



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA
OSSERVATORIO VESUVIANO

Luigi Romano ¹
Claudio Martino ²

L'ACQUISITORE DATI OSIRIS DELLA RETE SISMICA DEL CRdC - AMRA

Open-File Report 5 - 2005

¹ Borsista AMRA presso l'INGV (Osservatorio Vesuviano)

² Borsista presso il Dipartimento di Scienze Fisiche (Università di Napoli Federico II)

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Osservatorio Vesuviano

Via Diocleziano 328, 80124 Napoli (Italy)

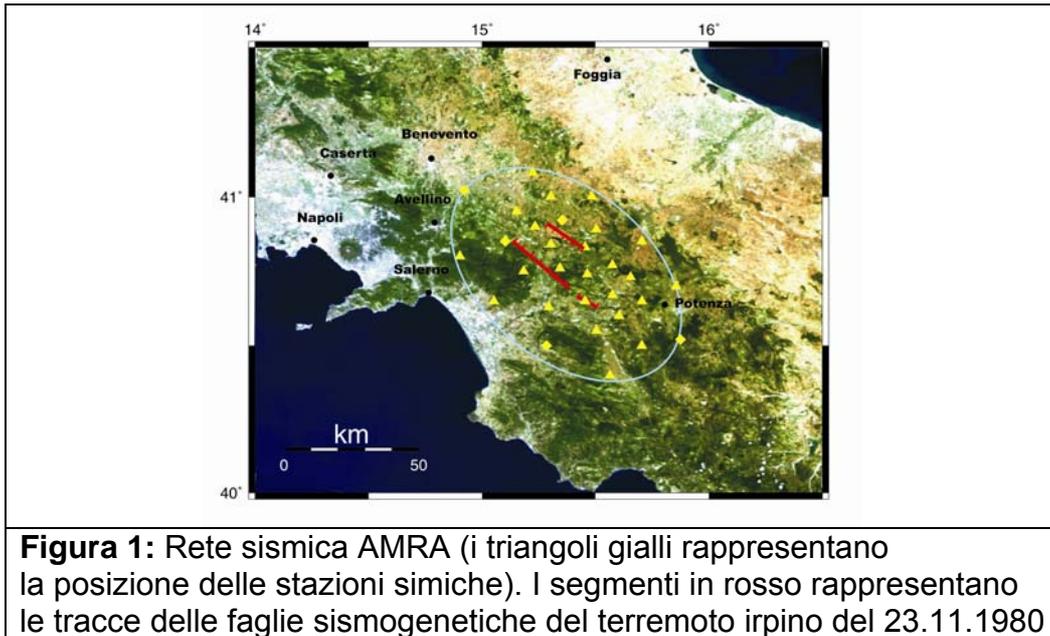
INDICE

1. Generalità della rete sismica AMRA	3
2. Motivazioni della scelta dell'acquisitore Osiris-6	4
3. L'acquisitore dati della rete sismica AMRA.....	5
4. Hardware.....	6
4.1 Aspetto esteriore	6
4.2 Caratteristiche del convertitore analogico digitale.....	7
4.3 Caratteristiche del microprocessore	9
4.4 Sistemi di Storage	9
4.5 Gestione del Tempo	11
4.6 Consumi sistema di gestione dell'acquisitore.....	11
5 Software	12
5.1 Software (Routing Dinamico).....	13
5.2 Software (Time Manager).....	14
5.3 Configuration Software.....	15
5.4 Realizzazione Programmi Propri	17
6 Procedure di collaudo degli acquisitori OSIRIS	17
6.1 Consumi	18
6.2 Misura del rumore elettronico interno	19
6.3 Verifica crosstalk	21
6.4 Verifica campionamento	22
6.5 Verifica Offset vs Temperatura.....	23
6.6 Verifica funzionamento a diverse Tensioni di alimentazione.....	24
6.7 Verifica Trasmissione WiFi	25
6.8 Test / Guadagni	26
6.9 Test / Drift Temporale.....	26
6.10 Test / Ulteriori Prove.....	28
7 Integrazione dell'acquisitore OSIRIS in una rete sismica	29
8 Protocollo SEEDLINK	29
9 Implementazione di software originale e sviluppi futuri	31

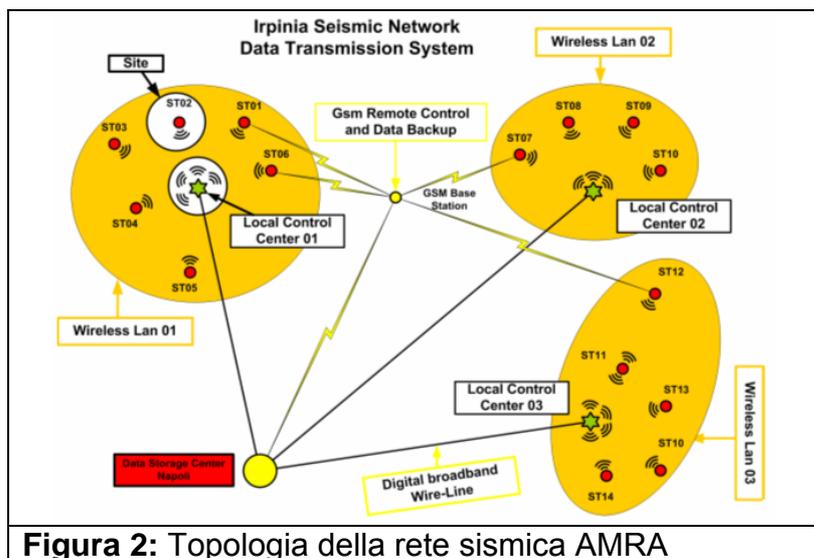
1. Generalità della rete sismica del CRdC - AMRA

La rete sismica del CRdC-AMRA (Centro Regionale di Competenza Analisi e Monitoraggio dei Rischi Ambientali, Regione Campania) è stata progettata per studiare l'attività sismica connessa ad un sistema di faglie dell'Appennino meridionale che in epoca storica, e recente, ha prodotto numerosi terremoti distruttivi e manifesta una continua attività sismica di fondo.

La figura 1 riporta la configurazione e la posizione geografica della rete sismica. L'area di copertura è di circa 100x80 km² lungo l'Appennino campano-lucano.



La rete è organizzata in sub-reti, ovvero gruppi di stazioni collegate tramite connessione radio ad un nodo di acquisizione (denominato *Local Control Center*, LCC) a sua volta collegato via ADSL al un centro di acquisizione in Napoli, indicato in figura 2 come *Data Storage Center* (DSC).



Ciascun punto di rilevamento è equipaggiato con un acquisitore dati multicanale a cui sono collegati due tipologie di sensori sismici tri-assiali, un accelerometro ed un velocimetro. Un ricevitore GPS fornisce la sincronizzazione temporale dei segnali acquisiti. La strumentazione sismologica, unitamente al sistema di alimentazione costituito da batterie ricaricabili e pannelli solari, è alloggiata in una apposita infrastruttura in resina plastica e acciaio che ne garantisce la protezione dagli agenti atmosferici. Ciascun sito, inoltre, è dotato di un sistema di telecontrollo basato su tecnologia GSM per consentire di monitorare lo stato di funzionamento delle apparecchiature e lo stato di sicurezza del sito. L'intero sistema di telecontrollo è governabile direttamente dalla sala controllo ubicata a Napoli.

I dati sismici acquisiti in ciascun sito sono trasmessi via radio all'LCC di riferimento e da questo ritrasmessi al DSC di Napoli, mediante collegamento telefonico ad alta velocità o tramite ponte radio.

Un ulteriore numero di stazioni sismiche ad integrazione della rete precedentemente descritta è in via di installazione. Queste opereranno in modalità remota con registrazione locale dei dati acquisiti e comunicazione con il DSC di Napoli tramite telefono cellulare (GPRS). Queste stazioni, non essendo connesse tramite un supporto ad alta velocità con il DSC di Napoli, potranno trasmettere in differita i dati acquisiti relativi ad eventi sismici di interesse tramite richiesta da parte del DSC o trasmetteranno autonomamente solo alcuni parametri di interesse dei terremoti registrati (ad esempio PGA).

L'elemento chiave della rete sismica è pertanto l'acquisitore posto in ogni stazione sismica e scopo del presente rapporto è illustrarne le caratteristiche tecniche.

2. Motivazioni della scelta dell'acquisitore Osiris-6

Il sistema di acquisizione dati sismici è un sistema complesso costituito dai sensori, acquisitori dati, sistema di trasmissione nonché da un sistema globale di gestione, elaborazione e archiviazione dei dati. Quest'ultima funzione, indicata come sistema di gestione, è effettuata su tre livelli:

1. direttamente al sito di registrazione dei dati
2. presso un nodo di acquisizione (LCC)
3. presso la sede centrale in Napoli (DSC)

Presso la sede centrale e LCC, l'attività di gestione è svolta da un computer con opportune caratteristiche su cui è installato un software specifico per la gestione, elaborazione e archiviazione in formato standard dei dati sismici. Presso il sito di registrazione, normalmente ubicato in luoghi remoti, l'attività di gestione è effettuata dall'acquisitore dati. Le sue funzioni sono:

- Acquisire i segnali dai sensori connessi.
- Memorizzare i segnali acquisiti e consentirne il recupero.
- Gestire la sincronizzazione temporale dei segnali acquisiti.
- Effettuare elaborazioni dei dati
- Consentire la comunicazione per avere la possibilità di interagire da remoto.

Le prestazioni e la qualità dei segnali acquisiti dipendono dalle caratteristiche costruttive dell'acquisitore e dalla scelta dei componenti elettronici, infatti, una corretta progettazione dell'hardware permette all'acquisitore di essere caratterizzato da un ampio range dinamico, un'elevata immunità al rumore elettronico, dipendenza minima dei parametri di conversione dalla temperatura e dalla tensione di alimentazione.

Per le applicazioni della rete sismica AMRA l'acquisitore deve essere in grado di eseguire localmente algoritmi per il calcolo di alcuni parametri sismici importanti come tempo di arrivo delle onde P, stima della magnitudo, determinazione dell'ampiezza massima, ecc. Questo comporta la presenza di un sistema operativo che permetta l'implementazione e l'esecuzione di software specifico sviluppato dall'utente e di ulteriori componenti hardware che consentano il salvataggio e la trasmissione autonoma dei dati elaborati.

Pertanto i requisiti che hanno consentito di scegliere l'acquisitore sono stati:

- 1- Convertitore Δ/Σ a 24 bit a 6 canali, con passo di campionatura e valore di amplificazione selezionabile per ogni canale
- 2- Orologio interno tipo TCXO con sincronizzazione del segnale del tempo tramite GPS e acquisizione della differenza tra il segnale del tempo esterno e quello dell'orologio interno. Possibilità di memorizzare le coordinate GPS ad intervalli temporali stabiliti.
- 3- Basso consumo (< 3 W)
- 4- Modalità di acquisizione in continua o tramite algoritmo di trigger del tipo STA/LTA. In entrambi i casi deve essere in grado di generare un file di trigger log.
- 5- Memoria di massa facilmente intercambiabile di almeno 5 Gb con file system standard
- 6- Comunicazione tramite porta Ethernet o seriale (protocolli TCP/IP o PPP). Possibilità di comunicare autonomamente tramite modem se interrogato.
- 7- Disponibilità dei servizi FTP, SSH, Telnet e HTTPD (come server e/o client).
- 8- Sistema Operativo Linux con risorse di calcolo disponibili per gli applicativi dell'utente.

Inoltre, l'acquisitore deve soddisfare i requisiti per un utilizzo in ambienti aperti ed esposti a tutti gli agenti atmosferici.

Un ampio studio dei prodotti presenti sul mercato, e la valutazione attenta di tutte le caratteristiche che maggiormente soddisfano le suddette richieste, ha condotto alla scelta di un particolare acquisitore dati denominato OSIRIS e descritto in dettaglio nei successivi paragrafi.

3. L'acquisitore dati della rete sismica AMRA

Per equipaggiare la stazioni sismiche della rete del CRdC-AMRA è stato scelto un innovativo modello di acquisitore dati, denominato OSIRIS (Open Seismological Integrated Recorder for Improved Survey) prodotto dalla ditta Agecodagis, di Rieux-Volvestre Francia. Le caratteristiche salienti sono un'estesa dinamica, basso consumo, sistema operativo open source, protocolli standard di comunicazione per una gestione remota del sistema (TCP/IP, PPP).

Nei paragrafi successivi saranno descritte in dettaglio le caratteristiche tecniche, sia hardware che software, evidenziandone le applicazioni nell'ambito delle finalità della rete AMRA.

4. Hardware

4.1 Aspetto esteriore

OSIRIS-6 è un'unità compatta, di dimensioni e peso contenuti (270X250x170 mm) 3.5 Kg, alloggiata in un involucro Pelican robusto e maneggevole (standard IP67) e provvisto di connettori militari (standard IP68) a cui è possibile connettere:

- Alimentazione 12V. Sono possibili alimentazioni comprese nell'intervallo (10-16.5)V
- 2 sensori a 3 componenti (modello Osiris-6, altri modelli fino ad un max di 24 canali)
- Ricevitore GPS
- Cavo Ethernet per wired LAN
- Cavo Seriale per connessioni via modem
- Antenna Radio WiFi per wireless LAN



Figura 3 : Acquisitore OSIRIS-6

Inoltre è dotata di un ingresso ausiliario a 5 canali a cui è possibile connettere altrettanti sensori per monitoraggio di parametri ambientali (temperatura, umidità ecc). Per tale ingresso sono utilizzati convertitori analogico/digitale con una risoluzione a 8 bit.

