



Rapporti tecnici INGV

**Gestione dei dilatometri installati
in pozzi profondi all'Etna**

258



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)

Luigi Cucci (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM1)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Marcello Vichi (INGV - BO)

Sara Barsotti (INGV - PI)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 095 7165851

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

GESTIONE DEI DILATOMETRI INSTALLATI IN POZZI PROFONDI ALL'ETNA

Antonino Sicali, Alessandro Bonaccorso

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania - Osservatorio Etneo)

258

Indice

Introduzione	5
1. Metodologia d'installazione e prime installazioni all'Etna	5
2. Descrizione dello strumento e logica di comando	8
3. Limiti dei sistemi operativi Unix-like per il controllo di strumenti in ambiente estremo	9
4. Sistema energetico e problematiche connesse	9
5. Sistema energetico: implementazione di un User Controller	12
6. Trasmissione dei dati	14
7. Struttura dei dati	15
8. Trattamento del dato	16
Ringraziamenti	19
Bibliografia	19
Appendice A. SyncStrain bash script	21
Appendice B. geodap bash script	22
Appendice C. geodap50 bash script	23

Introduzione

In ambiente vulcanico, al fine di monitorare e studiare l'azione delle sorgenti, è di fondamentale importanza riuscire a misurare con estrema precisione l'espansione/contrazione del mezzo. Questo è ottenibile attraverso l'utilizzo di strumenti noti come *borehole strainmeters* (o dilatometri da pozzo). Lo strumento di base è da un punto di vista teorico abbastanza semplice. Consiste di un tubo cilindrico, al suo interno riempito di specifico fluido (solitamente olio di silicone), da installare in un foro appositamente trivellato ponendolo in contatto con le pareti rocciose del foro attraverso l'utilizzo di cementi ad espansione, che consentono un perfetto accoppiamento strumento-mezzo. La variazione di livello del fluido indotta dalla variazione dello strain nel mezzo circostante è quindi misurata con estrema precisione attraverso un apposito sensore. I dilatometri da pozzo sono gli strumenti più sensibili alle variazioni dello stato degli sforzi finora realizzati a fini geofisici (sensibilità nominale $\delta V/V$ fino a 10^{-12}). La tipologia di strumentazione utilizzata nelle installazioni all'Etna è quella nota come *Sacks-Evertson borehole strainmeters* (o *dilatometers*) [Sacks et al., 1971]. Le principali caratteristiche tecniche della strumentazione sono riportate in tabella 1. Gli strainmeters e l'elettronica di controllo sono prodotti dal Department of Terrestrial Magnetism (DTM) del Carnegie Institution di Washington. I colleghi del DTM sono presenti alle fasi finali d'installazione e di avvio dell'operatività strumentale.

sensibilità nominale max. 10^{-12} dinamica 'ampia' ~ 140 dB intervallo misura sino $\sim 5 \times 10^{-5}$ intervallo frequenze $10^{-7} - 10^2$ Hz
--

Tabella 1. Principali caratteristiche tecniche della strumentazione.

1. Metodologia d'installazione e prime installazioni all'Etna

L'elevata sensibilità strumentale è sicuramente affetta dal rumore ambientale. Forti miglioramenti del rapporto segnale/rumore sono ottenibili attraverso l'ausilio di installazioni realizzate a profondità di circa 200 metri all'interno di fori trivellati opportunamente predisposti. Un diagramma schematico dell'installazione è riportato in figura 1.

Ciascuna perforazione è di norma costituita da un pozzo della profondità tra 150 - 200 metri, con diametri interni 122 mm, incamiciato nella parte superiore alla zona d'installazione strumentale, e 96 mm nel tratto terminale dove alloggia la strumentazione. La fornitura per ciascun pozzo di alloggiamento dei dilatometri comprende:

- Tecnica perforazione *wire-line* a carotaggio continuo ed aste con diametro da 122 mm.
- Quando sono trovate rocce consistenti idonee per l'alloggiamento della strumentazione, a profondità non inferiore a 150 m, installazione di camicia con diametro 122 mm e cementazione nella camicia.
- Sondaggio tratto terminale con diametro 96 mm, fino a trovare un tratto di materiale consistente ed idoneo per l'installazione.
- Cementazione del pozzo fino alla camicia e ri-perforazione fino alla profondità massima con aste da 96 mm.
- Prove 'sealing' del pozzo (prove tenuta acqua).
- Posa in opera della strumentazione scientifica (dilatometri) in cemento ad alta espansione, con copertura finale con ulteriore gettata di cemento.

