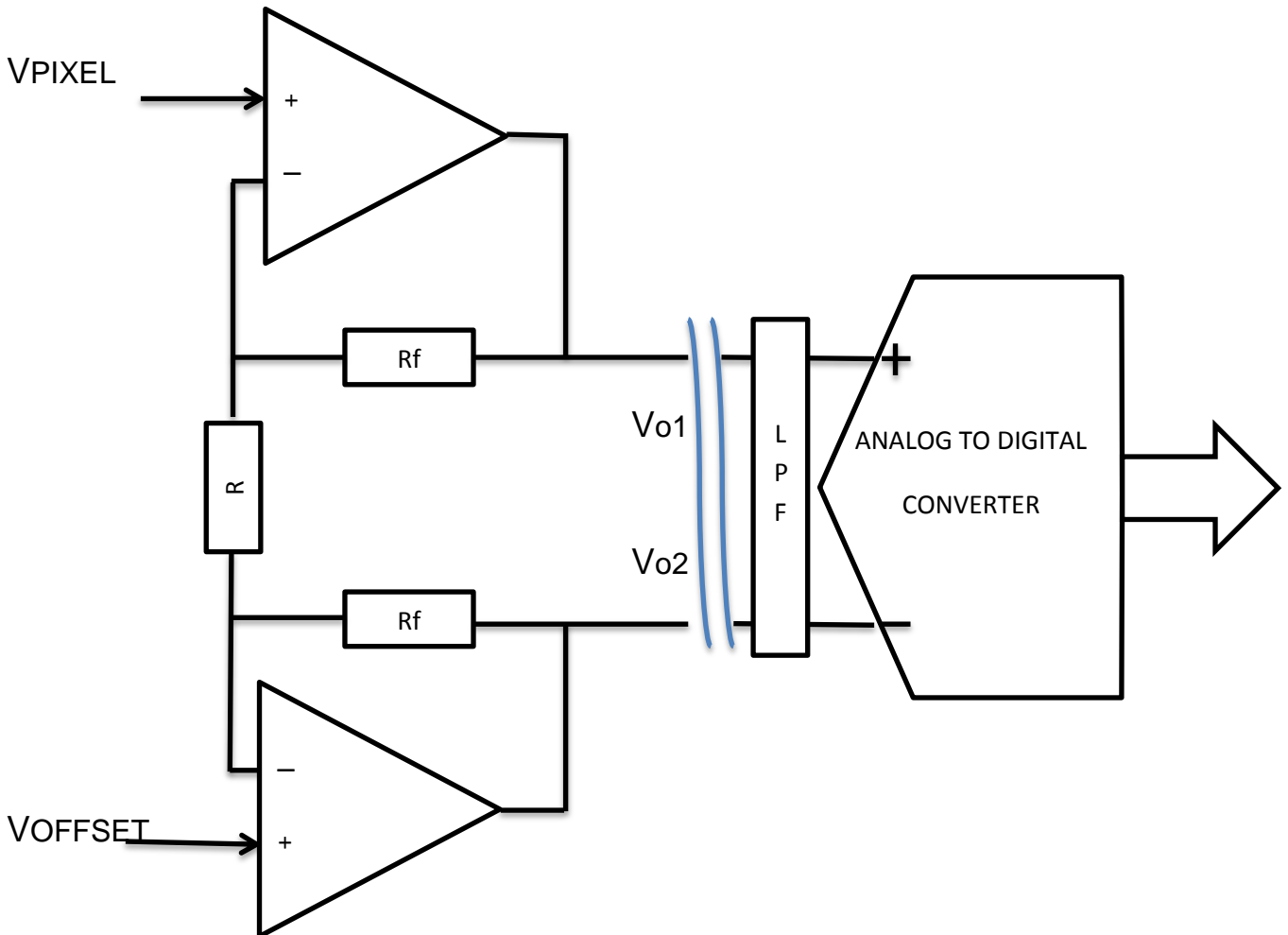
<sup>1</sup> [http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/analogdevices/734705833AD8610\\_20\\_c.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/analogdevices/734705833AD8610_20_c.pdf)

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

<sup>3</sup> • [3/2007](#) Test del preamplificatore di GIANO M. Gonzalez, I. Mochi, V. Biliotti

temperatura ambiente, in particolare il basso rumore e la risposta in frequenza, si mantengono anche alla temperatura dell'azoto liquido.

Figura 8: struttura della catena di acquisizione.



Le prestazioni di un sistema di acquisizione dipendono dalle caratteristiche dei dispositivi che lo compongono, ma anche l'architettura riveste un aspetto importante, in special modo per sistemi di acquisizione nei quali i componenti sono distribuiti e distanti fra loro. L'elettronica di acquisizione di Giano può essere considerata un caso del genere: il sensore deve stare a bassissima temperatura, dunque chiuso dentro un Dewar, mentre la maggior parte dei componenti elettronici sta all'esterno, perché non è in grado di funzionare a bassissime temperature. È inevitabile suddividere la catena di acquisizione in due parti di cui una, vicina al sensore, capace di funzionare alla temperatura dell'azoto liquido, e l'altra a temperatura ambiente. Questa scelta obbligata pone problematiche dovute principalmente alla distanza fra le due parti: la sensibilità verso disturbi elettromagnetici del

cablaggio e la struttura dei collegamenti di massa possono aumentare molto il rumore teorico e anche il cross-talk. In Giano la catena di acquisizione prevede un amplificatore differenziale vicino al sensore, dentro il Dewar, mentre il convertitore analogico digitale e il filtro passa basso sono sulla scheda Analog Board, esterna e a temperatura ambiente. Tra di loro una coppia di segnali bilanciati viaggia attraverso un cablaggio dedicato, che li trasporta da dentro a fuori il Dewar. La massa della catena di acquisizione non ha possibilità di stabilire loop con la massa degli altri canali, perché l'unico punto in cui le diverse masse si riuniscono è a bordo della Cryogenic Board: in pratica le masse sono disposte "a stella", dove il centro stella è la scheda che ospita il sensore.