Per agevolare il controllo dello stato dell'acquisitore una serie di LED sono presenti sul coperchio dell'involucro. Ogni indicatore riporta lo stato di funzionamento dei dispositivi vitali:

- Microdrive
- Attività della scheda di rete
- Stato del GPS e livello del segnale
- Stato Radio
- Stato dei sensori
- Presenza dell'alimentazione

All'interno, il sistema dispone di due slot PCMCIA in cui possono essere inseriti due hard disk (attualmente da 5 Gb ognuno) o un hard disk ed una scheda wireless.

4.2 Caratteristiche del convertitore analogico digitale

In figura 4 è riportato lo schema a blocchi dello stadio di digitalizzazione dei segnali, ossia la parte dell'acquisitore che consente di trasformare i segnali continui provenienti dai sensori ad esso connessi in segnali digitali utili per la memorizzazione su supporto di massa e per l'analisi con i comuni strumenti informatici.

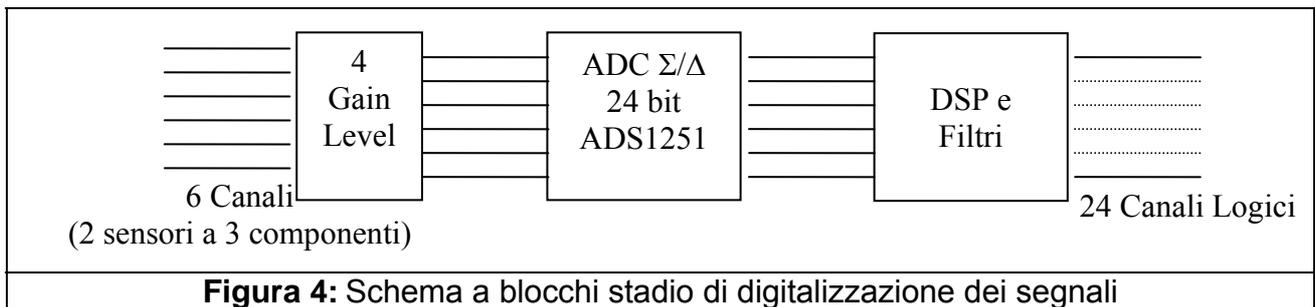


Figura 4: Schema a blocchi stadio di digitalizzazione dei segnali

La conversione analogica digitale dei 6 segnali di ingresso, opportunamente amplificati, è effettuata da altrettanti ADC modello ADS1251 della Texas Instruments. La parte di amplificazione permette la selezione tra quattro possibili fattori di guadagno ($\times 1$, $\times 10$, $\times 36$, $\times 62$) in modo da adattare i livelli di tensione dei segnali di uscita dei sensori con quelli possibili in ingresso dell'acquisitore.

Il convertitore ADS1251 è del tipo Σ/Δ di precisione con un ampio range dinamico ed una risoluzione di 24 bits. Di seguito sono riportate le caratteristiche principali, tratte dal corrispondente datasheet:

- Risoluzione a 24 bits – no missing code
- Risoluzione effettiva¹ 19 bits fino a 20KHz di data rate
- Basso rumore: 1.5 ppm
- Ingressi differenziali
- Full Scale Range (FSR): [5V(positive full-scale) – (-5V) (negative full-scale)]=10V_{pp}
- Least Significant Bit (LSB)²: [FSR/(2^{N-1})] \cong 0.6 μ V
- 5V tensione di alimentazione
- Bassi consumi: 8mW @ 20KHz, 5mW @ 10KHz

In figura 5 è riportato lo schema di funzionamento del convertitore utilizzato.

¹ E' la risoluzione che tiene conto del rumore elettronico.

² LSB rappresenta la minima variazione di tensione all'ingresso rilevabile dall'ADC.

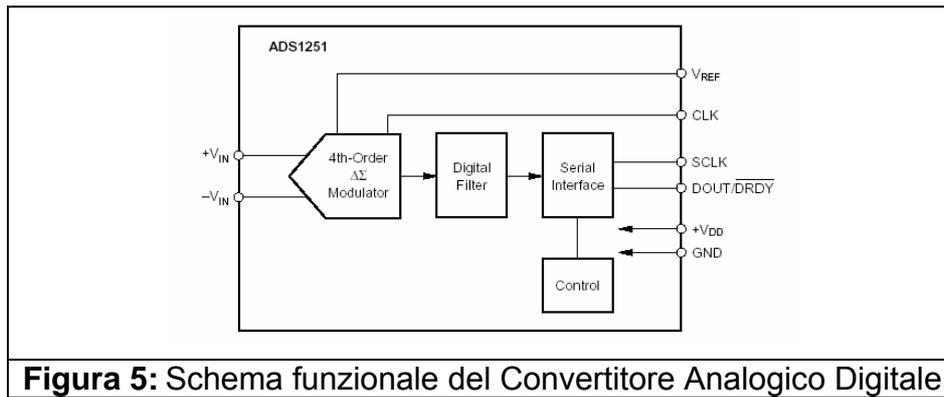


Figura 5: Schema funzionale del Convertitore Analogico Digitale

L' ADC Σ/Δ utilizza un modulatore per convertire l'ingresso analogico in un segnale digitale (serie di impulsi). La sequenza di 1 e 0 all'uscita del modulatore rappresenta il valor medio del segnale di ingresso. L'uscita del modulatore entra in un filtro digitale³ che effettua una media pesata basandosi sugli ultimi output del modulatore (numero che dipende dall'ordine del filtro) e presenta il risultato come output digitale (DOUT). Il modulatore è caratterizzato da una propria frequenza di campionamento $f_{mod}=(CLOCK/6)$, mentre il data rate del convertitore (coincidente con il data rate del filtro digitale) vale $f_{data}=f_{mod}/64$. Il filtro digitale è un filtro passa basso con una risposta all'impulso di tipo

$$SINC^5 = [1/N * \text{Sin}(N * \pi * f / f_{Mod}) / \text{Sin}(\pi * f / f_{Mod})]^5 \quad \text{con } N=64.$$

Il valore del CLOCK fissato dalla casa costruttrice dell'acquisitore è 6,144MHz, quindi $f_{mod}=1,024\text{Mhz}$ e $f_{data}= 16\text{KHz}$.

I segnali in uscita dagli ADC confluiscono verso il Digital Signal Processor (DSP) con un rate di 16KHz. Il DSP effettua un'ulteriore decimazione fino a 2KHz e li elabora, applicando anche un filtro antialiasing, fornendo in uscita 24 canali per ognuno dei quali può essere scelta la frequenza di campionamento e l'associazione ad uno dei 6 canali fisici d'ingresso. Il range di selezione delle frequenze di campionamento varia da 1Hz ad 2KHz e le frequenze sono calcolate nel DSP mediante la seguente formula:

$$F = \frac{2\text{KHz}}{(2^n \cdot 5^m)}, n \leq 4, m \leq 3$$

con n e m rispettivamente numero di decimazioni di ordine 2 e 5

Il DSP utilizzato è il Motorola 56311 progettato appositamente per applicazioni avanzate che richiedono grande velocità di elaborazione (questo modello è capace di effettuare 270MIPS) ed una grande quantità di memoria. Da notare che l'EFCOP (Enhanced Filter COProcessor)⁴ può eseguire diversi algoritmi di filtraggio in parallelo in modo da avere elevata qualità nelle operazioni sui segnali senza deteriorare il throughput dei canali.

In figura 6 è riportato l'andamento della densità spettrale (PSD) del rumore elettronico al variare delle frequenze di campionamento, fornito dalla casa costruttrice. Come si può notare lo spettro è piatto nell'intervallo di frequenze interessate.

³ Un filtro digitale è un algoritmo che implementa l'equazione del filtro, solitamente espressa in forma discreta scalata per alcuni coefficienti detti "coefficienti del filtro"

⁴ L'EFCOP è un co-processor che fornisce ulteriore potenza di calcolo in caso di filtri complessi.

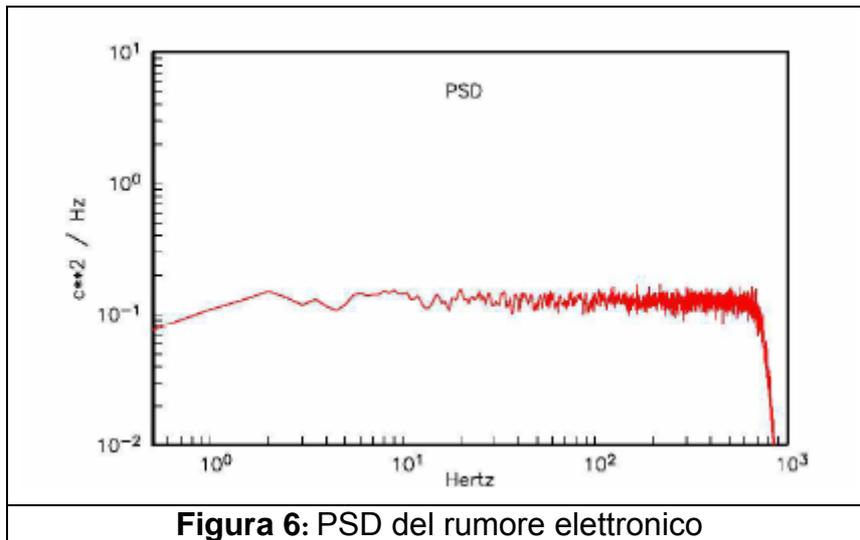


Figura 6: PSD del rumore elettronico

Il range dinamico dichiarato dalla casa costruttrice è di 128dB a 100sps e di 117dB a 1000sps corrispondenti rispettivamente a livelli di rumore pari a 3.2bits e 4.8bits.

4.3 Caratteristiche del microprocessore

La struttura dell'acquisitore prevede la presenza di un microprocessore ARM a cui compete il controllo e la gestione di tutte le periferiche presenti. In particolare il microprocessore utilizzato è l'ARM720T avente le seguenti caratteristiche:

- Architettura RISC a 32 bit
- 0.9 MIPS/MHz
- Set di istruzioni a 32 bit
- 8 Kbyte di memoria cache
- ALU a 32 bit
- Memory Memagement Unit (MMU)
- 48Kbyte di memoria RAM
- Gestione di unità disco
- Piccola dimensione e consumi bassi.

L'ARM720T è un microprocessore adatto per la realizzazione di dispositivi a basso consumo e progettati per essere utilizzati con sistemi operativi Linux, Windows CE o Symbian OS. Nel caso dell'acquisitore OSIRIS il sistema operativo installato è un kernel LINUX ver 1.4.18, un sistema operativo open source, cioè senza necessità di licenze e soprattutto adattabile perfettamente all'hardware su cui va ad operare.

4.4 Sistemi di Storage

I supporti di memoria presenti nell'acquisitore sono:

1. Memoria Flash da 16Mb
2. Microdrive PCMCIA da 5Gb.

La memoria Flash è suddivisa in 4 zone secondo il seguente schema:

1. Zona "kernel" in modalità sola lettura, in cui risiede il sistema operativo LINUX
2. Zona "rootfs" in modalità sola lettura, in cui risiede la shell di comandi Osiris SHell (OSH)
3. Zona "config" in modalità lettura-scrittura, in cui sono salvati i parametri di funzionamento.
4. Zona "data" in modalità lettura-scrittura, divisa in 50 blocchi da 256Kb che contengono i dati senza file system⁵

Il Microdrive è montato nello slot PCMCIA frontale e consente il salvataggio dei dati acquisiti in un formato proprietario denominato TITAN2⁶, oltre ad una serie di file di log che contengono informazioni sullo stato di funzionamento dell'acquisitore.

Il sistema dispone di due porte PCMCIA che possono assumere diverse configurazioni, come riportato di seguito:

	PCMCIA 1	PCMCIA 2
Configurazione 1	HD 5Gb	HD 5Gb
Configurazione 2	HD 5Gb	WiFi card

Nella configurazione 1 si hanno a disposizione due dischi per un totale di 10Gb di spazio utile per il salvataggio dei dati. Nella configurazione 2 è presente una WiFi card PCMCIA⁷ che aggiunge la funzionalità di Wireless Ethernet⁸ all'acquisitore.

Le modalità di acquisizione sono le seguenti:

1. Modalità *continua*: sistema sempre in acquisizione.
2. Modalità *windows*: il sistema è controllato da i comandi di start e di stop.
3. Modalità *trigger*: il sistema registra soltanto se il trigger, fornito da un algoritmo interno tipo STA/LTA, è attivo.
4. Modalità *trigger esterno*: simile al precedente ma l'evento trigger è dato da un segnale esterno.
5. Modalità *custom*: il sistema viene programmato per acquisire automaticamente per finestre temporali predefinite.

È possibile inoltre programmare il salvataggio dei dati, ossia definire le procedure in base alla disponibilità di spazio sul disco rigido. Sono offerte le seguenti possibilità:

1. Modalità *ring buffer*: sovrascrive i dati più vecchi lasciando un messaggio in un file di log

⁵ I dati saranno formattati all'atto della copia da flash a microdrive.

⁶ Con l'acquisitore viene fornito un software che permette di convertire i dati dal formato TITAN2 in un qualsiasi altro formato utilizzato in campo sismologico (SAC, mini SEED, ASCII ecc)

⁷ Il chipset della WiFi card deve essere un PRISM 2.5

⁸ La rete wireless funziona soltanto in modalità ad hoc

2. Modalità *stop*: ferma l'acquisizione quando il disco è pieno
3. Modalità *backup*: salva i dati nel disco di backup (nel caso sia presente il secondo HD da 5Gb).