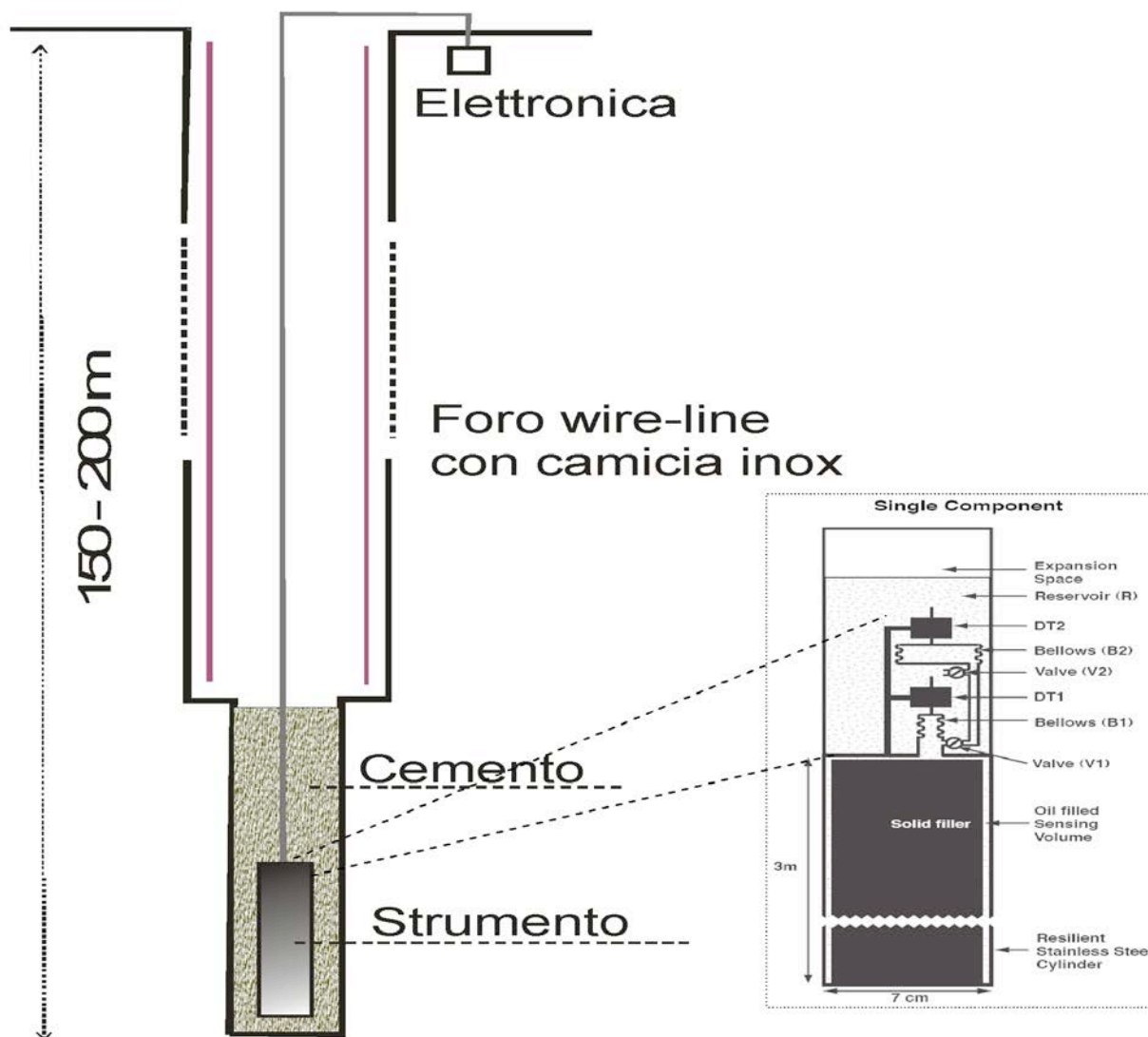


Figura 1. Diagramma schematico dell'installazione di uno strainmeter borehole e particolare del sistema di misura.

Dopo alcuni anni dedicati ai preparativi e alla realizzazione delle perforazioni, avvenute attraverso il contributo Progetto FIRB “Sviluppo Nuove Tecnologie per la Protezione e Difesa del Territorio dai Rischi Naturali” (denominato *FUMO*), Sottoprogetto - *Work-package 1 - Sviluppo dei Sistemi di Osservazione Innovativi*, Sottoprogetto b1, all'Etna le prime due installazioni sono avvenute nell'Ottobre-Novembre 2011.

I due siti prescelti, riportati nella mappa di figura 2, si trovano nel versante occidentale dell'Etna, rispettivamente ad una distanza di circa 6 km (Monte Egitto – DEGI) e 10 km (Monte Ruvolo – DRUV) dai crateri centrali. Le foto dei due siti, riprese durante le operazioni d'installazione, sono riportate in figura 3a e 3b.

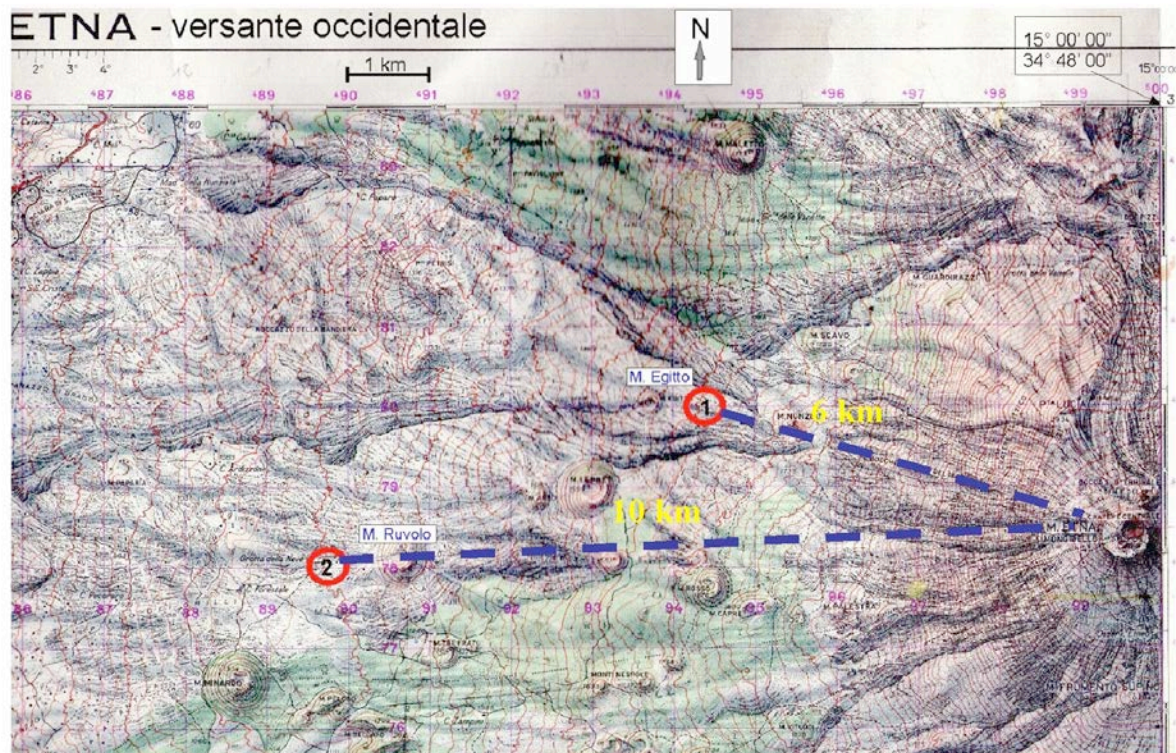
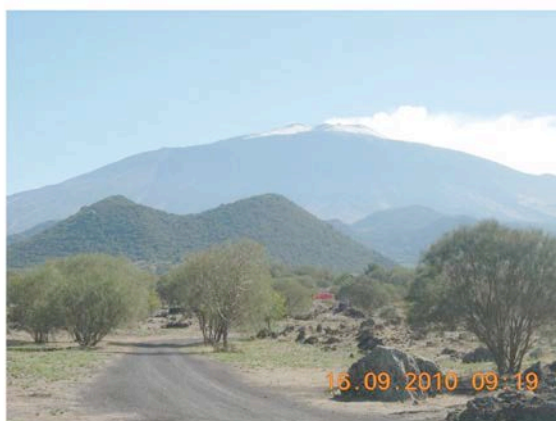


Figura 2. Mappa del settore occidentale dell’Etna con due siti prescelti per le installazioni degli strainmeters. I due siti si trovano rispettivamente ad una distanza di circa 6 km (Monte Egitto – DEGI) e 10 km (Monte Ruvolo – DRUV) dai crateri centrali.



