



**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E
VULCANOLOGIA**

SEZIONE DI NAPOLI



OSSERVATORIO VESUVIANO

**SISTEMI DI ACQUISIZIONE DIGITALI E LORO REQUISITI PER
L'APPLICAZIONE AL MONITORAGGIO GEOFISICO**

Orazi Massimo, Peluso Rosario e Caputo Antonio

Open File Report n° 5 - 2007

Marzo 2007

Osservatorio Vesuviano

Centro di Monitoraggio – via Diocleziano 328, 80124 Napoli (Italia)

Tel: +39 0816108318 – Fax: +390816108351 – Mob: +393346418318

orazi@ov.ingv.it

Indice

INDICE.....	II
INTRODUZIONE.....	III
SISTEMI DI ACQUISIZIONE DATI.....	1
1. ARCHITETTURA	2
1.1. <i>La sezione di condizionamento</i>	2
1.2. <i>La conversione analogico-digitale</i>	5
1.3. <i>La sezione di base temporale e tempo di riferimento</i>	9
1.4. <i>La sezione di DSP</i>	12
1.5. <i>Interfacce di comunicazione</i>	13
1.6. <i>Il controllo del sensore</i>	14
1.7. <i>Il supporto di memoria di massa</i>	15
1.8. <i>Il controllo di sistema</i>	15
2. REQUISITI DI UN SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI PER IL MONITORAGGIO SISMOLOGICO E GEOFISICO.....	16
2.1. <i>Basso consumo</i>	17
CONCLUSIONI.....	20
BIBLIOGRAFIA	21
APPENDICE.....	A

Introduzione

Nell'ambito della prevenzione e riduzione del rischio ambientale associato a processi sismici e vulcanici è di fondamentale importanza il monitoraggio sismologico e geofisico in generale.

Obiettivo del monitoraggio strumentale è la determinazione e la misura delle variazioni dei parametri caratteristici associati ad un'area sismogenetica o vulcanica attiva al fine di comunicare repentinamente alle autorità di protezione civile l'entità e il significato di quelle variazioni osservate. Attraverso la misura, l'analisi e la corretta interpretazione di questi eventi è possibile, per esempio, capire in anticipo se un vulcano sta evolvendo verso una ripresa dell'attività eruttiva.

Il monitoraggio strumentale generalmente è realizzato attraverso reti di strumenti installati sul territorio e uno o più sistemi di raccolta, memorizzazione e analisi dei dati prodotti dagli strumenti.

Negli ultimi decenni le tecniche ed i sistemi di monitoraggio sismologico e geofisico hanno avuto una importante e rapida evoluzione. Il crescente impegno della comunità scientifica su questo aspetto della ricerca ha permesso non solo lo sviluppo di nuovi metodi e tecniche per l'analisi e l'interpretazione quantitativa dei dati ma anche di finalizzare il generale progresso tecnologico alla realizzazione di nuovi ed innovativi sistemi di monitoraggio. Tale progresso ha consentito lo sviluppo di strumentazione sempre più sofisticata, permettendo, ad esempio, di ampliare la banda di frequenza dei segnali rilevati dalle reti strumentali, ha reso disponibili potenti strumenti di calcolo, relativamente a basso costo, ed ha aperto nuove prospettive, in questo come in qualsiasi altro settore, per la trasmissione dei dati, per la loro elaborazione automatica e per il controllo remoto di strumentazione e sistemi grazie allo sviluppo capillare della rete informatica.

Allo stato attuale l'impegno delle istituzioni e dei gruppi di lavoro coinvolti nello sviluppo e nella gestione dei sistemi di monitoraggio sismologico è fortemente orientato alla realizzazione di sistemi automatici per l'elaborazione dei dati. I primi sistemi di questo tipo, che consentivano l'acquisizione in continuo dei segnali sismici di reti analogiche in trasmissione ed effettuavano la detezione automatica degli eventi, sono

stati realizzati nei primi anni '70 (sistema IAVCEI), e si sono rapidamente diffusi andando a istituire di fatto degli standard per i formati dei dati sismologici. Questi sistemi sono tuttora in uso in molti osservatori vulcanologici e sismologici del mondo.

Il Centro Di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano – INGV, impegnato anch'esso in questo settore, ha avviato dall'anno 1999 la realizzazione e l'introduzione di nuovi sistemi di analisi dati attualmente di largo uso nelle attività istituzionali dell'ente. Nuovi ed innovativi sistemi di analisi dati di recente introduzione, inoltre, sono utilizzati anche per il monitoraggio e l'analisi in tempo reale dell'attività sismica dello Stromboli.

Per quanto riguarda i metodi e le tecniche di analisi dei dati si osserva negli ultimi anni una crescente necessità dell'analisi comparata non solo dei dati sismologici ma anche parametri caratterizzati da una variazione lenta come *tilt*, concentrazioni di gas, variazioni gravimetriche, ecc. Si parla, in questi casi, di sistemi di analisi multiparametrici. Tuttavia se questo tipo di approccio al monitoraggio e alla mitigazione del rischio ambientale ha potuto svilupparsi sulla base dell'evoluzione tecnologica dei sistemi informativi, non può dirsi altrettanto per le stazioni e, in misura maggiore, per le reti di acquisizione dati che solo recentemente hanno cominciano a rispondere a queste necessità. In questo contesto, e parallelamente alle attività sopra menzionate, il Centro Di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano – INGV ha in corso lo studio, la progettazione e la realizzazione di una stazione di acquisizione dati che non solo possa rispondere appieno alle attuali esigenze tecnico-scientifiche, ma che possa essere la base su cui sviluppare future applicazioni strumentali e maturare un indispensabile *know-how* in un settore di competenze strategico nel contesto del ruolo e della ricerca svolta dall'ente (cfr. *Data Acquisition for Volcano Monitoring EOS vol. 87, n° 38 2006*).

Il presente documento, dopo una descrizione generale sui moderni sistemi di acquisizione dati utilizzati in ambito geofisico, si propone di illustrare le linee guida nello sviluppo del progetto di un sistema di acquisizione dati a basso consumo per il monitoraggio geofisico. Una trattazione tecnica approfondita delle soluzioni adottate in fase di progetto è demandata a futuri documenti.

Sistemi di acquisizione dati

Un sistema di acquisizione dati è un apparato elettronico che acquisisce il segnale in uscita da un sensore per inviarlo ad un centro di raccolta dati o memorizzarlo su un opportuno supporto. I progressi tecnologici compiuti nel campo dei circuiti elettronici nell'integrazione, nelle tecniche di memorizzazione e nell'elaborazione digitale dei dati negli ultimi anni hanno permesso di sostituire progressivamente i sistemi di acquisizione analogici con sistemi di tipo digitale. Questi ultimi grazie al fatto che il segnale in uscita dal sensore è trasformato in formato digitale consentono di trattare l'informazione raccolta dal sensore senza perdita di informazioni. Il grado di evoluzione che i sistemi di acquisizione digitali hanno raggiunto negli ultimi anni è tale da permettere direttamente e in tempo reale operazioni di vario tipo sul segnale: compressione, filtraggio, memorizzazione su una opportuna memoria di massa, invio del dato numerico ad un centro remoto di analisi dati, ecc.

Di seguito si mostra l'architettura generale di un sistema di acquisizione dati, con particolare riferimento ai sistemi dedicati ai sensori sismici, individuando e descrivendo le principali sezioni di cui sono costituiti.

Nell'intento di fornire un riferimento concreto a quanto sarà discusso nei prossimi paragrafi si farà spesso riferimento ad alcuni tra i più accreditati acquisitori per dati sismici attualmente disponibili sul mercato: il QUANTERRA Q330 prodotto dalla KINEMATRICS INC., il TAURUS prodotto dalla NANOMETRICS INC. e il 130-01 prodotto dalla REF TEK. Si tratta di acquisitori con caratteristiche di portabilità tali da renderli validi sia per installazioni temporanee che nelle installazioni fisse con prestazioni tali da poter acquisire anche segnali di sensori sismici a larga banda e ad elevata dinamica. L'analisi delle caratteristiche e delle specifiche tecniche dichiarate¹ dai produttori permetterà di cogliere sia la complessità di questi strumenti intesi come sistemi *hardware* e *software* sia di ricavare utili informazioni sulle soluzioni adottate da diversi produttori per realizzare i loro prodotti costituendo di fatto una ricca fonte di spunti di cui si è

¹ Si precisa che le specifiche tecniche a cui si fa riferimento sono esclusivamente quelle riportate nelle *brochures* di vendita dei prodotti. Ulteriori e più approfondite specifiche possono essere riportate nei manuali tecnici dei prodotti.

tenuto è utile tenere conto nella progettazione del sistema di acquisizione dell'Osservatorio Vesuviano.