4.5 Gestione del Tempo

Il delicato problema della sincronizzazione temporale dei segnali acquisiti viene affrontato e risolto utilizzando diversi dispositivi elettronici ed opportuni moduli software, che consentono di controllare la deriva temporale ed i tempi di propagazione dei segnali attraverso i filtri digitali. Il sistema di gestione del tempo dell'acquisitore si basa sui seguenti dispositivi:

- *DSP clock*: orologio interno al DSP basato su tecnologia TCXO (Temperature Constrained Clock) con una stabilità di ± 1 ppm e precisione di $1\mu\text{s}$.
- *SYS clock*: orologio interno al microprocessore ARM la cui stabilità non è nota, mentre la precisione si attesta su ± 1 s.
- *RTC clock*: orologio real time la cui stabilità è sconosciuta ed ha una precisione di ± 1 s. Possiede una batteria tampone che lo alimenta anche quando la batteria interna dell'acquisitore è sconnessa o scarica.
- *GPS clock*: orologio del GPS per definizione stabile e preciso.
- *PPS*: per definizione molto preciso ($1\mu\text{s}$) e molto stabile, fornisce un segnale temporale relativo.

Il ricevitore GPS utilizzato è il Garmin 16 HVS. Considerato che l'interazione tra i diversi dispositivi temporali è gestita da un modulo software specifico, maggiori dettagli saranno riportati di seguito.

4.6 Consumi sistema di gestione dell'acquisitore

L'utilizzo combinato del microprocessore ARM e dei sistemi di storage consente all'acquisitore una gestione intelligente dei consumi. Questo compito è assunto da apposite routine che disabilitano tutti i dispositivi non utilizzati (GPS, radio, sensori, LED di stato, dischi ecc). Grazie all'utilizzo di una buffer interno di 10Mb su memoria flash, l'attività del disco⁹ è ridotta a meno di 5 secondi di utilizzo per ogni ora di funzionamento a 100sps complessivi. Quando il buffer è pieno per l'80% i dati in esso contenuti sono trasferiti sul microdrive che sarà spento a fine operazione. Questa modalità di funzionamento è automaticamente disabilitata quando il flusso di dati per tutti i canali raggiunge un rate superiore a 6Ksps complessivi, in questo caso i dati sono salvati direttamente sul microdrive.

Nella seguente tabella sono riportati i consumi dichiarati dalla casa costruttrice.

⁹ Essendo un dispositivo elettromeccanico (microdrive) ha i consumi più alti fra tutti i dispositivi

	6 canali	6 canali
Modalità funzionamento	@ 100 sps	@ 1000 sps
No HD, No GPS	1,04W	1,08W
No HD, GPS acceso	1,92W	1,96W
HD in scrittura, No GPS	2,43W	2,4W

Si può notare che i consumi, in condizioni normali, non superano mai i 3W. Un maggiore assorbimento è previsto in fase di accensione per un limitato intervallo di tempo (900mA per qualche secondo).

L'acquirente è, inoltre, dotato di una batteria interna da 2900 mA, ricaricata tramite l'alimentazione principale, che consente, in caso di mancanza di alimentazione, di effettuare uno spegnimento corretto ed evitare eventuali problemi nella successiva fase di accensione, inoltre, è utilizzata per alimentare il DSP in modo che conservi le informazioni sul tempo nel caso in cui sia necessario effettuare una sostituzione della batteria principale.

Al fine di preservare le batterie esterne da un'eccessiva scarica che le danneggerebbe irreversibilmente, l'acquirente è dotato di un sistema di spegnimento automatico attivato quando viene raggiunto il limite di 9V dell'alimentazione esterna.

5 Software

Precedentemente si è fatto già riferimento a funzionalità fornite da moduli software, come il modulo che si occupa della gestione dei consumi o quello che controlla la politica di salvataggio dei dati su disco, in questo paragrafo verrà fatta una panoramica dettagliata delle funzioni disponibili.

Ricordiamo che il sistema operativo utilizzato è LINUX versione kernel 1.4.18. Di seguito è riportato lo schema che riassume l'insieme dei moduli o "demoni" che si occupano della gestione di specifiche periferiche.

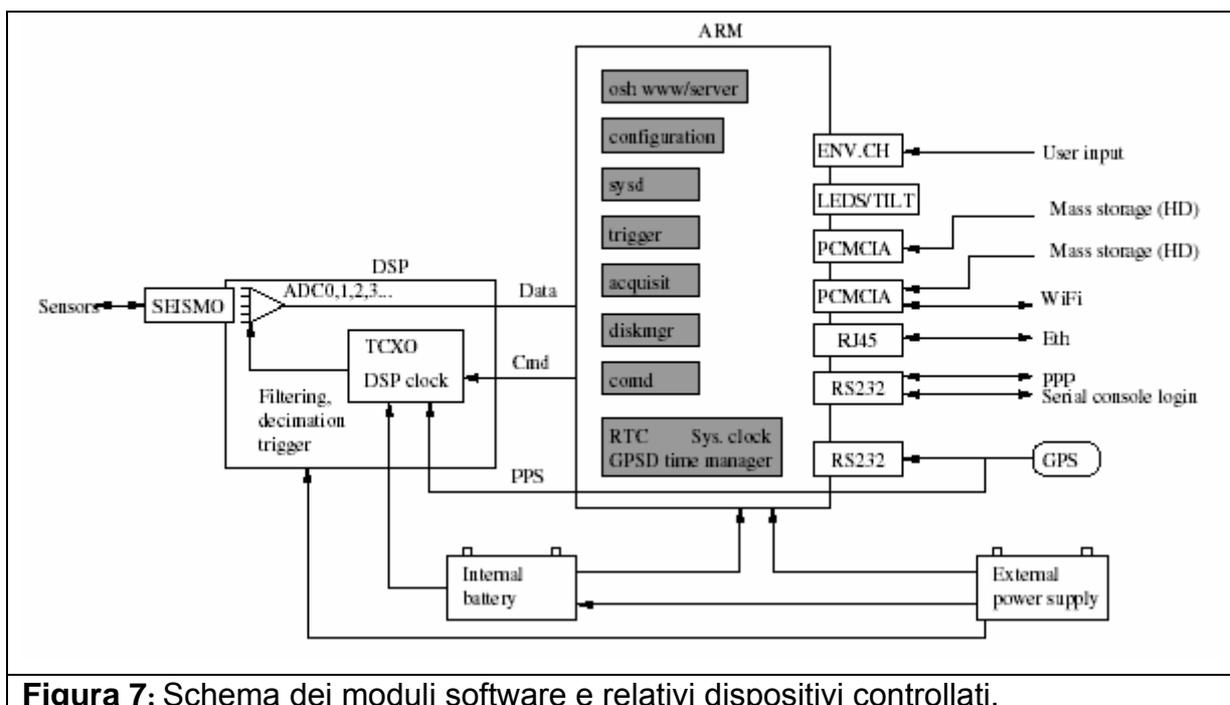


Figura 7: Schema dei moduli software e relativi dispositivi controllati.

I principali moduli software (o demoni) sono:

1. *acquisite*: si occupa della parte di elaborazione dei dati che arrivano dal DSP e del calcolo dei valori di LTA e STA
2. *comd*: si occupa di tutto ciò che riguarda la rete di acquisitori e della gestione delle interfacce di rete sia wireless che wired
3. *configuration*: si occupa della parte che riguarda la configurazione dei parametri di funzionamento dell'acquisitore ed il relativo salvataggio e/o recupero dalla memoria FLASH
4. *diskmanager*: si occupa della gestione dei dischi, controlla lo spazio disponibile e ne libera quando occorre. In esso si trovano le funzioni che implementano le diverse modalità di registrazione (cycle, stop e backup)
5. *gpsd*: si occupa della gestione del tempo, calcola il drift temporale e fornisce il valore del timestamp utilizzato per marcare temporalmente i dati acquisiti.
6. *osh www/server*: si occupa della parte di sistema riguardante la shell di comandi, chiamata OSH (Osiris SHell) e del web server per il controllo remoto della stazione tramite browser (Internet Explorer, Mozilla ecc)
7. *sysd*: controlla il sistema, ivi compreso la parte riguardante l'accensione e lo spegnimento dei LED, lo stato della batteria interna, la temperatura interna e tutti i parametri ambientali.

Dei moduli precedenti saranno descritti soltanto i principali, come quello relativo alla gestione del tempo che aiuterà a capire maggiormente l'approccio adottato, e quello che si occupa della gestione della network caratterizzato da una funzione speciale ed utilissima chiamata ROUTING DINAMICO. Si terminerà la discussione sul software elencando le caratteristiche di OSH e del web server ed evidenziando la parte che riguarda la programmazione implementata dall'utente.

5.1 Software (Routing Dinamico)

Prima di addentrarci nei dettagli del Routing Dinamico¹⁰, sistema innovativo che soltanto l'OSIRIS offre, si vuole chiarire un aspetto fondamentale che rende questa tecnica possibile e funzionante. Ogni dispositivo che ha la capacità di connettersi ad una network, indicato con il termine host, deve essere identificato univocamente all'interno della network mediante un indirizzo, denominato IP address.

Nel caso dell'acquisitore OSIRIS, il proprio indirizzo IP è calcolato automaticamente a partire dal MAC¹¹ address del dispositivo di rete utilizzato per connettersi materialmente alla rete (scheda di rete e/o scheda wireless), assicurando che ogni acquisitore avrà il proprio indirizzo IP in maniera univoca. Gli indirizzi IP degli acquisitori che utilizzano la scheda di rete come dispositivo di connessione appartengono alla major network 10.64.0.0/16, mentre quelli che utilizzano la scheda wireless appartengono alla major network 10.128.0.0/16. Per semplificare il sistema si utilizza un indirizzo IP "virtuale" appartenente alla major network 10.37.0.0/16 che sarà associato automaticamente

¹⁰ Routing è il termine utilizzato nell'ambito del networking per indicare il processo che consente di trovare il percorso per raggiungere un host partendo da un altro host. Il termine dinamico indica che il processo è gestito automaticamente dagli host mediante scambio di dati.

¹¹ MAC (Media Access Control) è un numero che identifica univocamente sulla rete un dispositivo di rete. Viene assegnato dalle case costruttrici dei dispositivi.

l'indirizzo IP dell'interfaccia che avrà una velocità maggiore, in questo modo la rete di acquisitori sarà sempre configurata secondo la topologia ottimale.

Su ogni acquisitore è inoltre in esecuzione un modulo denominato *comd* che implementa il processo di routing dinamico che consente ad ogni acquisitore di conoscere la perfetta topologia della rete e quindi:

- Sapere quanti e quali acquisitori sono connessi in rete.
- Come arrivare ad ognuno di essi. (Route)

Ciò comporta diversi vantaggi:

- Eventuali modifiche della topologia della rete, dovute all'inserimento o dismissione di acquisitori, saranno automaticamente identificate.
- Si potrà utilizzare un singolo acquisitore per spedire in broadcast¹² eventuali richieste di informazioni o comandi, senza dover eseguire le singole operazioni.
- Usare una network ibrida composta da parte wired e parte wireless, senza doverla configurare.
- Utilizzare il protocollo NTP (Net Time Protocol) che permette di sincronizzare con una precisione di $\pm 4s$ tutti gli orologi degli acquisitori in rete. La miglior stima del tempo assoluto sarà diffusa sulla rete di acquisitori.

Il dispositivo remoto (personal computer, palmare) che si vuole utilizzare per controllare l'acquisitore deve essere opportunamente configurato per funzionare correttamente. Ci sono due possibilità alternative:

1. Utilizzare il server DHCP in esecuzione sull'OSIRIS, che assegna automaticamente l'indirizzo IP all'host.
2. Utilizzare il software di routing dinamico prelevabile direttamente dall'acquisitore e chiamato *nrt*¹³.

Molto utile risulta la possibilità dell'utilizzo di una connessione wireless in modalità ad hoc che consente di comunicare con l'acquisitore senza l'utilizzo di cavi. Questa specifica permette di effettuare i controlli di funzionamento ai siti mantenendosi a decine di metri di distanza senza accedere alla struttura di ricovero di tutta la strumentazione sismica.

5.2 Software (Time Manager)

Il modulo *gpsd* si occupa della gestione del tempo utilizzando le informazioni fornite dai dispositivi temporali:

1. GPS (PPS, NMEA)
2. Orologio DSP
3. Orologio RTC
4. Orologio del microprocessore ARM (System Clock)

¹² Termine utilizzato per indicare tutti gli host della stessa rete

¹³ *Nrt* è utilizzabile soltanto su host con sistema operativo LINUX

Lo scenario in cui opera il sistema può essere suddiviso in due:

1. Il sistema riceve il segnale GPS
2. Il sistema non riceve il segnale GPS

Nel primo caso il GPS fornisce un segnale temporale continuo (PPS) utilizzato per sincronizzare sia il System Clock che l'RTC. Una volta al minuto il segnale GPS viene fornito al DSP che sincronizza il suo orologio interno e lo utilizza per marcare i dati acquisiti (Time Stamp). I dati saranno successivamente inviati al modulo "acquisite" per le successive fasi di elaborazione. Tutte le informazioni temporali sono memorizzate in un file di log e utilizzate a posteriori per la ricostruzione del processo di timestamp. Sempre a posteriori si tiene conto del ritardo dovuto alla propagazione del segnale nei filtri digitali con un fattore correttivo ottenuto dalla seguente formula:

$$\delta t = \frac{127}{3200} + (4 \cdot 5^m \cdot 2^n - 3 \cdot 5^m - 1) \cdot \frac{126}{16000}$$

con n e m rispettivamente numero di decimazioni di ordine 2 e 5.