3a



3b



Figura 3. Le foto dei due siti riprese durante le operazioni d’installazione. In alto M.te Egitto (3a), in basso M.te Ruvolo (3b).

2. Descrizione dello strumento e logica di comando

Lo strumento si compone di parti meccaniche, idrauliche ed elettriche [Sacks et al., 1972]. La variazione di strain che agisce nel mezzo circostante viene misurata attraverso un meccanismo di iniezione del fluido, contenuto nell'apposito alloggiamento posto all'interno della strumentazione, in una valvola provvista di una capsula barometrica (*sylphon bellow*) che viene sollecitata dalla pressione del fluido (Fig. 1). La variazione di questa capsula è quindi misurata attraverso un sensore ad alta precisione tipo il LVDT (Linear Variable Differential Transformer). Un meccanismo del genere è molto delicato in quanto se sottoposto ad elevate pressioni potrebbe danneggiarsi. Per evitare danneggiamenti dovuti all'eccessiva pressione la strumentazione è stata migliorata [Sacks, 1998] con l'aggiunta di un secondo dispositivo composto da un ulteriore sistema valvola-capsula-trasduttore avente minore sensibilità. Questo dispositivo aggiuntivo consente di riequilibrare la pressione a cui è soggetta la strumentazione e nello stesso tempo di riaggiustare il *range* di misura.

L'elettronica dello strumento si può suddividere in tre parti principali: elettronica digitale e logica di comando, elettronica analogica e convertitori A/D, attuatori elettromeccanici (elettrovalvole) e trasduttori LVDT. I tre blocchi implementano un sistema con controllo (*feedback*) che permette allo strumento di funzionare sempre nelle condizioni migliori di misura e sicurezza. La parte digitale è composta essenzialmente da una scheda a microcontrollore tipo Rabbit Semiconductor RCM3200; tutte le funzionalità di acquisizione, archiviazione e trasmissione del dato vengono affidate al microcontrollore. Al microcontrollore è affidato anche il compito di decidere come e quando azionare le elettrovalvole per evitare danni al sensore e rimettere lo strumento in *range*. Sulla scheda è installato un sistema *UNIX-like* con *kernel Linux* versione 2.6.12.2 compilato per architettura ARM. Il processore utilizzato è un Intel's ARM XScale PXA255. Nelle ultime versioni la scheda utilizza un disco a stato solido (SSD, *Compact Flash Rugged*) che permette di aumentare ulteriormente l'affidabilità e diminuire i consumi rispetto ad un classico disco meccanico.



Figura 4. L'aspetto esterno dell'elettronica di controllo (Shoebbox) e la sua tipologia di ubicazione nel sito remoto.

La parte analogica di acquisizione utilizza essenzialmente due tipi di convertitori a 24 e 20 bit. I convertitori a 24 bit vengono usati per i segnali principali che hanno bisogno di una maggiore precisione mentre i canali a 20 bit vengono utilizzati per i segnali di importanza minore come la tensione di batteria o

Nei casi in cui il sistema energetico, come accade alle stazioni remote all'Etna, è di tipo solare, in presenza di una batteria danneggiata può verificarsi che almeno una volta al giorno venga tolta l'alimentazione, e in condizioni di poca insolazione il numero di distacchi può addirittura aumentare. Dunque la soluzione di assorbire continuamente corrente senza mai staccare il carico da un lato permette di non avere continui distacchi, però determina il rischio di non poter utilizzare più il sistema qualora la batteria venga completamente stremata fino a scendere sotto la tensione minima di 10.5 V e, talvolta, provocandone il guasto definitivo. Ovviamente questa criticità è elevata soprattutto in condizioni estreme come accade con le installazioni in aree vulcaniche.

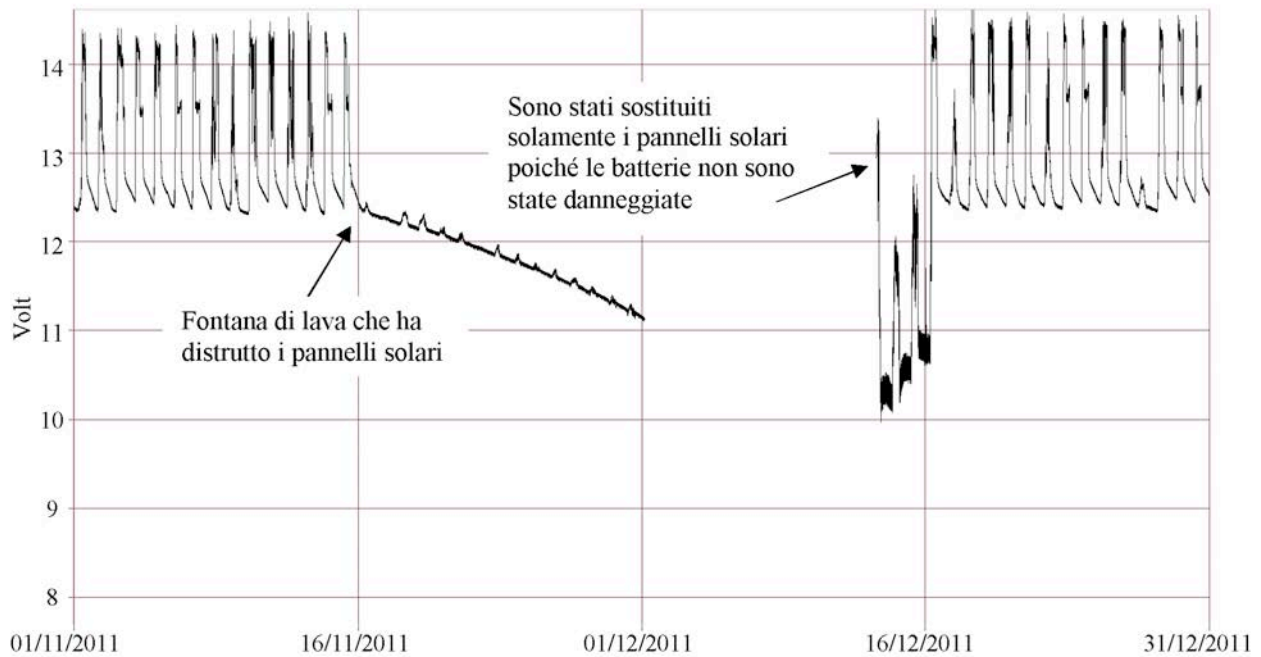


Figura 5. Tensione di batteria campionata alla stazione gravimetrica di Belvedere.