1. Architettura

Un moderno sistema di acquisizione dati può essere schematizzato come illustrato in Figura 1.

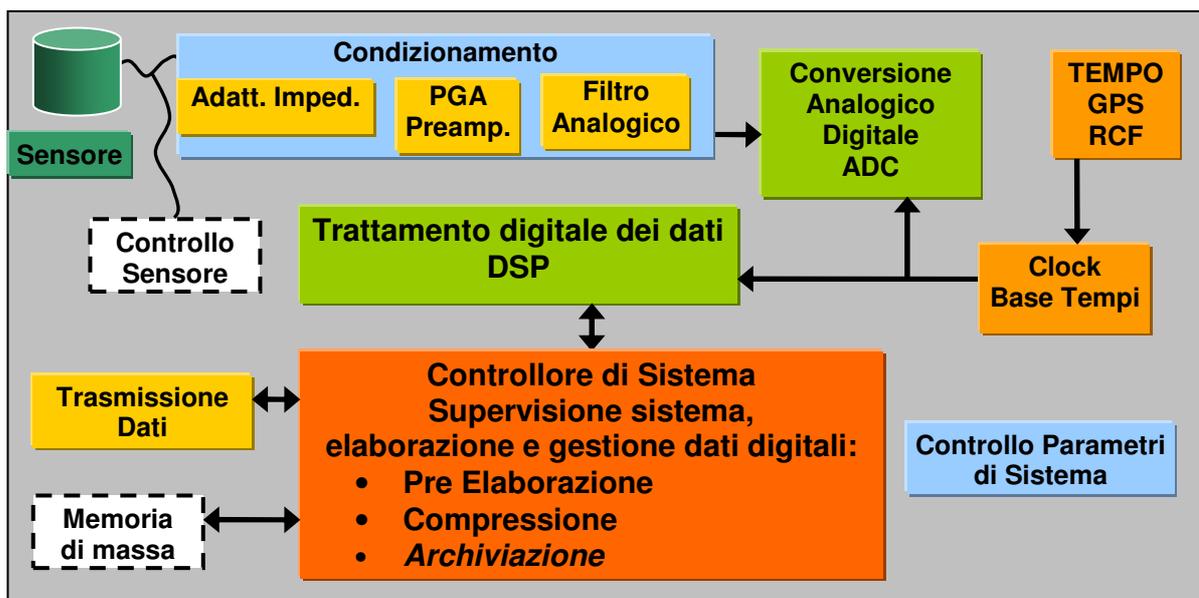


Figura 1: Schema a blocchi di un sistema di acquisizione dati.

1.1. La sezione di condizionamento

Il segnale proveniente dal sensore viene inviato ad una sezione di condizionamento che provvede a preparare questo segnale, generalmente una tensione, prima di inviarlo al convertitore analogico-digitale (ADC da *Analog to Digital Converter*).

La più importante operazione che questa sezione svolge è quella di attenuare l'ampiezza del segnale del sensore (che in genere può assumere valori di decine di Volt) in modo che esso non superari il massimo valore tollerato dai circuiti elettronici che costituiscono l'ADC (in genere pochi Volt). Tecnicamente si può dire che si deve adattare la dinamica² del sensore alla dinamica dell'ADC. Quando non è possibile

² Qui il termine è utilizzato in modo generico per indicare proprio il valore massimo dell'ampiezza che un segnale può assumere. Più avanti il termine sarà utilizzato con connotazione più tecnica e ne sarà data opportuna definizione.

ottenere questo adattamento si realizzano due condizioni opposte ed entrambe sfavorevoli: una in cui l'attenuazione è insufficiente e l'altra in cui il segnale del sensore arriva all'ADC troppo attenuato. Nel primo caso si può verificare che il segnale che raggiunge l'ADC assuma un valore troppo elevato e se il componente non è protetto contro questa eventualità questo può venir distrutto mentre se il componente, come generalmente accade, è munito di circuiti di protezione contro questa "sovratensione" si ha l'inconveniente che questi valori di tensione elevati provocano la "saturazione" dell'ADC che quindi non li converte in formato numerico: l'informazione del sensore è in parte persa. Nel secondo caso, invece, una eccessiva attenuazione del segnale sensore non consente all'ADC di effettuare una conversione al massimo della sua capacità e il segnale è acquisito con una risoluzione più bassa.

Per ovviare a queste difficoltà i costruttori realizzano delle sezioni di condizionamento con degli stadi di amplificazione il cui guadagno (o attenuazione) è selezionabile dall'utente a seconda della necessità o del sensore scelto. Quanto illustrato fino ad ora è chiaramente deducibile dalle informazioni tecniche riportate nella tabella seguente ricavata dalle *brochures* di prodotto.

	Taurus	Q330	130-01
Input Voltage Maximum Range	40 V _{pp} at gain = 0.4	40V _{pp} at gain = 1	20V _{pp} at gain = 1 0.625 V _{pp} at gain = 32
Hardware Gain Selection	0.4, 1, 2, 4, 8	1, 30	1, 32
Input Impedance	Not available	Not available	25 kΩ @ gain = 1 2 MΩ @ gain = 32 0,002 μF

Tabella 1: Caratteristiche relative alle sezioni di condizionamento.

Dalle informazioni riportate in Tabella 1 si nota che per uno degli acquisitori viene specificato il valore dell'impedenza di ingresso e che tale valore varia in funzione del guadagno selezionato per lo stadio di amplificazione; viene anche specificato il valore capacitivo in ingresso che invece è costante. Da questa osservazione, pur senza conoscere il circuito di ingresso, si può dedurre che deve esistere nello stadio di condizionamento una rete resistiva (eventualmente inserita in un circuito attivo) che può assumere due valori caratteristici uno per ogni amplificazione selezionabile.

Conoscere l'impedenza di ingresso dell'acquisitore è molto utile sia nel caso in cui si decida di utilizzare un sensore di tipo elettromeccanico o passivo sia nel caso di sensori ad elevata impedenza di uscita. Nel caso di sensori elettromeccanici la caratteristica di risposta ed in particolare lo smorzamento dipendono direttamente dall'impedenza (in questo caso detta di *damping* o smorzamento) su cui è chiusa la bobina di trasduzione del movimento del suolo. Poiché l'impedenza di ingresso dell'acquisitore si trova ad essere in parallelo con la bobina di trasduzione se ne deduce che la reale resistenza di smorzamento dipende anche dallo stadio di ingresso dell'acquisitore per cui l'utente deve tenere conto di ciò. Il modo migliore per ridurre questo effetto è quello di avere una elevata impedenza di ingresso dell'acquisitore ma, purtroppo, questo non è sempre possibile per le varie esigenze di progettazione. Nel caso di sensori ad elevata impedenza di uscita (si pensi ad esempio agli idrofoni) avere una elevata impedenza di ingresso, invece, è assolutamente auspicabile poiché in questo modo si evita l'effetto di ripartizione del segnale tra il sensore e l'acquisitore che porta ad una diminuzione della dinamica del segnale raccolto e ad una perdita di risoluzione nella conversione.

Una importante osservazione che va fatta è che questa sezione è costituita essenzialmente da dispositivi elettronici di tipo analogico le cui caratteristiche determinano in maniera incisiva la "fedeltà" con cui viene acquisito il segnale in uscita dal sensore. L'esempio più significativo in questo senso è quello della caratteristica di rumore elettronico che la sezione di condizionamento produce. Se il rumore indotto dall'elettronica di ingresso sul segnale proveniente dal sensore è tale da superare il rumore intrinseco di conversione dell'ADC si compromettono le prestazioni dell'acquisitore anche se dotato di ADC ad elevata risoluzione. Nei sistemi di acquisizione ad elevato numero di *bit* come quelli considerati in questo documento questo problema è particolarmente avvertito.

Altre funzioni svolte da questa sezione sono la protezione da scariche elettriche (che opera spesso insieme alla protezione da sovratensione accennata sopra) e il filtraggio analogico del segnale d'ingresso (filtro *antialiasing*) per ridurlo nella banda utile all'ADC così come previsto dalle tecniche di campionamento numerico.