Quando il segnale GPS non è disponibile¹⁴ il segnale temporale è garantito dall'orologio interno al DSP (alimentato dalla batteria interna in caso di mancanza dell'alimentazione esterna). Al successivo ritorno del segnale, viene individuata la deriva temporale (differenza tra i tempi durante due successivi impulsi di GPS). Quando il sistema viene avviato ed esegue le operazioni di boot, viene considerato il tempo riportato dal RTC (alimentato a batterie e mai spento) come prima stima del valore tempo.

Tipicamente per una configurazione che prevede l'accensione del GPS una o due volte al giorno la differenza tra il tempo tra due sincronizzazioni successive è di circa 1ms. Accendendo il GPS una volta all'ora il drift scende al di sotto del ms per raggiungere 1μs quando resta sempre acceso.

5.3 Configuration Software

La configurazione ed il controllo dello stato di funzionamento dell'acquisitore può avvenire in diversi modi:

- Attraverso una sessione telnet e l'utilizzo della shell di comandi OSH
- Attraverso una sessione http e l'utilizzo del web server in esecuzione sull'acquisitore
- Attraverso la porta 2323 sulla quale l'acquisitore è sempre in ascolto

L'OSH (Osiris SHell) è una shell di comandi mediante la quale è possibile impostare tutti i parametri e controllare lo stato di funzionamento ivi compreso quello dei "demoni" addetti allo svolgimento di diversi compiti. L'insieme dei comandi possibili può essere raggruppato nei seguenti gruppi funzionali:

- Controllo sensori sismici
- Controllo tempo
- Controllo parametri di configurazione

¹⁴ Dovendo tenere i consumi sotto controllo sarebbe impensabile considerare il GPS sempre acceso.

- Controllo network
- Controllo registrazione
- Comandi di sistema
- Comandi stato acquisitore
- Controllo disco

Nella classe dei controlli riguardante i sensori, ricadono i comandi che consentono di effettuare la calibrazione remota dei sensori connessi. Mediante questi comandi è possibile definire il numero e la durata in ms degli impulsi che costituiscono la forma d'onda fornita alla bobina di calibrazione del sensore.

Le stesse operazioni possibili in modalità testuale con OSH sono implementate in http. In questa modalità la configurazione dell'acquisitore avviene mediante una pagina html aperta sulla porta 8080 con un qualsiasi browser (Internet Explorer, Mozilla, ecc). Questa modalità risulta essere più intuitiva rispetto alla precedente e dà la possibilità anche ad utenti non esperti di configurare il sistema (figura 8). Sempre in questa modalità è disponibile un applet Java che consente di visualizzare in tempo reale i sismogrammi relativi a tutti i canali acquisiti. Infine tutti i comandi implementati in OSH possono essere dati all'acquisitore utilizzando la porta 2323 su cui resta sempre in ascolto. Quest'ultima modalità risulta essere molto comoda non solo perché evita l'operazione di connessione alla stazione, ma anche perché può essere utilizzata per la realizzazione di software per il monitoraggio di parametri particolari (temperatura, memoria libera ecc)¹⁵.

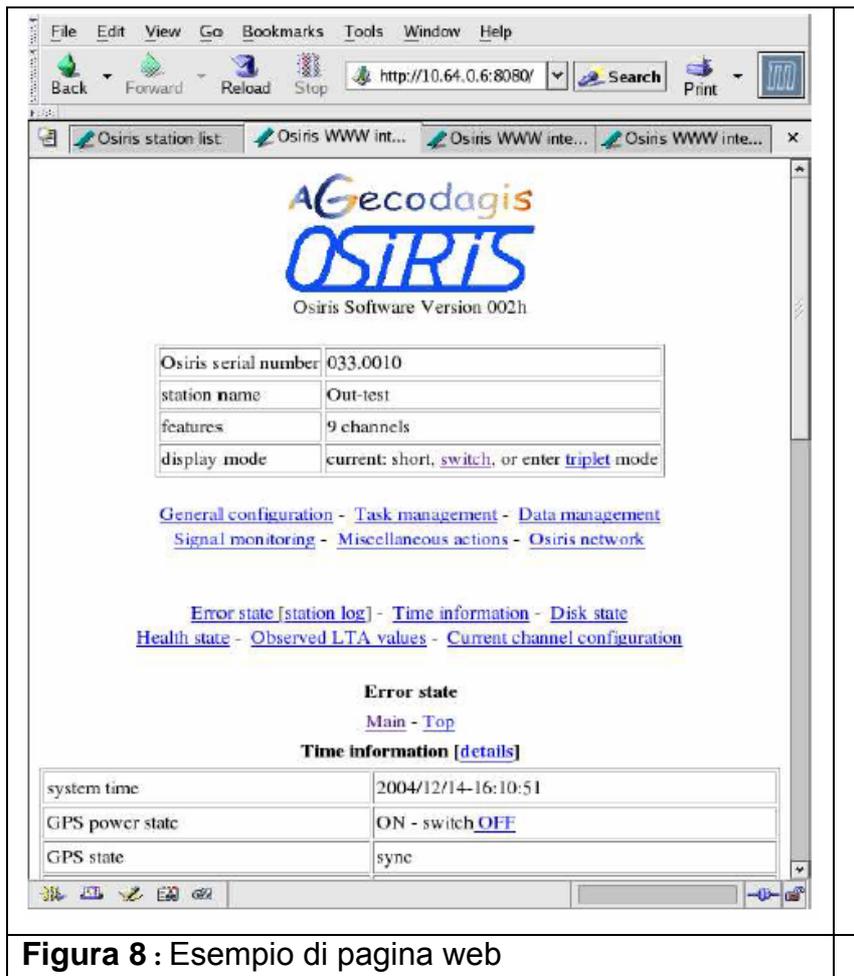


Figura 8 : Esempio di pagina web

¹⁵ In seguito verrà mostrata un'applicazione che utilizza questa modalità per la realizzazione di procedure di collaudo.

Una caratteristica importante del software di gestione è rappresentata dalla possibilità di costruire delle tabelle di operazioni (task) che possono essere eseguite ad istanti di tempo determinati. La funzionalità non è estesa a tutti i possibili comandi ma soltanto a quelli effettivamente utili allo scopo, ad esempio:

- Accensione/Spengimento GPS
- Accensione/Spengimento della radio
- Attivare l'operazione di svuotamento della flash a carico del disco (Flush)
- Avvia e sospendere una registrazione.
- Alimentare/Spengere i sensori

Infine per recuperare dati dalla stazione basterà inserire un apposito comando (data) specificare la finestra temporale che si desidera ed il numero dei canali. Il file così recuperato sarà in formato proprietario TITAN2, e potrà essere successivamente convertito in uno dei formati maggiormente utilizzati in sismologia (SAC, ASCII, miniSEED ecc). Il software di conversione, denominato *cvtit*, è fornito a corredo della strumentazione. Nel caso di gestione di una rete di acquisitori OSIRIS è fondamentale l'utilizzo di un software, denominato OCLIEN (fornito dalla casa costruttrice), che consente di interagire contemporaneamente con tutti gli acquisitori presenti nella rete, con conseguente riduzione dei tempi di configurazione.

5.4 Realizzazione di Programmi Propri

L'ambiente di sviluppo, compreso i codici sorgenti della shell OSH, sono open source, quindi liberi e disponibili per essere studiati ed utilizzati e, pertanto, è possibile sviluppare software originale non compreso nel pacchetto iniziale. Utilizzando questa caratteristica si possono implementare algoritmi in C di analisi che eseguiti sull'acquisitore stesso consentono uno snellimento per tutto ciò che riguarda tempi di analisi e trasmissione dei dati. Sviluppato il programma ed effettuata la successiva fase di compilazione, sarà possibile salvarlo sul supporto di massa flash nell'acquisitore. Nei paragrafi successivi vedremo alcuni esempi.

6 Procedure di collaudo degli acquisitori OSIRIS

Dopo aver studiato in dettaglio l'acquisitore dati OSIRIS, ci occuperemo della progettazione e la realizzazione di procedure di test il cui fine è:

- verificare la corrispondenza delle caratteristiche a quanto specificato nei manuali
- verificare le modalità di funzionamento per le specifiche esigenze della rete sismica del CRdC-AMRA

In particolare sono stati effettuati dei test riguardanti i consumi, la trasmissione dei dati, il controllo remoto e la dipendenza dei parametri di acquisizione dalle condizioni ambientali. Tali test sono stati effettuati su tutti gli acquisitori che compongono la rete sismica del CRdC-AMRA.

Di seguito sono descritti i test effettuati con le modalità di effettuazione e i risultati ottenuti.

6.1 Consumi

Ricordiamo che l'acquisitore OSIRIS-6 è un sistema 24-bit a 6 canali, basato su un microprocessore ARM, Digital Signal Processor (DSP), Hard Disk PCMCIA, ricevitore GPS e sistemi di comunicazione ethernet (wired e wireless) e seriale. Ognuno di questi dispositivi assorbe una certa quantità di corrente a cui si somma quella assorbita dai sensori connessi¹⁶.

Per stimare questi valori si è utilizzato un alimentatore da laboratorio 0-20V/0-0.5A Agilent, con amperometro digitale incorporato sensibilità 10mA. Una volta alimentato a 12 V l'acquisitore, si sono attivati di volta in volta i vari dispositivi¹⁷ e, per differenza, si sono ottenuti i singoli valori. Di seguito sono riportati i risultati:

ARM+DSP	Ethernet	GPS	SENSORE GURALP GM5T	SENSORE EPI SENSOR	WiFi	DISK	Consumo (mA) ±10mA
•	•						90
•	•				•		180
•	•	•					160
•	•	•	•				210
•	•	•		•			290
•	•	•	•	•			340
•	•	•		•		•	460
•	•	•	•	•		•	490

Le caselle contenenti il simbolo “•” indicano il dispositivo attivato, mentre la colonna finale indica il consumo dei singoli dispositivi. Di seguito è riportata la tabella che riassume i consumi misurati con quelli dichiarati dalla casa costruttrice:

Dispositivo	Consumo Misurato (mA) ±10 mA	Consumo Dichiarato(mA) ±10 mA
ARM+DSP+ETHERNET	90	100
GPS	70	65
DISK	150	100
WIFI	90	90
GURALP	50	53
EPISENSOR	130	130

¹⁶ Dipendente dal tipo di elettronica utilizzata per condizionare il segnale

¹⁷ Attraverso i comandi OSH

In alcuni casi i valori misurati sono in perfetto accordo con quelli dichiarati, in altri, invece, si notano lievi differenze dovute alla non perfetta riproducibilità delle condizioni ambientali in cui sono state effettuate le prove dalla casa costruttrice (temperatura, umidità). Effettuando una somma dei consumi otteniamo 580 mA per un totale di circa 6,5W a 12V che deve considerarsi il consumo massimo dell'acquisitore con tutte le periferiche in funzione e due accelerometri connessi. Considerando che i dispositivi sono gestiti dal software ed attivati solo quando necessari, i consumi si attestano intorno ai 3W.

6.2 Misura del rumore elettronico interno

Questo test serve per quantificare il livello di rumore elettronico prodotto dai componenti dell'acquisitore stesso al fine di valutarne la sensibilità, ovvero l'ampiezza del segnale minimo che può essere acquisito dallo strumento nonché la risoluzione.

Nel caso specifico del sistema di acquisizione OSIRIS ricordiamo che si ha un convertitore analogico-digitale ADC a 24 bit con una tensione di ingresso di 10 V_{pp}. La risoluzione sarà di $LSB=10V_{pp}/2^{24}=0.596\mu V$. In teoria l'ADC è sensibile a variazioni di 0,596 μV del segnale di ingresso. In pratica, come rilevato dal datasheet dell'ADC, esiste un livello di rumore elettronico quantificabile in 5 bit, ossia ($2^5=32$ conteggi)*LSB=19.00μV.

Lo scopo di questo test è verificare se il livello di rumore elettronico dell'acquisitore è compatibile con quello dichiarato dalla casa costruttrice dell'ADC o superiore, in quest'ultimo caso l'aumento sarebbe imputabile all'elettronica di controllo.

Il setup sperimentale per la realizzazione di questo test è il seguente:

I segnali di ingresso sono stati cortocircuitati verso massa (ciò garantisce che nessun segnale elettrico sia presente all'ingresso all'acquisitore), ed è stata avviata una registrazione per 5 ore circa.

Di seguito sono riportati i risultati relativi alla prima terna di componenti (canali 0,1 e 2):

I dati acquisiti sono conteggi di ADC che si distribuiscono intorno al valor medio (offset del sistema) con un determinato scarto seguendo un andamento gaussiano (figure 9, 10 e 11). La misura del livello di rumore elettronico è fornita dalla larghezza della gaussiana. Per i canali considerati questa larghezza risulta sempre inferiore al limite dei 32 conteggi dell'ADC, quindi il rumore elettronico presente è dovuto al convertitore e non ci sono altri fattori che lo influenzano.