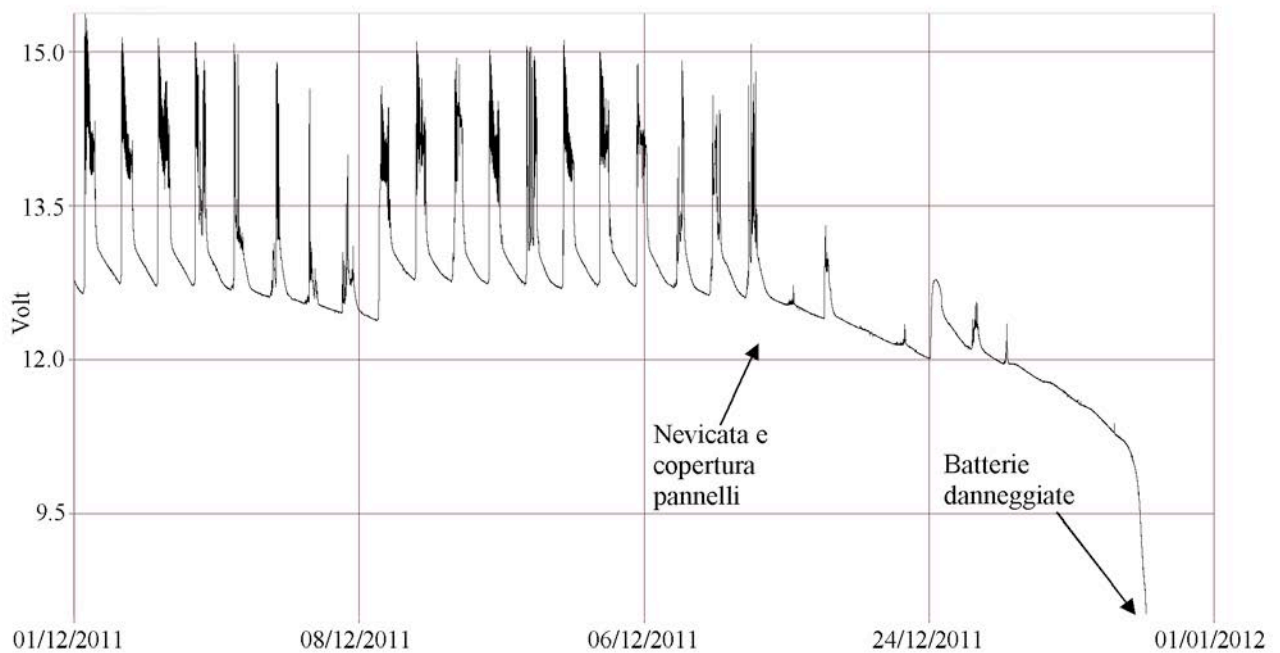


Figura 6. Tensione di batteria campionata alla stazione dilatometrica di M.te Egitto.

per segnali che non hanno una grande precisione come la temperatura. La scheda è capace di leggere fino a 8 segnali a 24 bit e 4 a 20 bit. L'acquisizione a 24 bit viene assicurata dal sistema hardware CS5372/CS5376 mentre quella a 20 bit viene esplicata dal chip CS5506. Ciascun canale a 24 bit permette di avere un *range* dinamico teorico di 124 dB. I dati analogici acquisiti vengono utilizzati dal microcontrollore per comandare gli attuatori meccanici. Ogni stazione di misura viene sincronizzata mediante un GPS. Tutto il sistema consuma un massimo di 8-10W esclusa la trasmissione.

Durante le normali operazioni di misura le valvole rimangono entrambe chiuse per aprirsi quando lo strain cumulato si avvicina al limite di misura dello strumento. Essendo valvole elettromeccaniche esse hanno bisogno di essere azionate elettricamente. Ciò implica che, per evitare danni allo strumento qualora mancasse l'alimentazione, queste debbano essere preventivamente aperte ovvero non può essere tolta brutalmente tensione al sistema, poiché le valvole resterebbero chiuse con rischi per il sensore. A tal fine, quando la tensione di alimentazione scende a valori troppo bassi il sistema di controllo, che viene identificato con il nominativo "Shoebox", avvia la procedura di *shutdown* in cui il sistema apre entrambe le valvole e pone il sensore in sicurezza evitando danni strutturali. L'aspetto esterno della *Shoebox* e la sua ubicazione nel sito remoto è mostrata in figura 4.

3. Limiti dei sistemi operativi Unix-like per il controllo di strumenti in ambiente estremo

Il produttore degli strumenti utilizzati fornisce il sistema di controllo che, come sopra esposto, si avvale di un sistema operativo *Unix-like* (Linux). Questo da sempre è stato un sistema multi-piattaforma grazie all'utilizzo del linguaggio C, che permette di ricompilare i software per diverse piattaforme hardware/software riducendo di molto i tempi di sviluppo di qualsiasi sistema.

Unix è un sistema operativo di alto livello che purtroppo non si presta bene ad essere utilizzato in situazioni estreme che ne potrebbero pregiudicare il funzionamento ed è sensibile soprattutto ai blackout energetici. Unix prevede una procedura per lo *shutdown* che viene richiamata dall'utente via software o attraverso la pressione di un pulsante. La procedura di *shutdown* è usata solo per particolari scopi di manutenzione e si adatta bene ai grandi *mainframe* che rimangono sempre in funzione.

I sistemi di acquisizione nel funzionamento sono molto simili ai *mainframe*: devono rimanere sempre in funzione. Però la criticità sta nel fatto che, mentre i *mainframe* vengono installati in ambienti con controllo di tutti i parametri sensibili (temperatura, umidità, distacchi energetici, etc.), i sistemi di acquisizione sono spesso installati in luoghi molto ostili come avviene per le stazioni di monitoraggio all'Etna. In un'installazione in campagna nessuno dei parametri fondamentali per il funzionamento viene controllato accuratamente, ciascun parametro può solo essere mantenuto entro certi livelli che permettono al sistema di funzionare (ad esempio, si può strutturare il sito in modo da minimizzare le escursioni di temperatura o porre al riparo il sistema da umidità e acqua).