1.2. La conversione analogico-digitale

Il segnale analogico proveniente dalla sezione di condizionamento viene convertito in formato numerico digitale con il processo di *conversione* operato dall'ADC. Dal punto di vista concettuale l'ADC, dunque, è il componente che di fatto realizza la corrispondenza tra il mondo analogico del sensore (a sua volta in relazione con il mondo fisico) e l'informazione numerica. Poiché è possibile trattare, operare e (in una certa misura) trasmettere i dati numerici senza perdere o alterare l'informazione in essi contenuta si comprende chiaramente che tutta l'elettronica da cui dipende la "bontà" del processo di campionamento (incluso l'ADC stesso) è proprio l'elettronica a monte dell'ADC che, così come affermato nel paragrafo precedente, va progettata in modo accurato.

La teoria della conversione analogico-digitale e la sua realizzazione attraverso circuiti elettronici è un argomento vasto e complesso che esula dalle finalità di questo documento per questo motivo se ne darà soltanto una descrizione generica ma sufficiente alla comprensione delle prestazioni offerte dagli acquisitori in commercio.

Tecnicamente il processo di conversione analogico-digitale di una forma d'onda consiste nel misurare ad intervalli regolari di tempo T il valore di ampiezza della forma d'onda analogica associando per ogni ampiezza un corrispondente codice numerico digitale. Dal punto di vista teorico, come riportato in Figura 2 si operano due processi: il *campionamento* che avviene nel dominio del tempo e la *quantizzazione* che avviene nel dominio dell'ampiezza.

Il processo di quantizzazione è soggetto al *teorema del campionamento di Shannon* secondo cui fissato un periodo T_C di campionamento, e il suo inverso definito come *frequenza di campionamento*, è possibile ricostruire in maniera univoca la forma d'onda del segnale campionato a patto che questo abbia una frequenza massima minore della metà della frequenza di campionamento. In altre parole fissata la *frequenza di campionamento* (altrimenti detta *sampling rate*) del nostro sistema resta determinata la massima frequenza del segnale che possiamo campionare. Pertanto concettualmente questo teorema non solo lega la velocità del nostro processo di campionamento al fenomeno fisico sotto esame ma impone per esso un requisito minimo.

Per quanto riguarda la conversione dell'ampiezza del segnale analogico in forma binaria generalmente si adotta il seguente principio di funzionamento: si usa una tensione di riferimento da cui ricavare a seconda del numero di *bit* del convertitore un certo numero di intervalli di tensione quantizzati corrispondenti in modo univoco ad un certo

valore binario. Dal confronto di questi livelli con il segnale di ingresso si determina il valore analogico discreto più prossimo a quello del segnale e si assume il corrispondente valore numerico come valore della conversione.

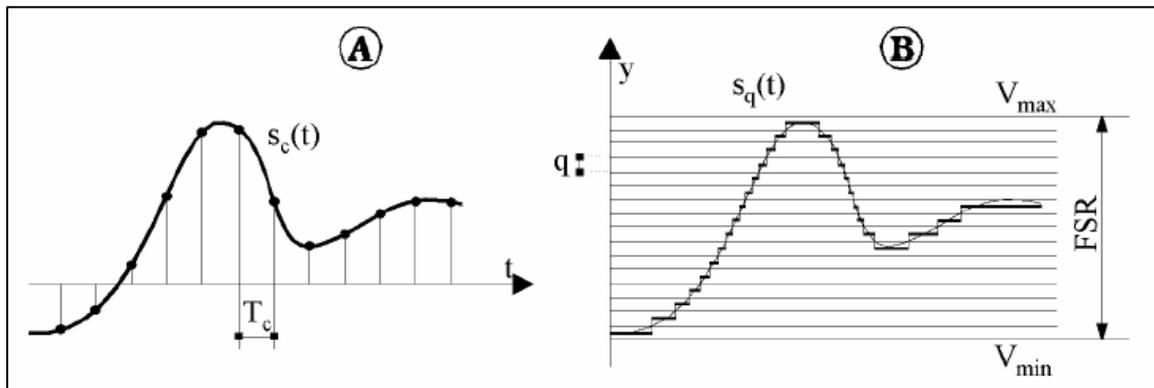


Figura 2: Campionamento e quantizzazione di un segnale analogico

Per un ADC se la frequenza di campionamento determina la sua risoluzione nel dominio del tempo il numero di *bit* in cui opera la conversione determina la risoluzione nel dominio di ampiezza e questo perché, fissata la tensione di riferimento che usa l'ADC, maggiore è il numero di *bit* (o equivalentemente maggiore è il numero di codici numerici in cui converto il segnale analogico) più piccolo è il valore di tensione associato ad ogni codice numerico di conversione. In ultima analisi, quindi, la quantizzazione è un processo che intrinsecamente introduce un errore (detto *errore di quantizzazione*) che può essere piccolo ma non nullo.

Sfortunatamente per raggiungere risoluzioni molto elevate (in ampiezza) le tecniche tradizionali di conversione analogico digitale non sono sufficienti ma si utilizza uno schema di conversione detto Delta-Sigma (indicato anche come $\Delta\Sigma$). Questo tipo di conversione utilizza non più un singolo processo ma prevede una fase in cui un *modulatore* Delta-Sigma “insegue” il segnale in ingresso per fornire ad una sezione di *Digital Signal Processing* (detta DSP) un segnale numerico continuo ad un *bit*. La sezione DSP elabora questo segnale continuo e lo trasforma in una conversione numerica così come la si è presentata sopra. Senza voler entrare in dettagli troppo tecnici si vuole sottolineare che quando in letteratura si indica un convertitore sigma delta ci si riferisce sempre ad un dispositivo in grado di realizzare questo doppio processo. Questa puntualizzazione è importante perché spesso nel leggere le specifiche di un convertitore sigma delta il lettore può trovare accanto ai riferimenti tecnici generici e comuni a tutti

gli ADC anche parametri tecnici specifici del processo di conversione Delta-Sigma. Alla luce di ciò si consideri la seguente tabella riassuntiva delle specifiche di conversione per i soliti tre strumenti considerati.

	Taurus	Q330	130-01
Type of digitizer	Proprietary High order delta-sigma	Proprietary High order delta-sigma	High order delta-sigma
Output resolution	24 bit	24 bit	24 bit
Sample Rate (Sample Per Second) SPS	10, 20, 40, 50, 80, 100, 120, 200, 250, 500	1, 10, 20, 40, 50, 100, 200 (other rates available)	1, 5, 10, 20, 25, 40, 50, 100, 125, 200, 250, 500, 1000
Sampling	Simultaneous	-	-
Channels	3 standard, field upgradable to 6 or 9 with additional digitizers	3 or 6	3 or 6
Nominal Sensivity	1 count / μV	-	-
Noise Level	-	-	1 count RMS
Bit Weight	-	-	1.589 μV
Dynamic Range (dB)	> 138 dB @ 100 sample per second	132-135 dB wideband RMS 136 dB Typical on band limited	-
Input Full Scale (V)	40V @ 0.4x	40V @ 1x	20V _{pp} @ 1x

Tabella 2: Dati dichiarati per le sezioni di conversione e di ingresso.

Tutti i costruttori adottano l'architettura Delta-Sigma a 24 *bit* e due di essi dichiarano di disporre di convertitori di tipo proprietario, si noti che le ampie gamme di frequenze di conversione disponibili sono diverse e non completamente sovrapponibili.

Interessante è notare che il numero di canali disponibile sugli strumenti è un multiplo di 3 che risponde alla richiesta diffusa di acquisire segnali da sensori sismici a 3 componenti (tipicamente lungo i 3 assi Z, X e Y) e che il TAURUS a differenza degli altri rende disponibile i canali aggiuntivi fino ad un massimo di 9 solo aggiungendo altri acquisitori con evidente aggravio di costo.

Un'altra osservazione interessante da fare è che per il TAURUS viene specificato che il campionamento sui canali avviene simultaneamente. L'architettura alternativa, che

quindi la NANOMETRICS dichiara espressamente di non usare, è quella che impiega un ADC a singolo canale che opera sui vari canali dello strumento in tempi successivi mediante circuiti di commutazione di canale e di mantenimento del valore di tensione analogico. Quest'architettura, che è utilizzabile "quasi" senza problemi in un ADC convenzionale nel caso di un ADC di tipo Delta-Sigma come quelli in questione, introduce una maggiore complessità dal punto di vista della sezione di elettronica analogica e, soprattutto, aumenta molto il tempo di latenza dell'ADC definito come il tempo necessario che bisogna attendere per prelevare all'uscita dell'ADC il risultato della conversione. Questo accade perché ogni volta che si passa da un canale all'altro tutta la sequenza di calcolo che il DSP applica alla sequenza di bit proveniente dai modulatori deve ripartire dall'inizio. Siccome nell'acquisizione di dati ad elevato *sampling rate*, come nel campo della sismologia, un ADC Sigma-Delta ad elevata risoluzione può presentare un tempo di latenza eccessivo è ragionevole ritenere che anche nel caso degli altri due acquisitori il campionamento sia simultaneo anche se non espressamente dichiarato.