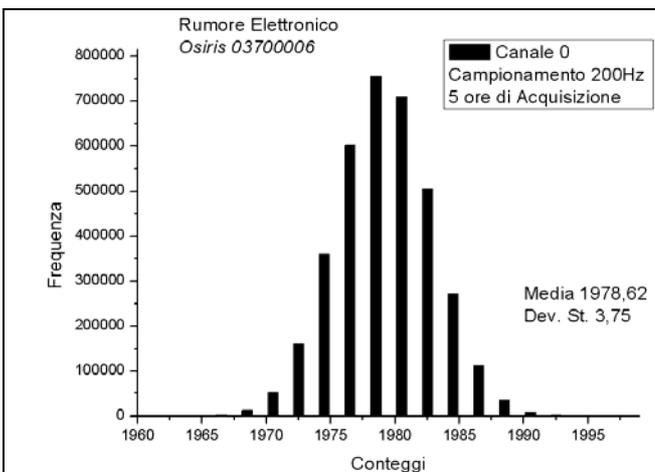


Figura 9: Distribuzione rumore Canale 0

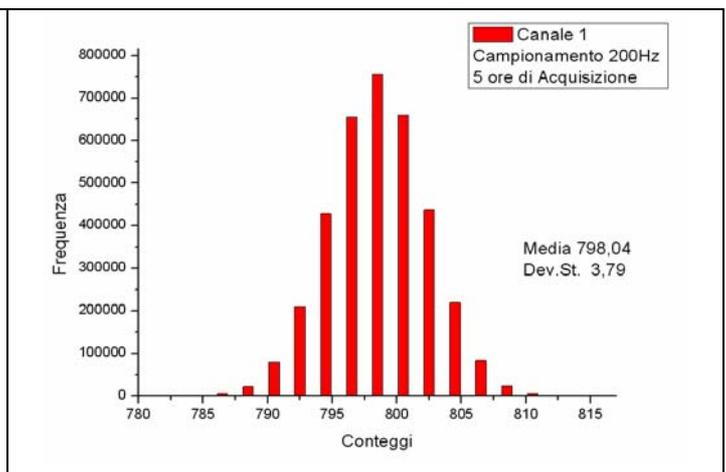


Figura 10: Distribuzione rumore Canale 1

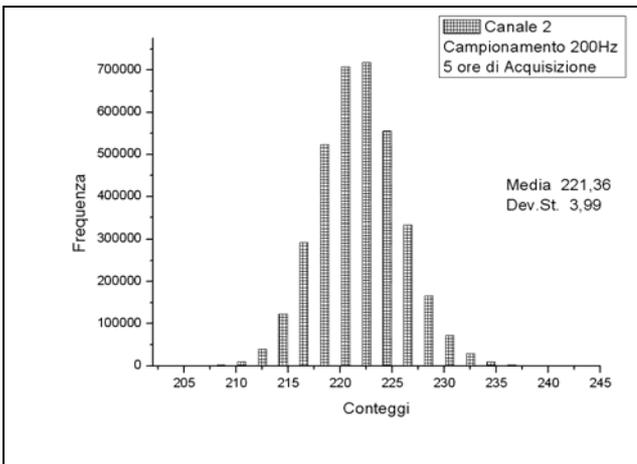


Figura 11: Distribuzione rumore Canale 2

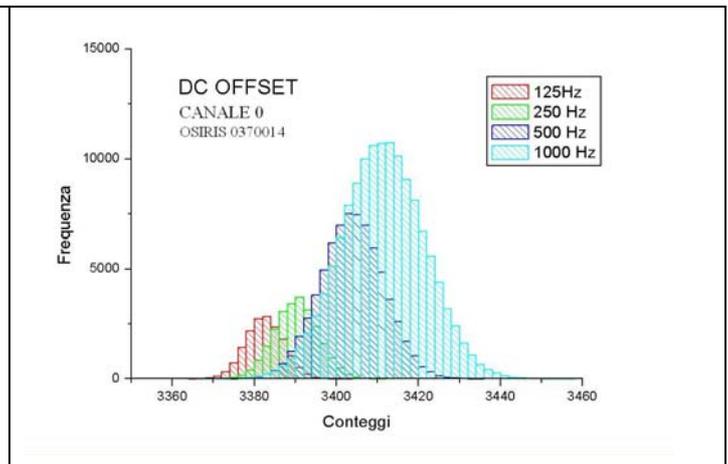


Figura 12: Distribuzione rumore a diverse frequenze di campionamento Canale 0

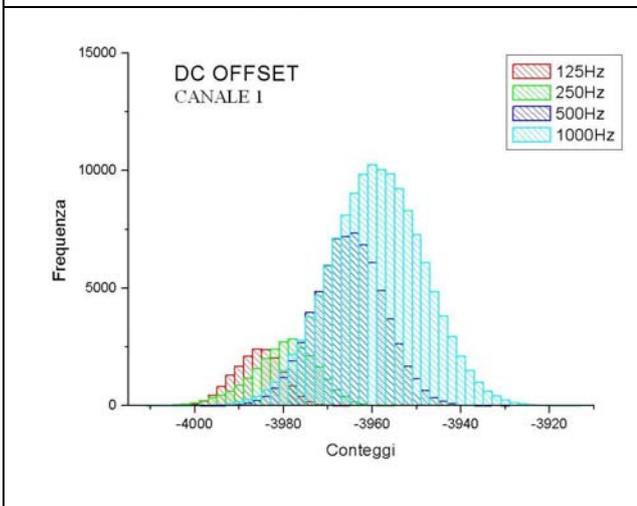


Figura 13: Distribuzione rumore a diverse frequenze di campionamento Canale 1

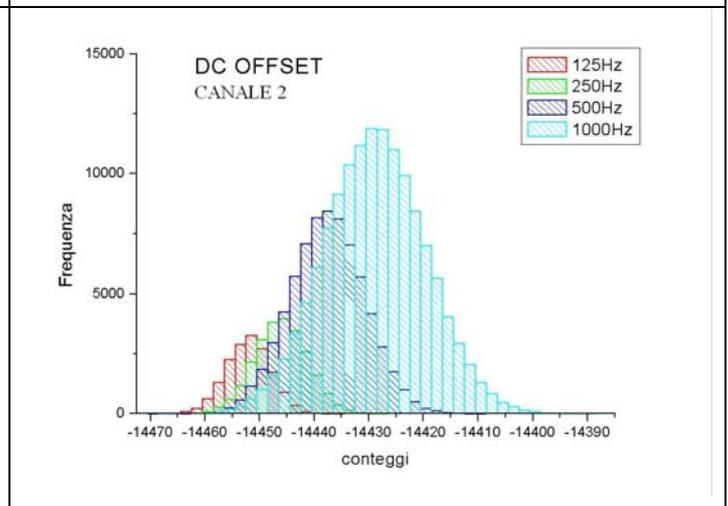


Figura 14: Distribuzione rumore a diverse frequenze di campionamento Canale 2

Per verificare la dipendenza del livello di rumore dalla frequenza di campionatura del segnale, sono state fatte misure di rumore per vari valori del passo di campionamento. La modalità di esecuzione della prova è identica a quella precedentemente illustrata, ma ripetuta per diverse frequenze di campionamento (125, 250, 500 e 1000 Hz). I risultati sono riportati nelle figure 12,13 e 14. Si può notare che per tutti i canali ad un aumento della frequenza di campionamento corrisponde un lieve aumento del rumore (gaussiane più larghe) e un altrettanto lieve aumento assoluto del valore di offset (gaussiane traslate verso sinistra).

Risulta evidente che ogni canale è caratterizzato da un determinato valore di offset che va a sommarsi al segnale di ingresso. In questo caso, essendo i segnali in ingresso cortocircuitati a massa e quindi nulli, i conteggi di ADC forniscono direttamente una stima del valore di offset.

6.3 Verifica crosstalk

Con il termine crosstalk si indica il rumore indotto su un canale dovuto alla presenza di una tensione di ingresso su un canale attiguo. Lo scopo di questo test è verificare la possibilità di mutua influenza tra i vari canali sismici in acquisizione.

La modalità di esecuzione è la seguente:

1. Si effettuano misure di rumore per i singoli canali con gli ingressi cortocircuitati verso massa ed il quarto canale libero. Si costruiscono i relativi istogrammi.
2. Si connette il quarto canale con il generatore di funzioni e si imposta un segnale sinusoidale a diverse frequenze. Si ripetono le misure del punto precedente e si costruiscono i nuovi istogrammi.
3. Si confrontano gli istogrammi e si valutano gli spostamenti delle gaussiane.

Di seguito sono riportati i risultati per 3 canali (0,1 e 2) con e senza un segnale sinusoidale da $5V_{pp}$ a 200Hz applicato sul canale 4.

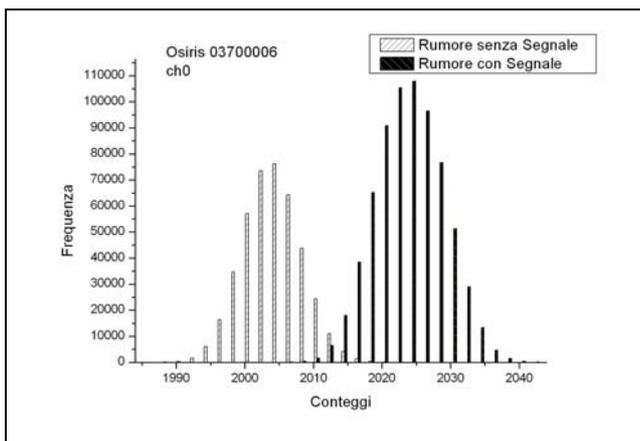


Figura 15: Crosstalk Canale 0

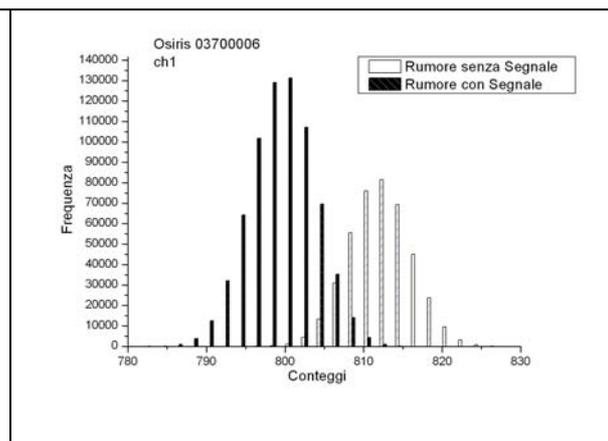


Figura 16: Crosstalk Canale 1

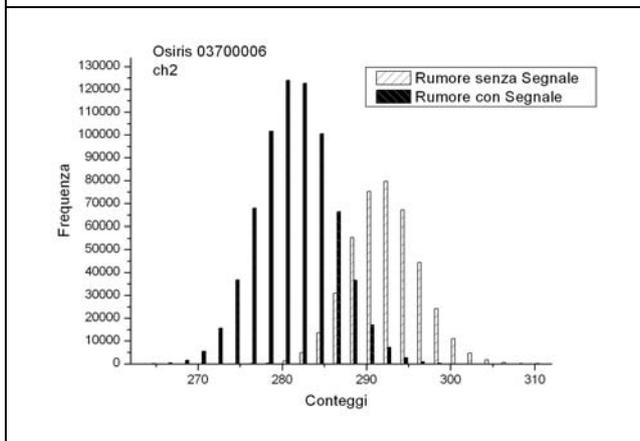
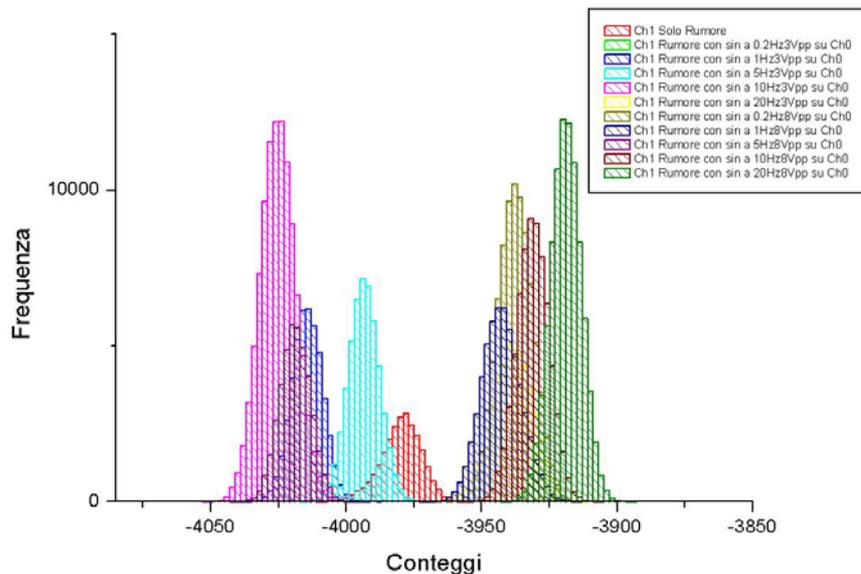


Figura 17: Crosstalk Canale 2

Si può notare che la presenza di un segnale su un altro canale provoca uno spostamento della gaussiana per tutti e tre i canali, in alcuni casi positivo in altri negativo. La differenza tra i picchi delle gaussiane nei due casi fornisce una stima quantitativa dell'effetto di crosstalk. I risultati sono riportati nella seguente tabella:

	Offset SENZA ch3	(μ V) Segnale	Offset CON ch3	(μ V) Segnale	Variazione in μ V
Ch0	2003.52		2025.83		13.2
Ch1	811.64		797.70		-8.36
Ch2	291.73		279.59		-12.14

In ogni caso lo spostamento risulta essere irrilevante qualche μ V su una scala in Volts. Interessante è risultato lo studio del comportamento del crosstalk al variare delle frequenze del segnale applicato che porta a concludere che la traslazione dell'offset di un canale, dovuta alla presenza di un segnale su un altro canale è casuale.