Per numerosi problemi esiste una soluzione strutturale, mentre invece non esiste una soluzione definitiva ai *blackout* elettrici. La tipologia degli impianti elettrici, che nei siti di monitoraggio sull'Etna come sugli altri vulcani sono in prevalenza sistemi solari, rende alquanto difficile eliminare completamente i *blackout* che possono essere facilmente causati dalle condizioni estreme a cui è soggetta l'area vulcanica (fontane di lava con ricaduta di cenere sui pannelli, nevicate abbondanti, cavi tranciati dal vento, etc). Per un sistema Unix un distacco di corrente improvviso potrebbe creare problemi di *filesystem* inconsistente, che secondo la gravità potrebbero anche bloccare l'intero sistema. Difatti molti sistemi (non solo quelli *Unix*) prevedono un controllo del disco (*fsck*, *scandisk*, etc..) allo *startup* dopo un *blackout* elettrico. Purtroppo non tutti gli errori del *filesystem* possono essere risolti in automatico, quindi il rischio è che un sistema si blocchi comunque.

Come analizzato nei successivi paragrafi, la soluzione per ovviare a tali problemi è connessa alla realizzazione dei sistemi energetici che siano opportunamente in grado di assorbire i *blackout* elettrici e avviare sempre la procedura di *shutdown* (almeno per quelle interruzioni che in un sistema con batterie tampone possano risultare casi prevedibili).

4. Sistema energetico e problematiche connesse

Il sistema energetico originale, cioè quello che di norma i colleghi americani del Carnegie Institution suggeriscono di adottare, prevedeva di collegare lo strainmeter direttamente alle batterie per evitare che, in caso di crisi energetica, i ripetuti attacchi e distacchi della corrente potesse danneggiare il *filesystem* di *Linux*.

Nelle figure 5 e 6, sono riportate le tensioni di batteria di due stazioni di misura differenti (rispettivamente gravimetrica e dilatometrica) che hanno rispettivamente due diverse tipologie di collegamento energetico. Alla stazione gravimetrica in località Belvedere (Etna, alto versante meridionale) la fontana di lava del 15 novembre 2011 generata al Nuovo Cratete di SE ha rotto i pannelli solari, e la tensione è iniziata a scendere (Fig. 5). In questo caso le batterie erano salvaguardate dal regolatore che ha staccato opportunamente il carico dopo due settimane quando è stato raggiunto il valore di soglia 11.2 V. Le batterie, seppur non caricate nelle ulteriori successive due settimane, sono state comunque totalmente recuperate.

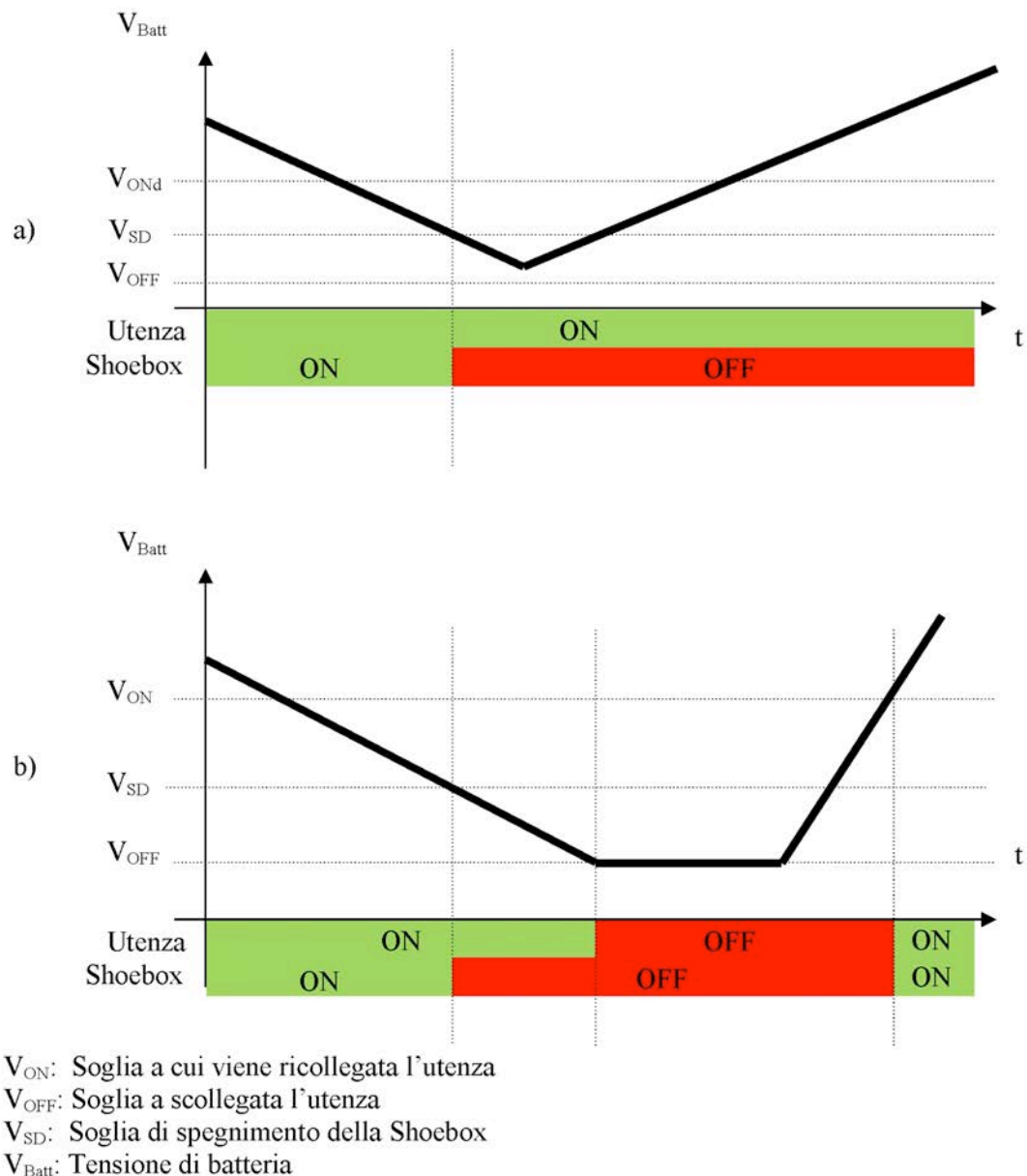


Figura 7. Timing del distacco energetico: a) la *Shoobox* esegue lo *shutdown* su un falso segnale e rimane spenta indefinitamente; b) la *Shoobox* esegue lo *shutdown* e si riaccende normalmente quando l'utenza viene ricollegata.