1.2.1. Un confronto tra specifiche

Il resto della tabella evidenzia che non sempre è immediato effettuare un confronto diretto tra i prodotti offerte dalle varie case produttrici in quanto ognuna di esse riporta le specifiche in modo diverso o più semplicemente ne omette alcune anche laddove esse siano di grande rilievo tecnico. L'esempio più evidente riguarda la caratteristica più importante per descrivere la qualità dell'ADC: l'intervallo di dinamica (*Dynamic range*) definito come suggerisce il nome dal rapporto, in uscita dall'ADC, tra il segnale di ampiezza massima misurabile dall'ADC e il rumore interno da questi prodotto, espresso in dB. Un qualunque ADC, infatti, è caratterizzato da un rumore interno che è costituito dal già citato rumore di quantizzazione, dal rumore elettronico, ecc. Idealmente un ADC dovrebbe presentare il solo rumore di quantizzazione ma in realtà c'è sempre un rumore di livello superiore che in pratica limita le prestazioni dell'ADC in termini di risoluzione effettiva. Si tenga presente che questo rumore generalmente aumenta all'aumentare della frequenza di campionamento. Infatti nelle specifiche del QUANTERRA sono riportate due valori di dinamica di cui uno relativo ad una banda di frequenze di campionamento limitata. Come si può notare mentre per il TAURUS e il Q330 sono forniti i valori di *Dynamic Range* per il 130-1 viene fornito il rumore intrinseco *root mean square* (o

RMS) in conteggi e il “peso” in Volt di un singolo conteggio. In questo caso l’unico modo per confrontare i prodotti è utilizzare la teoria alla base della conversione analogico-digitale. Volendo ricavare l’intervallo di dinamica per questo acquisitore, se la forma d’onda può essere perfettamente ricostruita, si ha che esso è dato dal rapporto, espresso in dB, tra il valore RMS (da *Root Mean Square*) del segnale di massima ampiezza espresso in Volt e il valore RMS del rumore dell’ADC.

Per un segnale sinusoidale il valore RMS è:

$$S_{RMS} = \frac{S_{PP}}{2\sqrt{2}}$$

dove con S_{PP} si indica l’ampiezza picco-picco della sinusoide.

Se consideriamo come segnale di ingresso una sinusoide della massima ampiezza ammessa dallo strumento cioè $20 V_{PP}$, allora $S_{RMS} = 7,07 V$.

Siccome per il 130-01 viene dichiarato un rumore RMS pari ad 1 conteggio e che un conteggio vale 1.589 microvolt allora si può scrivere:

$$DynamicRange = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{7.07}{1.589 \times 10^{-6}} \right) \approx 133dB$$

Come si vede si tratta di prestazioni in linea con gli altri apparati.

1.3. La sezione di base temporale e tempo di riferimento

Nell’ambito della sismologia è di fondamentale importanza conoscere con precisione i tempi di arrivo delle onde sismiche sulle varie stazioni rispetto ad un tempo di riferimento univoco che è dato dall’ora GMT. Per rispondere a questa necessità si include nel sistema di acquisizione un dispositivo che possa fornire un segnale orario. Un tempo per le regioni europee questo segnale era ricavato da un circuito di ricezione sintonizzato sulla frequenza del segnale orario DCF77 di Francoforte; oggi si adotta comunemente un ricevitore GPS che, oltre alla posizione, fornisce un segnale di tempo ogni secondo. Il sistema di acquisizione dati, dunque, utilizza questa informazione temporale e la inserisce costantemente come etichetta nei pacchetti che contengono i dati di conversione. Va precisato che la sola assegnazione di questa etichetta temporale all’intero pacchetto di dati sebbene fornisca un primo riferimento temporale assoluto non è sufficiente a determinare con esattezza l’istante in cui sono stati acquisiti i singoli campioni di conversione dell’ADC a causa di due possibili effetti di seguito discussi.

Si consideri un ADC che campiona con una frequenza pari a 100 campioni per secondo (o sps da sample per second) e che organizza i dati in pacchetti di un minuto secondo. Sebbene sia possibile etichettare con tempo assoluto un pacchetto di dati (e quindi i 100 campioni prelevati) il primo di questi campioni, così come rappresentato in la Figura 3, può collocarsi in un punto qualunque rispetto al tempo assoluto all'interno di una finestra temporale di 1/100 di secondo.

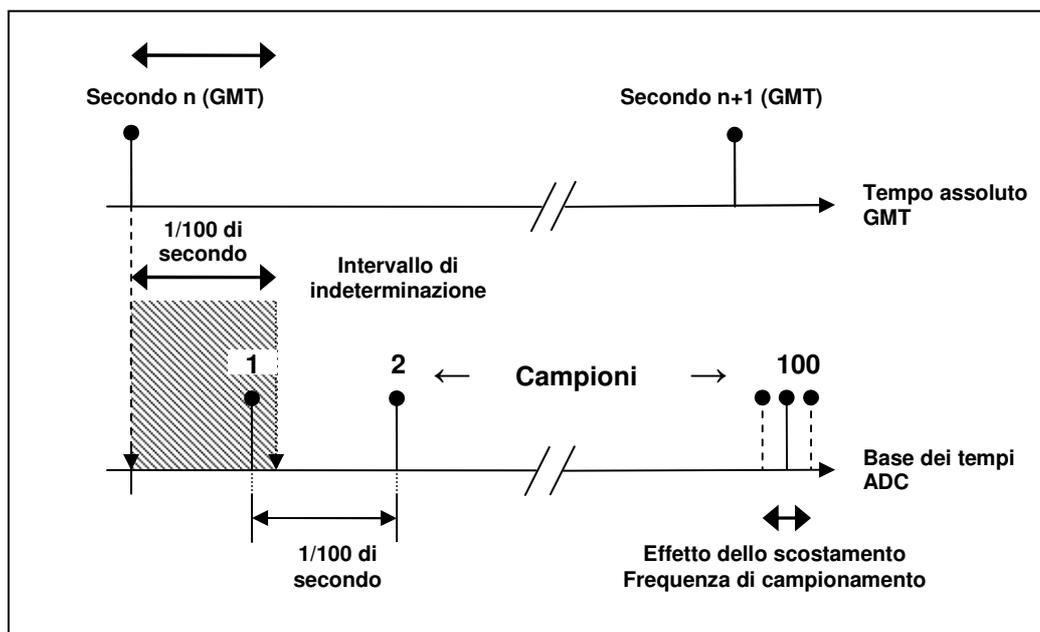


Figura 3: Indeterminazione dell'istante di campionamento

Questa condizione di indeterminazione va a discapito della qualità dei dati sismici acquisiti e per questo motivo devono essere predisposti circuiti o procedure elettroniche atte a misurare il valore di sfasamento oppure a ridurlo ad un valore noto. L'altro effetto che può presentare problemi è invece determinato dal valore assoluto della frequenza di campionamento. Se questo valore non è un esatto multiplo della frequenza con cui viene generato l'orario GMT si verifica che i campioni vengono acquisiti ad un tempo che si discosta progressivamente, sempre di più, dal tempo ideale di campionamento. Ancora una volta si consideri la Figura 3. Il fenomeno appena descritto di tipo cumulativo sui campioni, è ben evidenziato dalla posizione dell'ultimo campione. Nel caso di una frequenza di campionamento leggermente superiore si avrà che i campioni di forma d'onda verranno acquisiti man mano sempre prima mentre nel caso di una frequenza leggermente più bassa si avrà il caso opposto. Se questo fenomeno viene ignorato e si assume che i campioni siano stati acquisiti correttamente allora l'effetto pratico che si ha

è quello di una deformazione della forma d'onda restituita dall'acquisitore. Campioni acquisiti più ravvicinati tra loro produrranno una forma d'onda dilatata nel tempo rispetto a quella reale e viceversa.