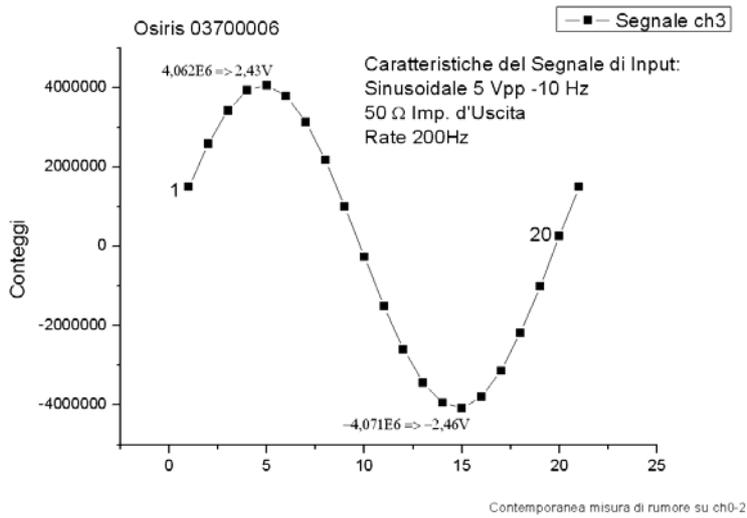
6.4 Verifica campionamento

Lo scopo di questo test è verificare se il segnale acquisito riproduce correttamente il segnale dato in ingresso e se la frequenza di campionamento impostata sull'acquisitore è effettivamente utilizzata per acquisire.

Il setup sperimentale per questo test è il seguente:

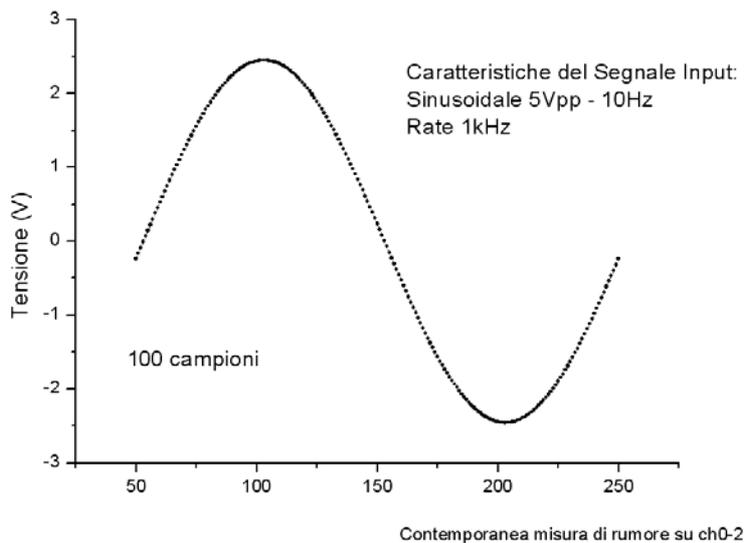
Si connette l'output del generatore di segnali con i canali di ingresso dell'acquisitore e si imposta una forma d'onda nota. Una volta regolata la frequenza di campionamento sull'acquisitore si avvia la registrazione dei dati.

I risultati riportati di seguito si riferiscono ad un singolo canale e sono stati ottenuti utilizzando in ingresso un segnale sinusoidale da 10Hz e 5 V_{pp}. Le acquisizioni sono state fatte a due frequenze di campionamento diverse, 200Hz e 1Kz.



Questo grafico si riferisce all'acquisizione fatta a 200Hz. Come si può notare i punti acquisiti si posizionano perfettamente sul segnale d'ingresso ed anche la frequenza di campionamento è corretto. Infatti, per una frequenza di 10Hz del segnale d'ingresso e per 200Hz di rate abbiamo acquisito 20 campioni. Da notare una lieve differenza del valore massimo misurato, rispetto a quello del segnale in ingresso. Questo è dovuto al non adattamento delle

impedenze di uscita del generatore di funzioni e di ingresso dell'acquisitore.



Questo grafico è simile al precedente, ma è relativo all'acquisizione fatta a 1KHz. Anche in questo caso il segnale è riprodotto correttamente e la frequenza di campionamento è corretto. Infatti, abbiamo acquisito in un secondo 100 campioni, in relazione ad un segnale di ingresso a 10Hz ed un rate di 1KHz.

6.5 Verifica Offset vs Temperatura

Lo scopo di questo test è verificare la variazione del livello di offset dei canali dell'acquisitore al variare della temperatura interna dell'acquisitore. Il setup sperimentale è dato dall'OSIRIS con i canali cortocircuitati verso massa (in modo da acquisire rumore distribuito intorno all'offset), operante in una cella frigorifera a temperatura di circa -5°C. Nella seguente immagine è riportato l'andamento del segnale registrato al variare della temperatura interna¹⁸.

¹⁸ L'andamento della temperatura interna è riportato nel paragrafo "Implementazione di software originale sull'acquisitore OSIRIS"

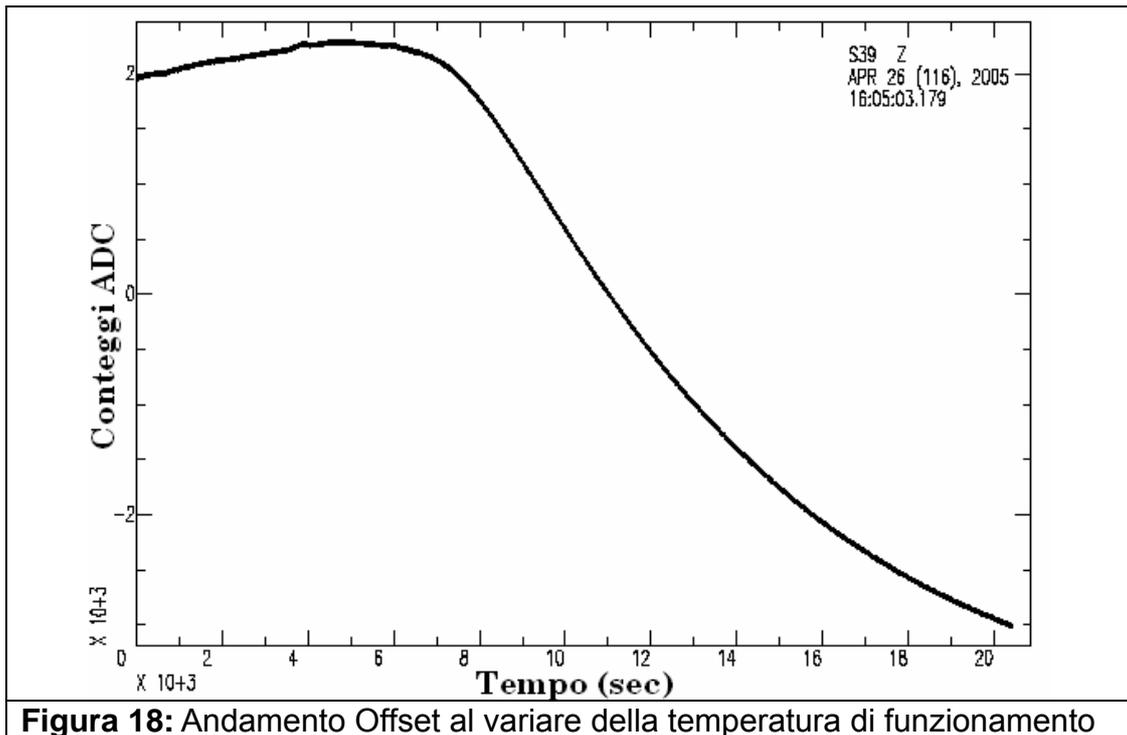


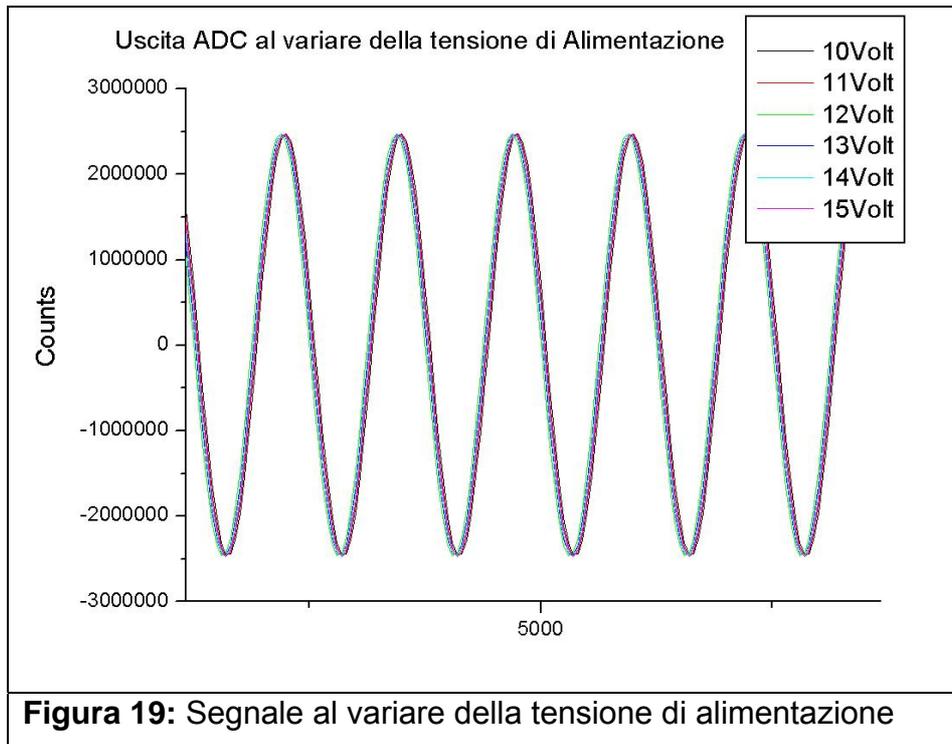
Figura 18: Andamento Offset al variare della temperatura di funzionamento

Si può notare che al rumore elettronico (rappresentato dallo spessore della curva in figura 18) si sovrappone una portante che rappresenta l'offset variabile con la temperatura. Comunque bisogna tener conto che le variazioni sono dell'ordine di qualche millivolt sui 5V di fondo scala, quindi il sistema è stabile.

6.6 Verifica funzionamento a diverse tensioni di alimentazione

Questo test, molto semplice, consente di verificare che l'acquisitore funzioni correttamente indipendentemente dalla tensione di alimentazione ad esso applicata. Si ricorda che l'acquisitore può essere alimentato con tensioni variabili nell'intervallo (10-16.5)V. Il test è stato fatto collegando in ingresso ad un canale dell'acquisitore un segnale sinusoidale determinato, e variando, durante la registrazione la tensione di alimentazione. Si è partiti dalla tensione più bassa, cioè 10 V fino a raggiungere la tensione di 15 V. Nella figura seguente è riportato l'andamento del segnale acquisito per ogni valore di tensione applicato.

Il risultato è evidente, la variazione della tensione di alimentazione non compromette in nessun modo l'acquisizione. Infatti, i segnali non si degradano.



6.7 Verifica Trasmissione WiFi

La trasmissione dati rappresenta uno degli aspetti nevralgici di una rete sismica. In questo paragrafo ci occuperemo del collaudo del sistema di trasmissione degli acquisitori OSIRIS. In particolare saranno descritte le prove di connessione tra l'OSIRIS e un bridge CISCO utilizzando varie tipologie di antenne e posizionando l'OSIRIS a distanze crescenti dal bridge (fino a 5 km) al fine di verificare l'affidabilità e la robustezza della connessione, nonché la portata del segnale. Le prove sono state effettuate nel golfo di Pozzuoli posizionando l'acquisitore OSIRIS su di una imbarcazione che si allontanava dal laboratorio, posto sulla riva del mare a Bagnoli, dove era installato il bridge CISCO. Le prove hanno avuto una durata complessiva di circa 8 ore, nel corso di una giornata priva di intemperie e con mare calmo.

La strumentazione utilizzata è costituita da:

1. Acquisitore OSIRIS-6 con scheda WiFi PCMCIA Micronet SP905BD da 20mW¹⁹ con antenna omnidirezionale da 60 cm e guadagno 9dBi.
2. Bridge WiFi Aironet 1300 CISCO con antenna lineare (tipo Yagi) con guadagno 10 dBi o antenna parabolica (diametro 60cm) con guadagno 21 dBi.

Le configurazioni di trasmissione sono state:

1. OSIRIS - OSIRIS con schede Wifi PCMCIA e antenne a stilo da 60 cm.
2. OSIRIS - Bridge WiFi (con antenna tipo Yagi)
3. OSIRIS - Bridge WiFi (con antenna parabolica).

¹⁹ Data Rate 11, 5.5, 2 and 1Mbps e distanza massima 250m all'aperto.

La qualità del segnale è stata verificata con un software specifico fornito dalla CISCO, che consente di misurare la potenza di un segnale.

Per tutte le prove è stata verificata la stabilità della trasmissione dei dati ad una velocità di 11 Mbps. I risultati sono riassunti nella seguente tabella.