Diverso è quanto accaduto alla stazione dilatometrica di M.te Egitto (Fig. 6). Qui, infatti, in seguito ad una nevicata, in sequenza è accaduto che: le batterie sono andate a un livello basso di tensione, il regolatore non ha potuto staccare il carico, è stata consumata tutta l'energia disponibile, la stazione si è staccata e le piastre delle batterie si sono danneggiate irrimediabilmente. In questo caso la stazione si è potuta ripristinare solo sostituendo le batterie.

Dunque dopo l'installazione delle stazioni dilatometriche, con l'utenza collegata direttamente alle batterie, esisteva il problema serio del possibile danneggiamento alle batterie, che per altro rischiava di rendere inutilizzabile lo strumento esponendolo a rischi meccanici qualora, a causa di non adeguati spegnimenti, le valvole non fossero state comandate per aprirsi in tempo. Si deve inoltre puntualizzare che durante l'inverno la stazione di M.te Egitto è difficile da raggiungere a causa della neve quindi difficile da ripristinare. È stato dunque necessario trovare una soluzione al problema, che modificasse il sistema energetico e scollegasse l'utenza in modo sicuro e non traumatico per *Linux* permettendo alla *Shoebox* di avviare e completare la procedura di *shutdown*, e salvaguardare le batterie.

Una possibile soluzione da adottare potrebbe semplicemente essere quella che la *Shoebox* legga la tensione di batteria e avvii lo *shutdown* in maniera indipendente. Questa soluzione potrebbe però generare un problema. Infatti durante la discesa della tensione di alimentazione, raggiunta la tensione di soglia fissata dalla *Shoebox* (poco sopra di quella di stacco del regolatore per garantire il tempo per lo spegnimento), verrebbe avviata la procedura di *shutdown* e la *Shoebox* si spegnerebbe. Qualora la tensione non continuasse a scendere e il regolatore non raggiungesse la propria tensione di soglia (Fig. 7a), allora avremmo salvaguardato le batterie ma interrotto l'acquisizione. Questa non può essere più ripresa a meno che il regolatore non stacchi l'utenza, in quanto la *Shoebox* si riavvia automaticamente solo quando viene ripristinata l'alimentazione dopo un distacco, che di fatto in questo caso non è mai avvenuto. La *Shoebox* rimane spenta poiché dopo lo *shutdown* ha bisogno di un gradino di tensione positivo (*rising edge*) sulla linea di alimentazione per accendersi (Fig. 7b). Questo gradino di tensione è praticamente equivalente alla pressione del pulsante di accensione nei computer moderni.

Per evitare i falsi segnali della figura 7a si deve far partire la procedura di distacco prima della procedura di *shutdown* in modo che il regolatore non abbia la possibilità di ripensamento. Inoltre per rispettare il timing della figura 7b è necessario che il *controller* prenda ogni decisione e comunichi soltanto il risultato alla *Shoebox*. In altre parole, la tensione di batteria non dovrebbe essere letta da entrambi i dispositivi poiché si potrebbero generare ancora falsi positivi come illustrato in figura 7a, causa mancata calibrazione o imprecisione dei due sistemi di lettura. Potrebbe anche accadere che la *Shoebox* legga una tensione inferiore a quella letta dal regolatore, riportando alle condizioni del caso non desiderato di figura 7a.

Ne possiamo dedurre che i due sistemi non possano agire indipendentemente ma devono interagire tra loro: deve costituirsi un modello *master-slave* in cui il regolatore avverte in maniera non ambigua la *Shoebox* che a sua volta agisce di conseguenza. Tutto si riduce ad un problema di comunicazione tra i due componenti, da una parte un regolatore solare per impianti *stand-alone* d'altra la *Shoebox*. Purtroppo entrambi i sistemi sono chiusi e non modificabili, tranne che per il software della *Shoebox*, quindi non è immediato trovare un modo per metterli in comunicazione. Alla fine, per superare anche questo problema, si è adottata la soluzione di inserire un terzo oggetto che sostituisca in parte le funzionalità del regolatore, ovvero sostituisca la parte che scollega l'utenza in presenza di crisi energetica. Questo nuovo oggetto ha il compito di prendere visione della situazione energetica e comunicarla alla *Shoebox*, quest'ultima avvierà la procedura di *shutdown*. L'unica linea di comunicazione che possiede la *Shoebox* è quella ethernet quindi il nostro dispositivo dovrebbe comunicare via Ethernet. L'idea di utilizzare una comunicazione ethernet solleva però ulteriori problemi sia hardware che software. Per risolverli bisognerebbe impiegare un dispositivo di alto livello a microcontrollore simile alla *Shoebox*, che comunque potrebbe consumare energia preziosa e risultare non del tutto affidabile. Bisognerebbe inserire un *Watch Dog* esterno, uno *switch Ethernet*, si dovrebbe scrivere del software per la *Shoebox* che gestisca la comunicazione con il nuovo dispositivo. Tutto questo implica un sistema complicato, con nessuna garanzia di essere totalmente affidabile. Dunque, come illustrato nel successivo paragrafo, si è valutata l'applicazione di una soluzione che non fosse legata alla comunicazione via *ethernet*, e che risultasse sicura e semplice allo stesso tempo.

5. Sistema energetico: implementazione di un User Controller

La figura 8 mostra uno schema a blocchi del circuito proposto.

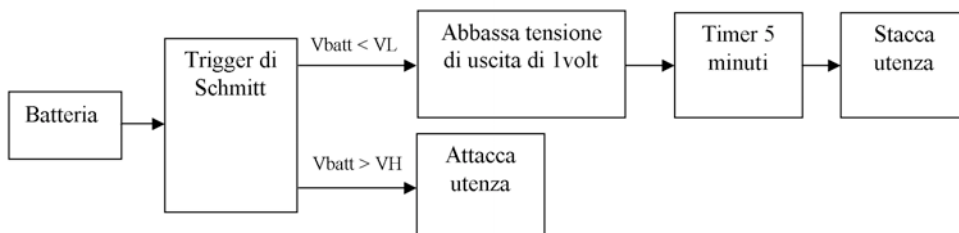


Figura 8. Schema a blocchi dell'User Controller.