Riferendosi alla Figura 8, deduciamo il guadagno della coppia di amplificatori, assumendo che una tensione di ingresso sia data dal segnale proveniente dai pixel, e l'altra sia una tensione di offset (costante) che viene fornita dalla Analog Board, allo scopo di aumentare la dinamica del segnale rimuovendo gran parte della componente continua.

Applicando il principio delle sovrapposizione degli effetti otteniamo che:

$$Vo1 = V_{pixel} \left( \frac{R_f}{R} + 1 \right) - V_{offset} \left( \frac{R_f}{R} \right)$$

$$Vo2 = V_{offset} \left( \frac{R_f}{R} + 1 \right) - V_{pixel} \left( \frac{R_f}{R} \right)$$

I due segnali Vo1 e Vo2 sono sostanzialmente l'uno l'inverso dell'altro, viaggiano lungo il cablaggio che li porta all'esterno del Dewar e arrivano al convertitore analogico digitale. Lungo questo percorso possono raccogliere disturbi di tipo elettromagnetico provenienti dall'ambiente. La tensione di disturbo eventualmente raccolta è statisticamente uguale per i due segnali, visto che il percorso dei cavi è identico. Questa considerazione è puramente intuitiva, ma esistono al riguardo molti studi che dimostrano e documentano quanto l'approccio differenziale sia meno suscettibile ai disturbi rispetto al segnale singolo. Arrivati in prossimità del convertitore la coppia di segnali incontra un filtro passa basso differenziale, che rimuove la componente in alta frequenza da eventuali segnali di disturbo presenti sul segnale dei pixel. Infine, il convertitore analogico digitale converte la differenza dei segnali Vo1 e Vo2 in un dato digitale. Perciò l'eventuale disturbo non filtrato viene

eliminato per differenza, in quando presente (statisticamente) con la stessa intensità su entrambi i segnali Vo1 e Vo2.

Il dato D ottenuto in uscita dal convertitore dipende dalla differenza dei due segnali e da un fattore di scala K regolabile sulla scheda con un trimmer sulla scheda Analog Board.

$$D = K * (Vo1 - Vo2)$$

Sostituendo a Vo1 e Vo2 i valori ricavati nelle equazioni precedenti otteniamo:

$$D = K * [V_{pixel} * \left(1 + 2 * \frac{R_f}{R}\right) - V_{offset} * \left(1 + 2 * \frac{R_f}{R}\right)]$$

Ovvero, riorganizzando in forma più intuitiva:

$$D = K * (V_{pixel} - V_{offset}) * \left(1 + 2 * \frac{R_f}{R}\right)$$

Dove  $\left(1 + 2 * \frac{R_f}{R}\right)$  è il guadagno differenziale della coppia di amplificatori. Guardando la Figura 6 si può dedurre che per l'elettronica di Giano il guadagno differenziale vale 16, in quanto  $R_f=1500$  e  $R=200$ .

Dal guadagno differenziale e dal valore di fondo scala del convertitore analogico digitale, regolato a 4.6 Volt su tutte le Analog Board, si può ricavare il fattore di conversione, ovvero quanti  $\mu V$  corrispondono ad un conteggio (ADU), tenendo presente che vengono usati solo i 16 bit più significativi dei 18 disponibili all'uscita del convertitore.

$$ADU = \frac{4.6}{16} / (2^{16}) \quad \text{ovvero} \quad ADU = 4.38 * 10^{-6} \text{ Volt.}$$

Sostituendo a Vpixel e Voffset la tensione di rumore En dei due amplificatori, e trascurando per il momento il rumore dovuto alle resistenze Rf e R, otteniamo:

$$D = K * (En1 - En2) * \left(1 + 2 * \frac{R_f}{R}\right)$$

Visto che  $E_{n1}$  ed  $E_{n2}$  sono due segnali casuali con lo stesso valore efficace, la differenza produce un segnale casuale aumentato di un fattore  $\sqrt{2}$ . In modo analogo si può dimostrare che anche il contributo del rumore termico delle resistenze viene aumentato dello stesso fattore, perché simmetrico nei due amplificatori.

In conclusione, la funzione di trasferimento della catena di acquisizione rispetto alla differenza dei segnali  $V_{pixel}$  e  $V_{offset}$  vale:

$$D = K * (V_{pixel} - V_{offset}) * (1 + 2 * \frac{R_f}{R})$$

mentre il di rumore differenziale dei due amplificatori non raddoppia, ma aumenta di un fattore  $\sqrt{2}$  il contributo del singolo amplificatore:

$$D = K * E_n * \sqrt{2} * (1 + 2 * \frac{R_f}{R})$$