Questi problemi, di cui dovrebbe essere chiara l'importanza, possono essere risolti utilizzando come dispositivo che genera il segnale di campionamento (detto *clock*) un oscillatore controllato in tensione (detto VCO da *Voltage Controlled Oscillator*) e un circuito di aggancio di fase (in genere detto di PLL da *Phase Locked Loop*) per il suo controllo. Il principio di funzionamento è il seguente: il circuito PLL confronta la fase del segnale del clock di campionamento con un segnale emesso ogni secondo dal GPS (o equivalente dispositivo) detto PPS (da *Pulse Per Second*). Il circuito PLL genera quindi una tensione che è proporzionale (direttamente o inversamente) alla differenza di fase e che pilota l'oscillatore che genera il clock dell'acquisizione. L'effetto è quello di regolare continuamente le due fasi in modo da ottenere sempre la loro sovrapposizione.

Senza entrare eccessivamente in dettaglio si vuole sottolineare che esistono diversi modi per realizzare circuiti di PLL: oltre ai PLL di tipo integrato, che in un unico componente eseguono le operazioni dette sopra) si possono realizzare circuiti PLL di tipo digitale in cui la misura di fase è effettuata da un dispositivo digitale e la risposta in tensione è generata da questo stesso dispositivo per mezzo di un convertitore digitale analogico (o DAC da *Digital to Analog Converter*). Questo dispositivo digitale può essere un microcontrollore che essendo dotato di risorse di calcolo, può eseguire algoritmi di controllo di fase e di correzione più o meno potenti, veloci e precisi.

A questo punto è interessante notare cosa viene riportato per i tre strumenti presi in esame. Si faccia riferimento alla Tabella 3.

	Taurus	Q330	130-01
Type of time base system	Internal DCXO clock disciplined to GPS	Precision TCXO locked to GPS. No adjustment	GPS+ disciplined oscillator
Accuracy with GPS	-	-	+/- 100 us (after valid 3D fix [...])

Tabella 3: Dati dichiarati per le sezioni di tempo.

Per tutti i costruttori in accordo con quanto esposto sopra viene dichiarata la presenza di un dispositivo GPS e in più per il TAURUS si dichiara che il dispositivo di generazione del *clock* di campionamento è un oscillatore del tipo DCXO (da *Digital Controlled crystal Oscillator*). Si tratta di un oscillatore la cui frequenza viene impostata comunicandogli direttamente un codice digitale e dunque alla luce di quanto detto fino ad ora si può dedurre che il circuito di aggancio di fase, la cui presenza è deducibile dal termine *disciplined*, deve essere a controllo digitale. Nessuna informazione aggiuntiva può essere dedotta dalle caratteristiche dichiarate per il 130-1 se non la utile informazione sull'accuratezza del tempo associato ai dati acquisiti. Per il Q330 invece viene dichiarato l'utilizzo di un TCXO (da *Temperature Controlled crystal Oscillator*) che rispetto ad un VCXO offre una maggiore stabilità nel tempo, rispetto alle variazioni di temperatura, della frequenza di oscillazione. Il costruttore dichiara che il segnale di campionamento è bloccato sul tempo GPS ma che nessuna correzione è effettuata. Evidentemente il Q330 utilizza un circuito PLL integrato di tipo tradizionale senza alcun *loop* di tipo digitale.

1.4. La sezione di DSP

Un *digital signal processor* (DSP) è un dispositivo logico elettronico ottimizzato per svolgere in maniera veloce e potente tutte le operazioni di calcolo usualmente necessarie per trattare i segnali in forma digitale. Si è già accennato al fatto che l'utilizzo dei modulatori Sigma-Delta richiede necessariamente, secondo le tecniche e la teoria dell'elaborazione digitale delle informazioni, il trattamento numerico del segnale digitale da questi prodotto al fine di ottenere come risultato una conversione digitale.

Tuttavia si vuole sottolineare che mentre è obbligatorio parlare di elaborazione DSP perché venga effettivamente generato il dato numerico di conversione, è possibile ad un secondo livello, a seconda del sistema, effettuare un'elaborazione DSP a carico non più del flusso dei modulatori ma dei dati numerici veri e propri. E' possibile per esempio effettuare una compressione dei dati in modo da ridurre la dimensione del pacchetto di dati, oppure è possibile applicare filtri numerici eventualmente modificabili a piacimento dall'utente. Si possono poi effettuare operazioni quali interpolazioni di segnale, correzione del valore medio, attenuazioni, amplificazioni di tipo digitale, ecc.

La sezione di DSP in senso generale è dunque quella sezione dell'acquisitore che opera tutto questo e può non corrispondere necessariamente ad un singolo componente elettronico. E' solo la scelta del progettista elettronico e la disponibilità o il tipo di componenti utilizzati che determinano la reale distribuzione di queste operazioni. A titolo di esempio si pensi che sul mercato si possono trovare sia ADC sigma-delta di tipo integrato in singolo *chip*, quindi con la sezione di DSP minima necessaria a produrre il dato digitale concreto integrata con il modulatore, che insieme di chip con i modulatori separati dai DSP ad essi dedicati. In quest'ultimo caso il progettista può decidere di utilizzare i soli modulatori ed utilizzare un generico DSP per chiudere il processo di conversione. Questo stesso DSP può essere utilizzato per realizzare sia le funzioni di calcolo di secondo livello a cui si è accennato sopra che quelle di controllo generale di sistema rimpiazzando il ruolo che tradizionalmente era ricoperto dai microcontrollori.

E' evidente che dal punto di vista del sistema elettronico nel suo insieme con la sezione DSP si è giunti al nodo di massima complessità logica e di massima richiesta di capacità di calcolo e pertanto le architetture che si possono utilizzare possono essere le più varie. Tuttavia indipendentemente dalla soluzione e dal dispositivo logico adottato per svolgere tutte le operazioni appena descritte è necessario, per evitare una perdita di dati, che la potenza di calcolo dedicata allo scopo sia tale da poter elaborare nell'unità di tempo una quantità di dati superiore a quella proveniente, nello stesso tempo, dai modulatori. Dei costruttori dei 3 sistemi presi in esame l'unico a fornire qualche interessante informazione è la QUANTERRA che scrive il codice del componente che nel suo Q330 assolve alle funzioni DSP/CPU. In questo caso il riferimento alla coincidenza del mondo del calcolo sul segnale e delle funzioni generiche di sistema è esplicito e diretto. Si tratta di un ADSP-2189M³ prodotto dalla ANALOG DEVICES che lo presenta come un *DSP microcomputer*.

1.5. Interfacce di comunicazione

Un sistema di acquisizione dati che prevede la trasmissione dei segnali acquisiti deve essere dotato di una o più interfacce di comunicazione per inviare all'utente il risultato della conversione analogico digitale e, eventualmente, informazioni relative al funzionamento del sistema. Su un canale diverso, o sullo stesso canale nei sistemi che

³ Altre informazioni su questo componente sono reperibili sul sito del costruttore al seguente indirizzo internet <http://www.analog.com>.

consentono la comunicazione bidirezionale, è possibile inoltre inviare al sistema eventuali comandi e parametri di configurazione. Per questi canali di comunicazione si utilizzano generalmente o protocolli seriali UART (PC standard su RS232) oppure i protocolli di rete su ethernet (TCP/IP, UDP, ecc.). L'utilizzo di queste ultime interfacce garantisce l'integrazione del dispositivo sulle reti telematiche.

Oltre alle interfacce dedicate alla comunicazione da e verso l'utente i sistemi di acquisizione possono presentare interfacce dedicate alla connessione con moduli aggiuntivi o sistemi ausiliari. E' il caso del TAURUS, che dichiara di poter offrire oltre ai 3 canali standard altri 3 o 6 canali con l'aggiunta di altri acquisitori. Interessante è il caso del Q330 che utilizza la connessione su ethernet anche per la connessione del dispositivo di memoria di massa.

1.6. Il controllo del sensore

Gli interventi su una stazione sismica ad installazione permanente non si esauriscono con la messa in opera della stazione stessa ma proseguono con cadenza periodica, al di là delle eventuali operazioni di manutenzione. Gli interventi periodici sul sensore prevedono la sua calibrazione e la verifica del centraggio delle masse. Questi interventi sono in genere compiuti operando direttamente sul sensore tramite registri e, nel caso della calibrazione, iniettando un segnale di calibrazione in un opportuno ingresso del sensore. Per rendere più agevoli questi interventi, soprattutto nel caso di stazioni distribuite su territori vasti, minimizzando gli interventi dei tecnici sul sito di installazione, i moderni sistemi di acquisizione dati mettono a disposizione dell'utente funzionalità di controllo del sensore.