Tipo di connessione	Distanza massima raggiunta (metri)
OSIRIS-OSIRIS	250
OSIRIS-bridge Aironet (antenna tipo Yagi)	1000
OSIRIS-bridge Aironet (antenna parabolica)	5000

6.8 Test / Guadagni

Questo test consente di misurare il valore dei guadagni dello stadio di amplificazione analogico che amplifica i segnali provenienti dai sensori prima della conversione digitale (figura 4). Ricordiamo che l'acquisitore ha un range di tensione in ingresso variabile tra -5V a +5V. Poiché non tutti i sensori in commercio offrono questo intervallo di tensioni in uscita, è indispensabile poter selezionare dei guadagni d'amplificazione in modo che il segnale d'ingresso copra l'intero range a disposizione.

I possibili valori di amplificazione dell'OSIRIS, dichiarati dalla casa costruttrice, sono: 1, 10, 36 e 62.

Il test in esame permette di misurare sperimentalmente i valori di amplificazione al variare della frequenza del segnale d'ingresso.

I risultati riportati di seguito sono stati ottenuti impostando in ingresso un segnale sinusoidale da 8 mV_{pp} a diverse frequenze, 0,1 Hz, 0,2 Hz, 1Hz e 5Hz. Una volta acquisiti i segnali, sono stati calcolati i rapporti tra le ampiezze massime tra segnale d'ingresso e quello di uscita, cioè il guadagno di amplificazione.

GAIN	0,1 Hz		0,2 Hz		1 Hz		5 Hz	
	Vp OUT(mV)	Gain Calcolato						
1	4,09	1,00	4,06	1,00	4,10	1,00	4,05	1,00
10	37,72	9,22	37,49	9,23	37,96	9,26	37,19	9,19
36	147,59	36,07	146,40	36,05	147,94	36,08	145,42	35,94
62	254,05	62,08	252,93	62,28	256,09	62,45	251,50	62,17

Tutte le prove sono state effettuate considerando un segnale di ingresso di 8 V_{pp}

Come si può notare, i valori di guadagno calcolati (Gain Calcolato) di discostano di qualche percento dal valore atteso (GAIN).

6.9 Test / Drift Temporale

Uno dei requisiti fondamentali di ogni acquisitore per dati sismologici è la corretta sincronizzazione dei segnali acquisiti. Nei precedenti paragrafi si è mostrata la modalità

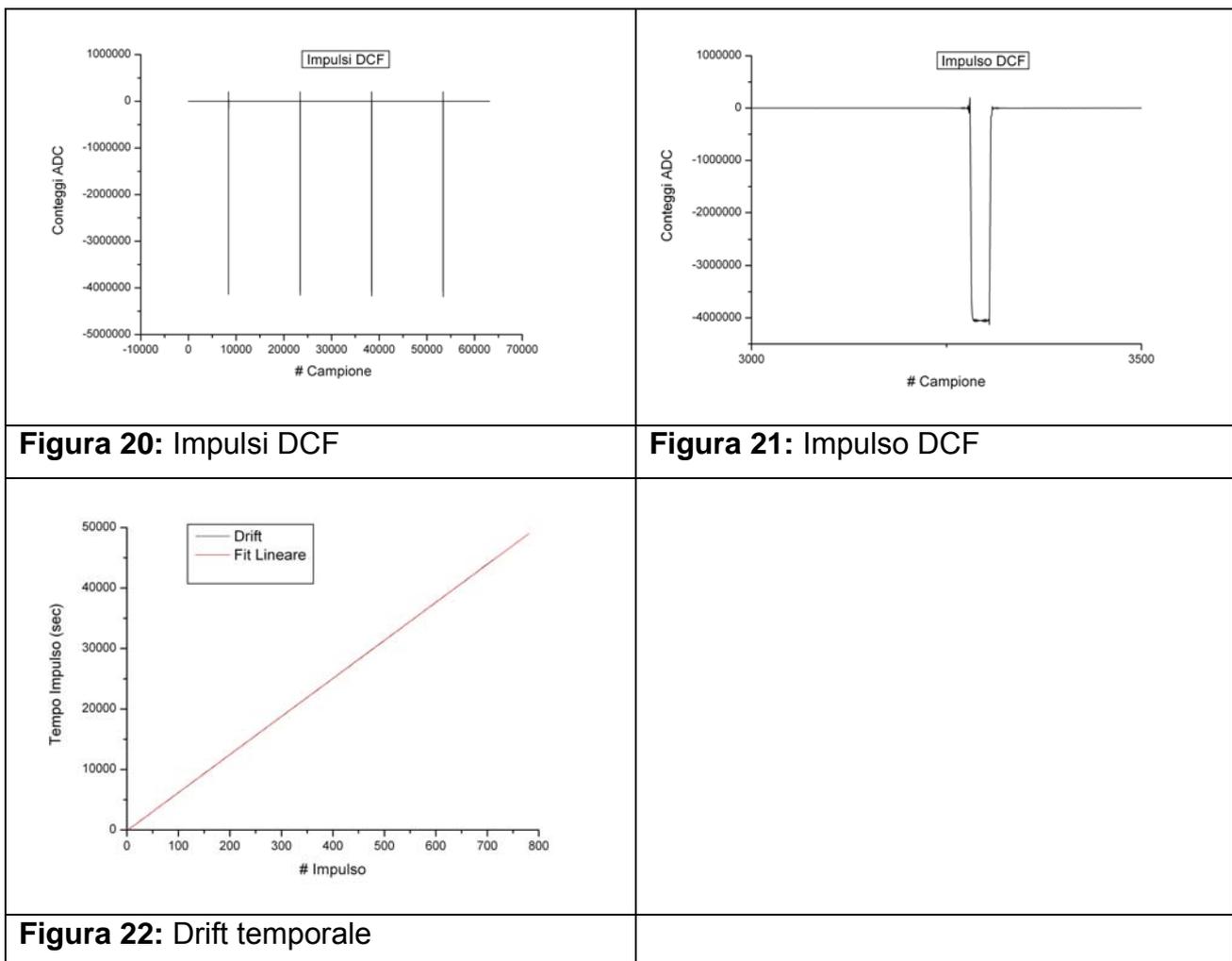
con cui viene affrontato dall'acquisitore OSIRIS. Questo test consente di verificare la qualità dell'orologio interno dell'acquisitore misurandone la deriva temporale.

E' stato utilizzato un apparato denominato Telecode (prodotto dalla LEAD France) costituito da un ricevitore del segnale GPS e un convertitore del codice del segnale tempo da GPS a DCF (1 impulso DCF al minuto). Il setup sperimentale consiste nell'immettere il segnale DCF all'ingresso di un canale dell'acquisitore ed acquisire il segnale DCF per circa 12 ore. Inizialmente, tramite il ricevitore esterno GPS dell'OSIRIS si sincronizza l'orologio interno dell'acquisitore con il segnale GPS. Successivamente il GPS viene scollegato così che il tempo riportato su i file dati acquisiti è solo quello riportato dall'orologio interno. Nella successiva fase di analisi si misura la deriva temporale calcolata sulla base dei tempi di arrivo degli impulsi del codice DCF.

Nella figura 20 è riportato il segnale registrato su un canale dell'acquisitore, mentre in figura 21 si trova un dettaglio della precedente.

Un programma, implementato in linguaggio C, permette di calcolare i tempi di arrivo dei singoli impulsi e di studiarne l'andamento. La figura 22 riporta il risultato relativo a 12 ore di acquisizione circa. La frequenza di campionamento del segnale è 250Hz, l'errore che si commette sulla stima del tempo di arrivo è di ± 1 campione equivalente a ± 4 ms.

Come si può notare i tempi di arrivo seguono un andamento lineare e ciò indica che il comportamento è corretto. Un drift non controllato tenderebbe a seguire andamenti che si discosterebbero da quello lineare.



6.10 Test / Ulteriori Prove

Oltre agli specifici test fin qui descritti, relativi al collaudo del funzionamento di un singolo componente dell'acquisitore OSIRIS, sono stati effettuati dei test sulle modalità operative globali dello strumento considerando contemporaneamente più parametri. Infatti, abbiamo rilevato che osservando in modo congiunto vari parametri si possono correlare molti fenomeni, per esempio, ad un aumento di carico di lavoro della CPU corrisponde un aumento della temperatura interna, e la quantificazione di questo effetto risulta preziosa per un corretto utilizzo dello strumento.

In particolare sono stati monitorati i seguenti parametri:

1. Valore tensione alimentazione e stato carica batteria interna
2. Temperatura interna
3. Percentuale di carico di lavoro della CPU
4. Andamento del riempimento dei supporti di massa: Flash e HD PCMCIA
5. Stato GPS, RADIO
6. Accuratezza degli orologi interni (RTC, DSP time, GPS time ecc)
7. Parametri calcolati dal DPS come valori LTA (Long Term Average)

Considerato il numero dei parametri selezionati e la necessità di monitorarli su ciascun acquisitore OSIRIS della rete sismica AMRA, ed aggiungendo la necessità di voler memorizzare i valori dei parametri per analisi successive, è stato sviluppato un software specifico che assolvesse a queste funzioni. Tale software è costituito da un database in cui vengono memorizzati tutte le caratteristiche degli acquisitori della rete sismica AMRA e da una procedura che interroga ciascun acquisitore a tempi prefissati e riporta nel database i parametri rilevati. L'interrogazione avviene attraverso la porta 2323 (vedi configuration software) su cui l'acquisitore resta sempre in ascolto per rispondere ai comandi.

Il database è stato implementato in Java, mentre il DBMS utilizzato è PostgreSQL, uno tra i più affermati strumenti open-source utilizzati oggi per la gestione dei database. Il nucleo del sistema è sostanzialmente indipendente da un web-server, ma l'interfaccia è stata sviluppata in Java Server Pages, per cui è necessario utilizzare un web-server per visualizzare l'interfaccia. Il web-server utilizzato è Apache Tomcat (ver. 4.1.27) ed il protocollo di comunicazione tra il sistema e gli acquisitori è il TCP/IP. L'interazione tra il sistema e gli acquisitori avviene attraverso una socket TCP²⁰.

Con il database è stato possibile verificare alcune funzionalità importanti implementate nell'acquisitore, prima fra tutte la gestione del disco in modalità ring o cycle. Ricordiamo che quando la memoria FLASH ha raggiunto il livello dell'80% della sua capacità, i dati sono salvati sul supporto di massa. Quando quest'ultimo è pieno per il 97% circa del suo spazio totale, i dati più vecchi sono cancellati e sostituiti con i più recenti²¹. La figura 23 mostra l'andamento temporale della percentuale di riempimento di un disco. Si osserva come in una prima fase ci sia un aumento incrementale, seguito da una fase di

²⁰ Si ricordi che il protocollo TCP serve a creare degli stream socket, cioè una forma di canale di comunicazione che stabilisce una connessione stabile fra due dispositivi, in modo che questi possano scambiarsi dei dati.

²¹ Ovviamente c'è un file di log in cui viene indicata la lista dei file cancellati

riempimento e cancellazione tipica dell'attivazione del processo di ring buffer o cycling (dettaglio figura 24).

Un ulteriore prova è stata la verifica delle prestazioni del microprocessore all'aumentare del carico di lavoro indotto da ulteriori programmi in esecuzione sull'acquisitore.

Oltre all'utilizzo nella fase di collaudo, il database è utilizzato per gestire l'intera strumentazione installata nei siti della rete, infatti, per ognuno di essi sono riportate le informazioni costruttive nonché i serial number che consentono l'identificazione univoca dei dispositivi.

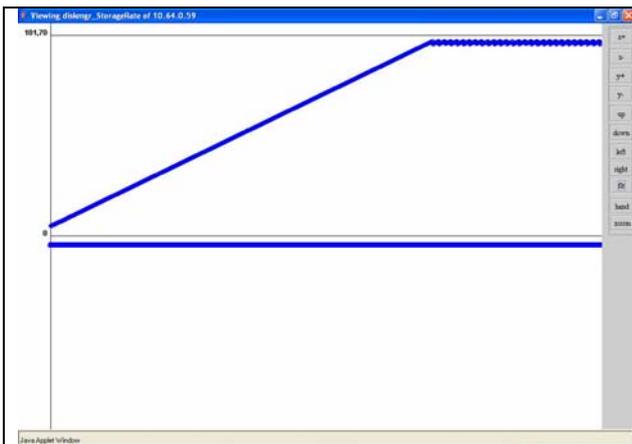


Figura 23: Riempimento HD PCMCIA

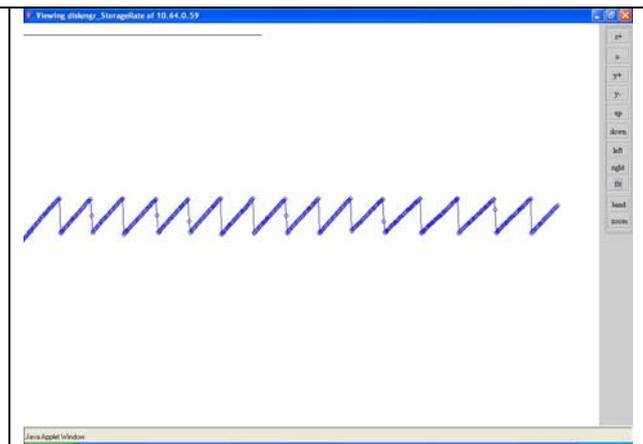


Figura 24: Dettaglio ring buffer o cycle

7 Integrazione dell'acquisitore OSIRIS in una rete sismica

Fino a questo punto l'acquisitore OSIRIS è stato visto come uno strumento indipendente capace di operare in modo autonomo al fine di acquisire, elaborare, immagazzinare e trasmettere i dati relativi a più sensori sismici. Nella presente sezione verrà descritta l'integrazione dell'acquisitore in una rete sismica e verranno illustrate le procedure software che a tal fine è stato necessario sviluppare.