La soluzione è semplice e affidabile, non consuma molto (i consumi dipendono solo dai relè utilizzati in prima battuta e che potrebbero essere sostituiti da interruttori a stato solido, il tutto consuma meno di 50 mA), e la cosa più importante non bisogna modificare l'hardware ma solo inserire un'operazione di verifica in *polling* della tensione di batteria nel software di controllo della *Shoebox*. Il circuito utilizza un trigger di Schmitt le cui soglie sono regolabili e fissate a 11.7 e 12.5 rispettivamente di stacco e riattacco dell'utenza. Il *controller* fa uso di un timer che permette alla *Shoebox* di spegnersi in sicurezza evitando allo stesso tempo il generarsi di falsi segnali di shutdown sul tipo di quelli mostrati in figura 7a. Il tempo del timer è stato fissato da progetto a 5 minuti. Il regolatore raggiunta la soglia minima, avvia il timer e invia un segnale alla *Shoebox*. Poiché non ci sono linee di comunicazione tra il regolatore e la *Shoebox*, tale segnale viene inviato semplicemente attraverso la linea elettrica, e questo genera un gradino di tensione (*falling edge*) sulla linea di alimentazione semplicemente inserendo un paio di diodi in serie. L'effetto è di abbassare repentinamente la tensione da 11.7 a circa 10.3 v e conseguentemente di far scattare un allarme nella *Shoebox* che deciderà di avviare la procedura di *shutdown*. Si può notare come non esiste ambiguità nell'interpretazione di tale segnale: è difficile che venga generato dal sistema solare, ed una volta ricevuto dalla *Shoebox* si è sicuri anche del successivo e imminente distacco dell'utenza. Nella figura 9 si può visionare lo schema elettrico del controller. Si è cercato di utilizzare una logica semplice e di conseguenza affidabile: non ci sono microcontroller che possono andare in stallo, tutta la logica è di tipo combinatoria e parallela. L'installazione è altrettanto semplice: va inserito in cascata alla linea di alimentazione subito dopo le batterie. Nella figura 10 viene riportata la tensione di batteria della stazione dilatometrica di M.te Egitto dall'installazione del dilatometro fino alla ripresa delle batterie successiva all'installazione dell'*user controller*. Si può notare come, nonostante i problemi di neve e maltempo non fossero cessati, dopo la sostituzione delle batterie queste hanno resistito grazie ai tempestivi distacchi del carico decisi dal nuovo componente.

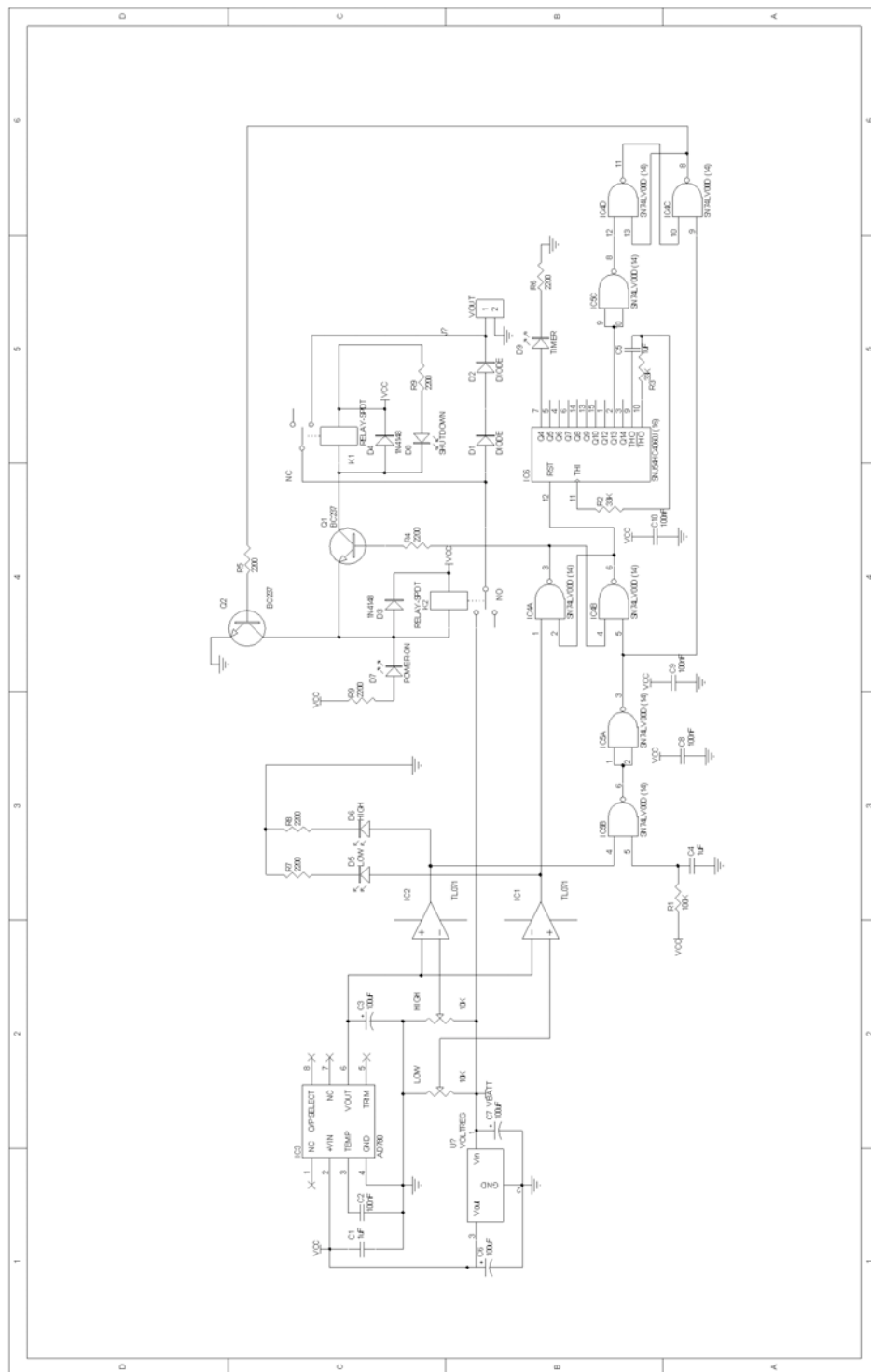


Figura 9. Schema elettrico dell'User Controller.