Facendo riferimento ai soliti acquisitori si consideri che il TAURUS mette a disposizione un segnale di calibrazione di tipo sinusoidale a rampa la cui frequenza e ampiezza possono essere impostate dall'utente e un segnale di pseudo rumore. La calibrazione, che può essere effettuata utilizzando un segnale in ampiezza o in corrente, può essere avviata attraverso una interfaccia software di utente sia in locale che da remoto. I segnali di calibrazione offerti dal Q330 sono invece di diverso tipo: segnale a gradino, sinusoidale o di rumore con possibilità di far partire a comando la calibrazione.

Oltre ai segnali di calibrazione questi strumenti offrono anche la possibilità di operare sull'azzeramento delle masse a patto che i sensori utilizzati siano equipaggiati con servomotore di azzeramento masse. In questo caso lo strumento controllando il segnale

in uscita dal sensore associato alla componente di *offset* delle masse può operare in modo automatico all'azzeramento di questo *offset*. Le possibilità più interessanti sono offerte dal TAURUS. Questo strumento permette di impostare dei valori di soglia superati i quali la procedura di autoazzeramento parte in automatico fino a far rientrare l'*offset* nei limiti impostati dall'utente. Le funzionalità sopra descritte sono offerte anche dal REFTEK 130-01 ma in forma opzionale su una scheda separata che in fabbrica può essere integrata nello strumento.

1.7. Il supporto di memoria di massa

In alcune circostanze, a seconda del tipo di impiego delle stazioni di acquisizione dati, o a causa di condizioni ambientali proibitive l'utente può valutare di non prendere in modo continuativo i dati dall'acquisitore. Si pensi ad esempio agli esperimenti di durata limitata come quelli di sismica attiva o alle installazioni di stazioni sismiche sui fondali oceanici. In questi casi è necessario scrivere su una memoria di massa tutti i dati acquisiti. Il supporto per le memorie di massa è scelto in base a ragioni di ordine economico (*hard-disk*) o di ordine pratico (*FLASH disk, SD card, ecc.*) quando, ad esempio, si desidera poter sostituire rapidamente, anche a sistema acceso, il supporto pieno con uno vuoto. Anche in questo caso le architetture scelte dai costruttori sono varie e tengono conto di diversi fattori quali consumi, capacità di memoria offerta, ecc.

1.8. Il controllo di sistema

Il controllo di sistema è l'insieme di tutte quelle operazioni logiche e di supervisione attraverso le quali si ottiene il funzionamento del sistema di acquisizione. Queste operazioni sono affidate, per quanto riguarda la loro realizzazione hardware, ad una o più unità logiche complesse, eventualmente affiancate da dispositivi dedicati a specifiche funzionalità. Si è già accennato al fatto che queste unità logiche possono essere microcontrollori o DSP.

Le principali operazioni che possono essere citate, alcune molte già discusse in precedenza, sono elencate di seguito:

- **Controllo ingresso canali:** impostazione dell'amplificazione dei *Programmable Gain Array* (PGA), selezione dei canali attivi, ecc.

- **Controllo e configurazione ADC:** impostazione dei parametri di funzionamento come *sampling rate*, selezione numero canali, ecc, impostazione dei parametri di filtraggio DSP dei modulatori, ecc.
- **Controllo sensore e calibrazione**
- **Controllo del flusso dati:** scaricamento dei dati dall'ADC o dal DSP e indirizzamento verso una memoria buffer di trasmissione o verso una memoria di massa locale.
- **Gestione dei dati:** compressione, applicazioni di filtri sul segnale numerico, applicazione di algoritmi di *trigger*, ecc.
- **Controllo generico di sistema:** selezione dei dispositivi di memorizzazione, controllo base tempi (gestione del ricevitore GPS o dell'eventuale dispositivo di ricezione DCF), supervisione dello stato di funzionamento del sistema e relativo monitoraggio (temperatura dell'elettronica, stato della carica delle batterie), ecc.
- **Controllo telemetria/comunicazione dati:** controllo trasmissione e ricezione di dati e comandi, ecc.
- **Gestione interfaccia utente**

2. Requisiti di un sistema di acquisizione dati per il monitoraggio sismologico e geofisico.

I moderni sistemi di acquisizione dati presentano ottimi livelli di prestazioni e di affidabilità con buone caratteristiche di versatilità e per questo motivo sono largamente adottati da molti enti ricerca in ambito geofisico sia come strumentazione in esperimenti di durata limitata sia come strumenti dedicati all'acquisizione dati continua di reti di monitoraggio permanenti. Dal punto di vista della versatilità di impiego non si può fare a meno di considerare che i sistemi fin qui illustrati sono in ogni caso un prodotto commerciale che, come tale, è pensato per essere commercializzato nei più grandi volumi possibili dalle aziende produttrici a garanzia di profitto.

Per ovvi motivi, quindi, queste stesse aziende in fase di progettazione e di definizione delle caratteristiche del prodotto compiono delle scelte mirate ad un mercato "medio" e "vasto". Tuttavia alla logica della produzione si contrappone l'esigenza specifica

dell'utente finale che vorrebbe un prodotto su misura della propria applicazione, a costi accessibili e sufficientemente versatile da preservare l'investimento fatto per il suo acquisto. Una risposta a questa esigenza da parte di un ente di ricerca può essere quella di affrontare in prima persona le difficoltà e i costi della progettazione e dello sviluppo della strumentazione desiderata. Come già accennato in precedenza il Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano, sezione di Napoli dell'INGV, ha da tempo cominciato a sviluppare in proprio i sistemi di acquisizione dati avvertendo, in particolar modo negli ultimi anni, questa scelta come indispensabile alle proprie attività per il monitoraggio continuo di aree vulcaniche che richiedono installazioni in zone impervie. Sotto queste premesse è stata avviata la progettazione del sistema di acquisizione dati GILDA: *Geophysics Instrument for Low Power Data Acquisition*.

Il progetto ha come obiettivo quello di rispondere ai requisiti illustrati di seguito.

2.1. Basso consumo

Il requisito più importante che si richiede all'acquisitore è quello di presentare un basso consumo di energia. Molto spesso, infatti, la strumentazione viene messa in opera in luoghi impervi, o comunque non raggiunti dalle linee di distribuzione dell'energia elettrica, per mezzo di un impianto fotovoltaico. L'impianto è costituito da pannelli solari per la produzione di energia e da accumulatori che funzionano da riserva di carica quando l'illuminazione è scarsa o assente. L'impianto stesso è dimensionato⁴ per garantire un'autonomia prefissata tenendo conto della luce solare disponibile (intensità, durata del giorno e della notte, ecc) e considerando come parametro cruciale l'assorbimento di energia da parte del carico stesso. E' evidente che quanto minore è il consumo del sistema alimentato tanto minore è il numero di accumulatori da installare, quindi di pannelli solari per la loro ricarica, per avere la medesima autonomia garantita.

L'opportunità di ridurre la dimensione dell'impianto solare non solo è legato alla riduzione del suo costo di acquisto ma anche e soprattutto alla riduzione del suo peso complessivo. Questo secondo aspetto, in particolare, è una necessità fortemente sentita nelle installazioni di reti locali in cui la scelta dei siti è circoscritta ad aree ristrette per realizzare la geometria desiderata. In questi casi spesso a causa della difficile raggiungibilità dei luoghi il trasporto della strumentazione, dei pannelli solari e degli

⁴ Per dimensione dell'impianto si indica generalmente la potenza dei pannelli solari e la capacità complessiva degli accumulatori installati.

accumulatori avviene a spalla con notevoli sforzi del personale impegnato nelle attività di manutenzione della rete.

Tuttavia è fondamentale sottolineare che ridurre dimensione e peso dell'impianto solare non solo dà vantaggi nella prima installazione ma anche per tutto il periodo di attività della stazione stessa. Questo perché un basso assorbimento di corrente a carico degli accumulatori aumenta la durata degli stessi. Infatti gli accumulatori "invecchiano" proporzionalmente in base alla profondità e al numero di cicli di scarica a cui vengono sottoposti. Per avere una stima di questo effetto si guardi la Figura 4 che rappresenta la curva di vita degli accumulatori attualmente utilizzati per la rete sismica a larga banda del vulcano Stromboli. Le curve rappresentano il numero di cicli di carica-scarica che l'accumulatore garantisce per diversi livelli di profondità di scarica. Si noti come all'aumentare della profondità di scarica l'accumulatore offre sempre meno cicli. Considerando che generalmente un ciclo di carica-scarica si ripete ogni 24 ore secondo l'alternarsi della luce solare si può ricavare direttamente la durata in giorni degli accumulatori: si passa dai 1200 giorni (circa 3 anni e 3 mesi) per profondità di scarica del 30% ai 300 giorni per scariche complete.