Generalmente le reti sismiche sono gestite da uno specifico software di gestione, tra quelli più sviluppati compaiono Antelope e EarthWorm. Il primo è un sistema proprietario sviluppato dalla BRTT Inc (Boulder Real Time Technologies del Colorado) e commercializzato dalla Kinematics, EarthWorm è un sistema open source sviluppato presso l'USGS (United States Geological Survey). Attualmente EarthWorm è uno dei sistemi di gestione di reti sismiche più diffuso a livello mondiale. Questo sistema è stato scelto per la gestione della rete sismica del CRdC-AMRA. La scelta è dettata da molteplici vantaggi, infatti EarthWorm consente di inviare via rete i segnali provenienti dalle stazioni sismiche verso più centri di raccolta dati, permette di eliminare una serie di operazioni manuali velocizzando la comunicazione, favorisce l'implementazione di nuovi moduli per l'analisi in tempo reale dei dati, offre la possibilità di sviluppare applicazioni web based, permettendo la pubblicazione automatica dei dati processati e favorendo l'accesso remoto ai dati e ai sistemi.

Nella rete sismica AMRA sarà EarthWorm che si occuperà della trasmissione dei dati registrati localmente verso gli LCC (Local Control Center) e successivamente da questi verso il DSC (Data Storage Center).

Le informazioni fornite di seguito sono i primi risultati delle prove di integrazione hardware/software, precisamente OSIRIS/EARTHWORM. A tale scopo è stato necessario implementare sull'acquisitore OSIRIS un protocollo di comunicazione compatibile con EarthWorm, ed è stato scelto SeedLink. Infine, per la visualizzazione ed analisi preliminare dei dati da potersi effettuare anche direttamente sull'acquisitore OSIRIS, è stato integrato il programma SEISGRAM con l'acquisitore. SEISGRAM è un applicazione java user friendly, sviluppata da Antony Lomax, per la visualizzazione ed analisi di sismogrammi sia in tempo reale che offline. L'interattività dell'interfaccia fa di SEISGRAM uno strumento di analisi intuitivo e di facile utilizzo.

8 Protocollo SEEDLINK

Server e client in un sistema SeedLnk comunicano per mezzo di un protocollo, in linea di principio molto semplice. I clients mandano una richiesta di inizio trasmissione dati ai server che rispondono con un pacchetto da 512 byte di dati in formato miniSEED preceduto da un header da 8 byte. L'header contiene il "packet sequence number", utilizzato per ristabilire la connessione nel caso di errori della rete, e di lavorare in modalità dialup²². Il protocollo SeedLink consente anche la trasmissione selettiva dei canali (selezionati in base ai nomi e ai tipi), ciò permette di ridurre il traffico sulla rete, eliminando i dati relativi ai canali non richiesti. Per questo motivo ogni stazione è identificata da un Network Code, da uno Station Code ed ogni canale da un proprio identificativo. Queste informazioni consentono di individuare univocamente uno stream di dati e quindi un client può connettersi contemporaneamente a più server.

Un server SeedLink utilizza per la trasmissione dei dati soltanto socket ad alto livello, questo implica l'indipendenza dal mezzo fisico su cui avviene la trasmissione, per questo seedlink funziona su reti ethernet, su linee telefoniche con modem ecc. Nel caso particolare delle OSIRIS, esse comunicano su ethernet con TCP/IP, quindi ogni stazione ha il suo indirizzo IP ed una porta libera su cui trasmettere (porta 18000).

Il server SeedLink è stato progettato per supportare connessioni unreliable²³, i pacchetti sono salvati in un buffer in modo da rendere possibile il recupero da parte del client di dati persi per mancanza di rete anche per lunghi periodi.²⁴

Dovendo affrontare gradualmente i problemi di integrazione hardware/software si è deciso di sviluppare per l'OSIRIS un server SeedLink meno potente rispetto a quello fin ora descritto, infatti, non consente il recupero dei dati persi.

²² Nella modalità dialup non è necessario che la connessione client-server sia sempre attiva. Si attiva solo quando necessaria.

²³ Unreliable è utilizzato per indicare un servizio senza garanzie; i pacchetti possono essere persi, venire duplicati o consegnati fuori ordine senza per questo avvisare né l'utente sorgente né quello destinazione. La garanzia è fornito ad un livello più alto nella gerarchia del protocollo.

²⁴ La dimensione del buffer è configurabile.

9 Implementazione di software originale e sviluppi futuri

In questo paragrafo si mostrano i risultati ottenuti da due programmi eseguiti localmente dall'OSIRIS. Entrambi i programmi, sviluppati dal sottoscritto, sono scritti in C-shell e permettono la registrazione in file di informazioni particolari, non previste dalla configurazione iniziale del sistema.

In particolare, il primo programma consente di registrare ad intervalli di 20 secondi le informazioni recuperate dal GPS, tempo e coordinate, in modo da ricostruire con un opportuno programma GIS un percorso effettuato dall'acquisitore utilizzandolo, quindi, come un navigatore satellitare. Quest'applicazione è stata sviluppata per un progetto di ricerca affine per l'installazione di un sismografo sul fondo del Golfo di Pozzuoli connesso ad una piattaforma galleggiante che vede l'utilizzo dell'OSIRIS per studiare i movimenti della piattaforma stessa.

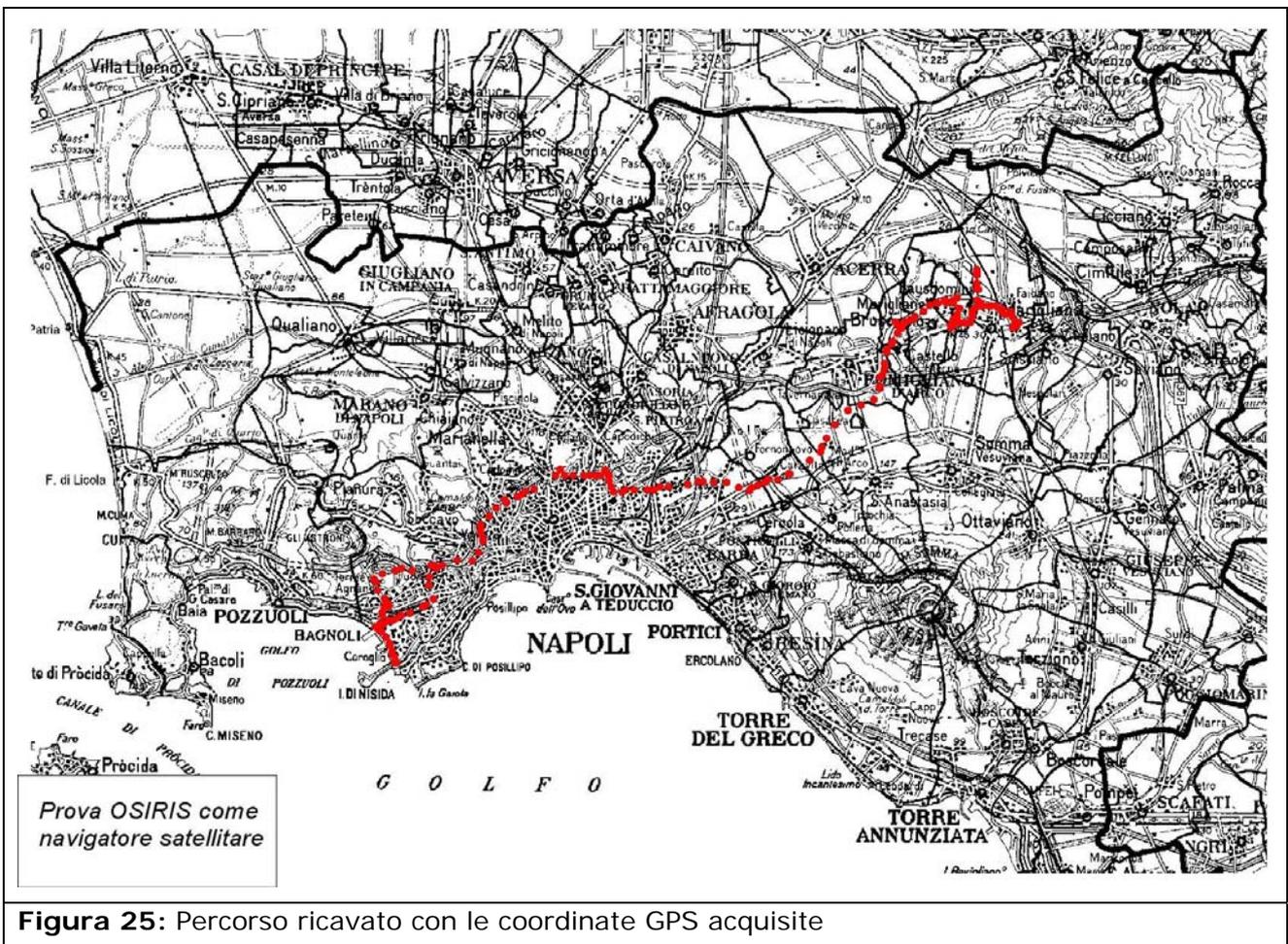


Figura 25: Percorso ricavato con le coordinate GPS acquisite

Il secondo programma è stato sviluppato per la registrazione del valore della temperatura interna dell'acquisitore, ed è stato utilizzato per l'analisi dell'andamento dell'offset al variare della temperatura (risultati mostrati precedentemente).

Inoltre, è stato iniziato lo sviluppo di programmi che saranno residenti sull'acquisitore stesso per l'analisi in tempo reale dei segnali acquisiti. In particolare, per le esigenze delle modalità di funzionamento della rete sismica AMRA, sono in corso di sviluppo varie

procedure che opereranno in tempo reale per la stima del periodo dominante del segnale acquisito, nonché dei parametri di picco di interesse ingegneristico, quali PGA, PGV, PGD (*peak ground acceleration, velocity e displacement*, rispettivamente). Recenti studi hanno mostrato che il periodo dominante della fase P della registrazione sismica effettuata a piccola distanza dall'epicentro può essere utilizzata per ottenere una stima attendibile della magnitudo già dai primi secondi della registrazione sismica.

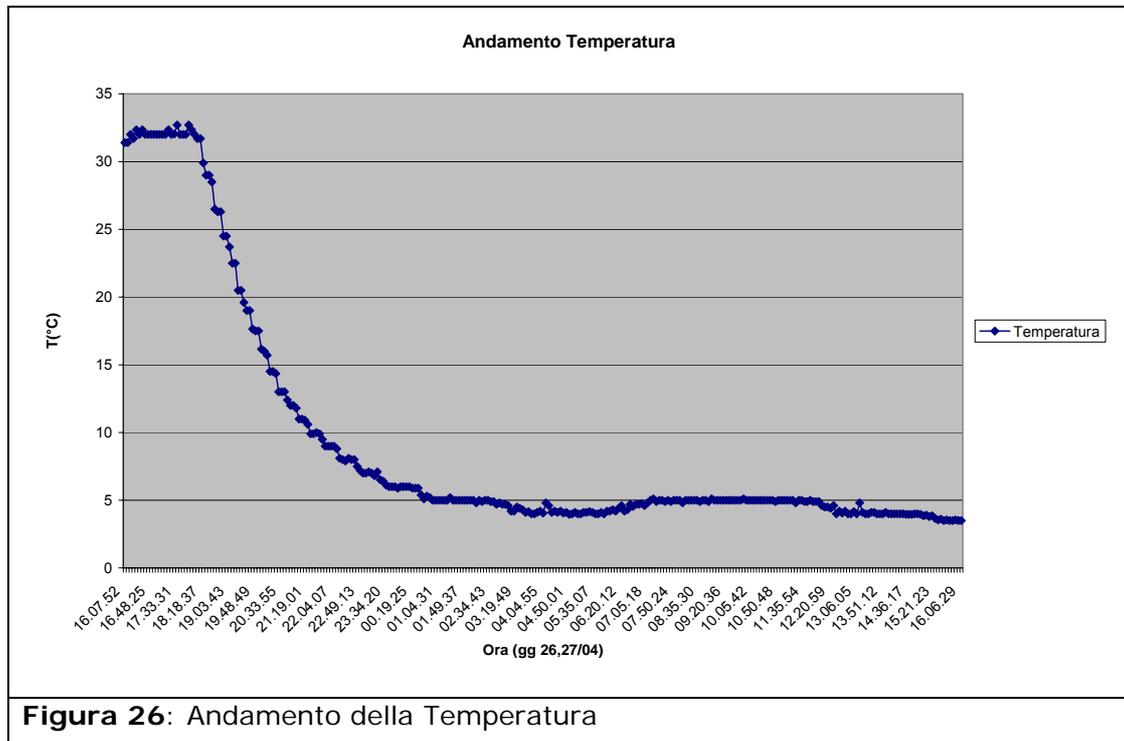


Figura 26: Andamento della Temperatura

È da rilevare che lo sviluppo di software da implementare sull'acquisitore OSIRIS è un'operazione alquanto complessa. Infatti il processore è basato su tecnologia ARM che richiede un proprio ambiente di sviluppo non compatibile con quello normalmente utilizzato su i processori X86.