In conclusione, quindi, un basso consumo di energia da parte dell'acquisitore permette sia di diradare nel tempo che di alleggerire le "campagne" di sostituzione degli accumulatori con un grande risparmio in termini di costi di materiale, di personale e di logistica.

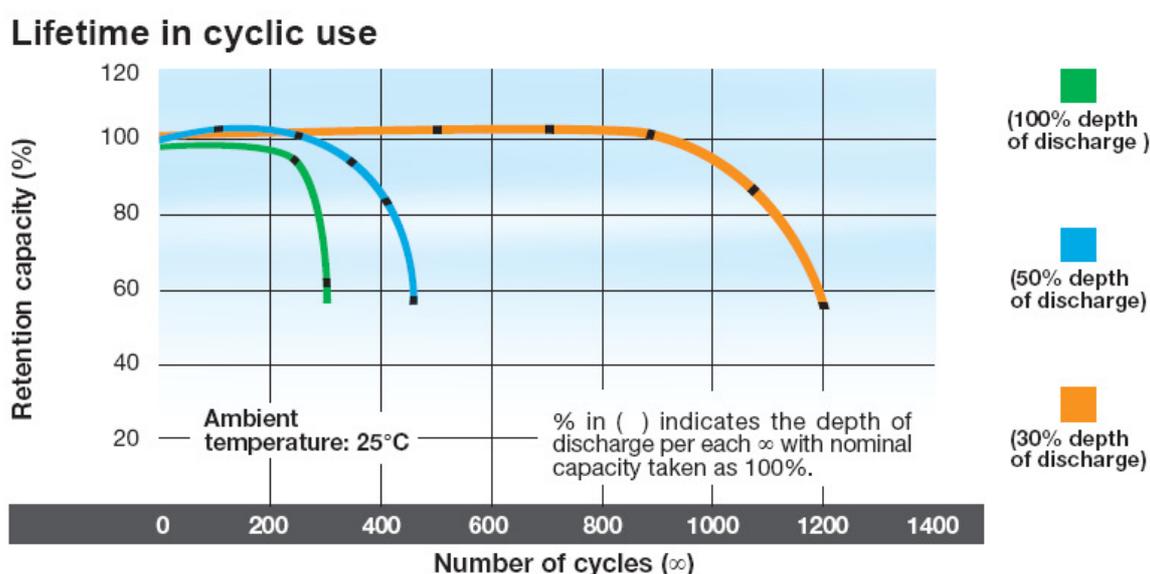


Figura 4: Curva del ciclo di vita per varie profondità di scarica degli accumulatori al piombo utilizzati dall' Osservatorio Vesuviano - INGV.

- **Modularità**

In fase di progettazione, estrema attenzione è posta al concetto di modularità, intesa come la realizzazione di un sistema elettronico costituito dall'integrazione di moduli elementari ognuno dei quali dedicato ad eseguire una o più funzioni dell'intero sistema. Un sistema di questo tipo, a causa di una maggiore complessità realizzativa, richiede maggior tempo e costi di realizzazione ma offre l'indiscusso vantaggio di razionalizzare la progettazione dei singoli moduli e, cosa ancora più importante, la possibilità di migliorare o modificare questi moduli nel corso del tempo senza stravolgere l'intero progetto. In un ottica di lungo termine, poi, si potrebbe addirittura riutilizzare questi moduli come prodotti già disponibili in futuri progetti salvaguardando l'investimento fatto per il loro sviluppo.

Degli acquisitori in commercio considerati fino ad ora solo il 130-01 della REFTEK è realizzato chiaramente con questo approccio e, cosa interessante, la casa costruttrice enfatizza questa caratteristica nella brochure indicando con precisione da quali moduli è composto il sistema. Tra l'altro viene specificato che a seconda delle necessità dell'utente è possibile montare una o due schede ADC nel caso occorranza 3 o 6 canali di acquisizione. Evidentemente la struttura modulare dello strumento si presta ad un altro concetto: quello della scalabilità.

- **Scalabilità**

Quando il concetto di modularità è applicato per esteso anche a livello di progettazione di sistema allora si può realizzare un sistema "**scalabile**" cioè un sistema in cui è possibile realizzare e integrare moduli funzionali su un sistema già funzionante quando ne nasca la necessità e senza dover riprogettare l'*hardware*. Un esempio dell'applicazione di questo è stato già presentato a proposito del REF-TEK 130-01 in cui si può aggiungere un secondo modulo ADC per incrementare il numero di canali di acquisizione disponibili. Nei casi più evoluti si può pensare addirittura di aggiungere moduli con funzionalità quali il controllo di dispositivi a movimento meccanico come nel caso di alcune applicazioni di geochimica⁵, ecc.

⁵ Si pensi alle misure di flusso di gas. In questo caso un sistema a "pentola capovolta" viene poggiato al suolo per effettuare misure ripetute di concentrazione. Al termine della misura si ha la riapertura della "pentola".

- **Versatilità**

Altra caratteristica importante legata ai due concetti precedentemente esposti è la **versatilità** cioè la possibilità di utilizzare l'acquisitore in diverse applicazioni attraverso la riconfigurazione dei parametri e delle modalità di funzionamento. A seconda dell'applicazione può essere necessario cambiare il *sampling rate*, il numero di canali attivi, aggiungere eventuali moduli, ecc.

- **Risoluzione e dinamica elevate**

Allo stato attuale nel monitoraggio sismico, ed in particolare in quello vulcanico, si utilizzano sensori attivi a larga banda che presentano rapporti segnale rumore (SNR da *Signal to Noise Ratio*) e dinamiche molto elevati. In conseguenza di ciò si richiede un acquisitore di elevata risoluzione e dinamica confrontabile con quella del sensore.

Conclusioni

Nel presente rapporto si è effettuata un'analisi delle caratteristiche di un sistema di acquisizione dati, facendo riferimento ad alcuni tra i più accreditati strumenti utilizzati per applicazioni di tipo sismologico. Gli strumenti presi in considerazione sono il Quanterra Q330, il Nanometrics Taurus e il Reftek 130-01. Da questa analisi è emerso che questi strumenti, che sono confrontabili tra loro, offrono pur se con qualche differenza, ottime prestazioni. Questo lavoro è stato fonte di importanti informazioni propedeutiche all'attività di progettazione e sviluppo attualmente in corso presso il Centro di Monitoraggio del INGV – Osservatorio Vesuviano volto alla realizzazione di un sistema di acquisizione dati che risponda pienamente alle esigenze di basso consumo, modularità, scalabilità e versatilità da esso sentito nel contesto delle proprie attività di ricerca e di monitoraggio di aree vulcaniche e sismogenetiche.

Bibliografia

<http://www.nanometrics.ca>

<http://www.kinematics.com>

<http://www.reftek.com>

Data Acquisition for Volcano Monitoring EOS vol. 87, n° 38 2006

<http://www.analog.com> (Manuali, Application Notes e Documentazione disponibile)

Analog Digital Conversion Handbook third edition, Eng. Staff Analog Devices,
Prentice Hall, 1986

<http://www.cirrus.com> (Manuali, Application Notes e Documentazione disponibile)

Appendice

Di seguito si allega copia delle brochure tecniche dei prodotti presi in esame nella trattazione di questo documento.

- **NANOMETRICS TAURUS**

SENSOR INPUTS	
Channels	3 standard, field upgradeable to 6 or 9 with addition of external Trident digitisers
Sampling	Simultaneous
Input voltage range	40 V peak-to-peak differential (at gain 0.4)
Nominal sensitivity	1 count/mV (gain 1)
Hardware gain selection	Software configurable 0.4, 1, 2, 4, 8
Software gain	User configurable 0.001 to 100
High pass filter	User configurable in mHz
DIGITIZER PERFORMANCE	
Type	Proprietary high order sigma-delta
Digital filter	140dB attenuation at output Nyquist
Filter type	Linear phase (consult factory for other options)
Dynamic range	>138dB @ 100sps (max sine wave above shorted input)
Sample rates	10, 20, 40, 50, 80, 100, 120, 200, 250, 500 sps
SENSOR SUPPORT	
Sensor types	Broadband active and short period passive
Control lines	3; typically used for Calibration enable, mass center and mass lock/unlock Logic level configurable; High: 5V, 12V, open drain. Low: 0, open drain
Sensor power	Supply power pass-through to sensor (9-36 VDC). Protected against short circuit. Sensor power can be switched on/off from user interface.
INSTRUMENT STATE OF HEALTH	
Taurus records continuous instrument state-of-health including:	Seismometer mass position Calibration enabled bit for each channel GPS state-of-health Instrument temperature

	Signal clip indication bit
User accessible SOH	4 external SOH channels (12-bit)
Configuration	Complete configuration audit trail
Communications	Complete audit trail with cumulative good/bad packet counts
Log file	All software

INTERNAL DATA STORAGE

The following media options are available

Compact flash	Standard and industrial grade Type I/II. 1 or 2 Gbyte; Contact factory for larger capacity options.
1.8" ATA disk drive	40 GByte
Recording capacity	>600 days continuous recording, 3-channels @100sps on 30 GByte ATA drive (~40 days on 2 Gbyte Compact flash)
Recording modes	Continuous; write once or ringbuffer (overwrites oldest data) Continuous with STA/LTA trigger flags
File system	Ext3 (Linux) Drivers provided for Windows XP
	Compact flash readable on standard USB flash card reader
Store format	Nanometrics <i>Store</i> . Direct data output in MiniSEED and Nanometrics formats

DATA RETRIEVAL

Media exchange	Compact flash and ATA drives are field swappable. Flash readable on standard flash card readers
Download interfaces	Ethernet 10/100 Base T

REAL-TIME DATA COMMUNICATIONS

Interfaces	10/100 Base T Ethernet
Protocols	UDP/IP unicast/multicast HTTP (POST and GET) RS-232 serial with IP drivers

INTEGRATED USER INTERFACE

LCD display	240*320 color graphics display with backlight
Interface	Web browser with five button navigation
LED	System status tri-color LED, Ethernet Communications LED, Media status LED.
LCD display	240*320 color graphics display with backlight

CONFIGURATION

Taurus is configurable locally via the color LCD display and onboard browser or remotely using any web browser connected to the unit. Multiple unit configuration is achieved using an optional group configuration web server. Consult factory for further information.

SOFTWARE

Operating system	Linux
Applications software	Nanometrics Next Generation NAQS Server with web interface

CONNECTORS

Sensor connector	26-pin mil circular. Primary data channels, sensor control lines, protected/switchable sensor power, digital serial sensor management interface
Serial/USB	19-pin mil circular Serial port 1; Rx, Tx, RTS, CTS, DTR, DSR, CD, RI Serial port 2; Rx, Tx, RTS, CTS (data collection from serial devices)
GPS	TNC, active antenna connection (3.3 V)
Ethernet	4-pin mil circular, 10/100 Base-T 7-pin mil circular, 4 analog SOH inputs, SOH ref., 3.3V @10mA power
NMXBus	4-pin mil circular, NMXbus data and power
Power	3-pin mil circular, 9-36 VDC
USB	USB Master/slave accessible behind media door

POWER

Power system	Protected fuseless design with configurable low power disconnect, reverse protection and short circuit protection
Ultra low power mode	650 mW @ 12Volts. 3-channel continuous recording @100sps, <100 usec timing precision, Compact flash recording
Low power mode	1.1 Watt @ 12Volts; 3-channel continuous recording @100sps, continuous serial data acquisition (external geodetic GPS or equivalent), <100 usec timing precision, internal disk or Compact flash recording.
Communications mode	1.5 Watt typical; 3-channel continuous recording @100sps, <100 usec timing precision, real-time Ethernet or serial communications
Configuration mode	<3.5 Watts. All systems operational including color graphics display.
Low voltage disconnect	Software configurable

ENVIRONMENTAL

Operating temperature	-20C to +60C base unit using Compact Flash storage +5C to +55C base unit using 1.8" ATA disk storage
-----------------------	---

Storage temperature	-40C to +70C
Humidity	100%
Length	264mm
Width	147mm
Depth	60mm
Weight	1.8 Kg

- **QUANTERRA – Q330**

Specification	Description
Channels:	standard 6-channel Q330-6
Dynamic Range:	Approx. 135 dB RMS S/N, typically better < 5Hz.
Format:	32-bit integer, "lightly" compressed 1-second packets
Input Range:	40V P-P at gain=1
Gain:	Selectable: 1,30
Filtering:	Digital, Linear or Minimum Phase.
Sample Rate:	200, 100, 40, 20, 10 Other rates available.
Timing:	GPS, typical accuracy <0.1msec.
Time Base:	Precision TCXO. Phase locked to GPS.
DSP/CPU:	AD-2189M
Telemetry:	Simplex or Duplex with positive acknowledge, sliding window over UDP/IP. SLIP framed. Burst or continuous.
Temperature:	Fully specified -20 to +50C Operative -40 to +70C
Sensor Control:	Calibrate step, sine, or random. Recenter, on-command
Auxiliary Data:	Temp, DC voltage, GPS status
Memory:	8Mb RAM standard
Network:	IEEE 802 10Base-T Ethernet UDP/IP Protocol Stack
Serial Ports:	2 serial telemetry and 1 console ports up to 115kbaud
Wireless:	IrDA interface supported.
Time:	GPS with antenna + 16m cable.
Power:	<1W avg. 12VDC 3-channel
Physical:	Sealed, Aluminum, 14 X 4 X 6 in.

- REFTEK 130-01

Specification	Description
Mechanical - DAS	
Size:	◆ 5.3" (135mm) high x 7.3" (185mm) wide x 13.5" (343mm) long
Weight:	◆ 4.5 lbs (2 kg)
Watertight Integrity:	◆ IP 67
Shock:	◆ Survives a 1 meter drop on any axis
Operating Temperature:	◆ -20°C to +60°C
Connectors	
Channel Input:	◆ PTO7A14-19S (2 each for 6-Channel DAS)
Power:	◆ PTO7A12-4S
NET:	◆ PTO7A14-19P
Serial:	◆ PTO7A12-10P
GPS Antenna:	◆ PTO7A12-8S
Power	
Input Voltage:	◆ 10 to 16 VDC
Average Power:	◆ ~1 W (3 ch., no communications)
	◆ ~1.4 W (3 ch., with communications)
	◆ ~1.7 W (6 ch., no communications)
	◆ ~2.1 W (6 ch., with communications)
Communications	
Ethernet:	◆ 10-BaseT, TCP/IP, UDP/IP, FTP, RTP
Serial:	◆ Asynchronous, RS-232 , PPP, TCP/IP, UDP/IP, FTP, RTP
Serial Connector:	
Terminal:	◆ Asynchronous, RS-232 , 130 Command
A/D Converter	
Type:	◆ Δ - Σ modulation, 256 KHz base rate, 24-bit output resolution
Channels:	◆ 3 or 6
Input Impedance:	◆ 2 Mohms, 0.002 μ Fd, differential @ x32; 25 Kohms, 0.002 μ Fd, differential @ x1
Common Mode Rejection:	◆ Greater than 70 dB within +/-2.5VDC
Gain Selection:	◆ x1 and x32
Input Full Scale:	◆ 20 VPP @ x1 and 0.625 VPP @ x32
Bit Weight:	◆ 1.589 μ volts @ x1 and 49 nV @ x32
Noise Level:	◆ ~1 count RMS at 50 sps @x1
Sample Rates:	◆ 1000, 500, 250, 200, 125, 100, 50, 40, 25, 20, 10, 5, 1 sps
Auxiliary Channels	
Inputs:	◆ 3 Channels Available on each Sensor Connector
	◆ Supply Voltage
	◆ Backup battery Voltage
	◆ Temperature
Time Base	
Type:	◆ GPS Receiver/Clock plus a disciplined oscillator

Accuracy with GPS:	♦ +/- 100 µsec after validated 3-D fix and locked
Free-Running Accuracy:	♦ 0.1 ppm over the temperature range of 0°C to 40°C, and 0.2 ppm from -20°C to 0°C
Recording Modes	
Continuous:	♦ Record length
Time Trigger:	♦ A list of record times and lengths
Event Trigger:	♦ STA/LTA with advanced features including bandpass filter LTA hold, etc.
Level Trigger:	♦ Absolute value, user selectable: g, or % of full scale, or counts including bandpass filter
External Trigger:	♦ External pulse on trigger input line
Recording Capacity	
Battery Backed SRAM:	♦ 5 Mbytes
Hard Disk:	♦ 4 GB with two CF II type cards (8 Gbytes also available)
Recording Format	
Format:	♦ PASSCAL Recording Format (Mini-SEED will be available)