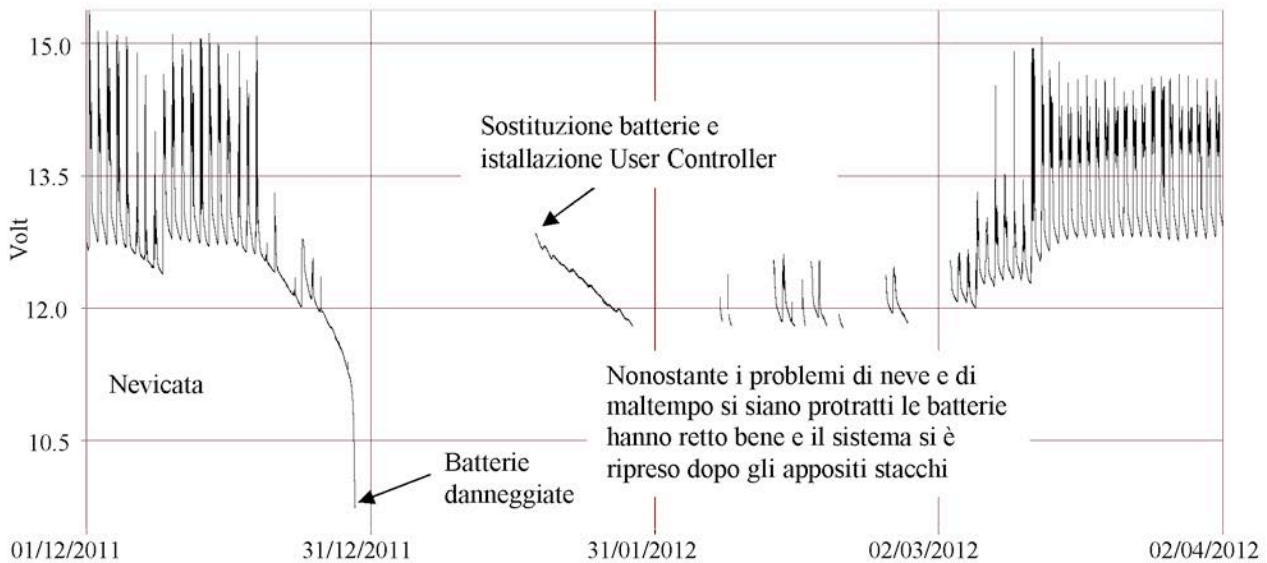


Figura 10. Tensione di batteria registrata alla stazione dilatometrica di M.te Egitto. Nel periodo invernale l’user controller è intervenuto più volte con appositi stacchi a salvaguardare le batterie, che si sono regolarmente riprese quando il tempo atmosferico è migliorato.

6. Trasmissione dei dati

La *Shoebox* insieme al suo alimentatore (*iBoot*) sono collegati attraverso una rete locale (LAN) per il reciproco scambio di dati, nello specifico dati di alimentazione e di funzionamento. Nella rete è stato inserito un router 3G che permette da remoto di accedere sia alla *Shoebox* che all’*iBoot*: attraverso delle tecniche di *port forwarding* vengono smistate le richieste provenienti dalla WAN (*Wide Area Network*) verso i dispositivi *Shoebox* e *iBoot*, permettendo ai pacchetti di fluire attraverso il *firewall*. Ogni dispositivo possiede diversi server installati che permettono di monitorare ampiamente le funzioni del sistema da remoto e di interagire con esso. Si hanno a disposizione server Web, SFTP, SSH che permettono sia di riprendere i dati archiviati sia di mantenere il sistema da remoto ed eventualmente diagnosticare malfunzionamenti.

Il router 3G utilizzato è del tipo UR5 costruito dalla *Conel* e permette di interfacciarsi sia a reti GPRS, EDGE che UMTS raggiungendo velocità di 3.6 Mbit/s in download e 384 Kb/s in upload. Considerando che uno strainmeter produce circa 15MB (120Mb) al giorno, alla velocità massima ci vorrebbero solamente 30 secondi per scaricare un’intero giorno di dati. Nella realtà la velocità effettiva di trasmissione risulta minore e queste tempistiche non sono rispettate. Per quanto riguarda le soluzioni operative adottate dopo l’avvenuta installazione strumentale, inizialmente si è consentito al *router* di scegliere la tecnologia di collegamento (GPRS/EDGE o UMTS). In seguito, si è verificato che i collegamenti risultavano molto instabili e si generavano spesso problemi di trasmissione, soprattutto a M.te Ruvolo. Si è quindi deciso di forzare il router sulla tecnologia EDGE, che da misure effettuate sul campo è risultato con una copertura migliore rispetto all’UMTS. Purtroppo le velocità dell’EDGE sono molto più basse dell’UMTS e quindi una trasmissione completa avrebbe una durata eccessiva, potendo anche compromettere l’equilibrio energetico del sistema. Dunque, preferendo non trasmettere tutti i dati prodotti, durante il primo anno si è deciso di non scaricare la parte più corposa, cioè i dati a frequenza di campionamento 50 Hz, e di recuperare solamente quelli campionati a 1 h, 1min, 1 sec. I dati a 50 Hz sono il 93% di tutti dati prodotti giornalmente e la percentuale salirebbe a 98% se fossero considerati non compressi. La compressione è standard e viene applicata attraverso il programma *bzip* di *Linux*.

I dati a 50 Hz non scaricati possono essere comunque recuperati in locale oppure in remoto qualora fosse ritenuto opportuno in presenza di particolari eventi tipo fontane di lava e/o altri eventi sismico/eruttivi, possibilmente limitandosi solo a qualche ora di dati.

Con il modello adottato è possibile scaricare i dati da più posti contemporaneamente, però considerando che ogni collegamento può decimare l’energia disponibile è consigliabile effettuare un unico

collegamento e poi duplicare i dati con altri sistemi allacciati alla normale rete elettrica. Per questo si è deciso di scaricare i dati soltanto dalla sede INGV di Catania e aggiornare automaticamente un sito ftp consultabile da altri utenti. Il sito ha le stesse modalità di accesso di qualsiasi altra stazione remota, così da facilitare l'operazione di replica dei dati, eventualmente utilizzando gli stessi script automatici, utilizzati per le stazioni remote. Per rendere il sistema di trasmissione ancora più affidabile, visto che spesso gli apparati impiegati in campagna, nonostante facciano capo allo standard industriale, possono andare in stallo a causa di *bug* che si presentano sul lungo periodo, si è inserito un sistema *Watch Dog* (WD) che sorveglia il normale svolgimento delle operazioni. I migliori sistemi di WD posseggono un *feedback* che permette al sistema intelligentemente di resettarsi solo nel caso in cui si è veramente in stallo. Nel caso di *black box* come può essere un modem o un router si può semplicemente decidere di resettare il dispositivo ad intervalli regolari non potendo discriminare le normali operazioni dalla presenza di un *deadlock*. Dopo aver osservato i primi problemi di stallo sui router, soprattutto a M.te Egitto, si è provveduto ad inserire un timer che riavvia ogni 6 ore circa il router. Sono stati perfezionati gli script originali, designati a scaricare le misure e archivarle sul server locale in quanto è stato riscontrato che talvolta non riuscivano a sincronizzare perfettamente i due database (*locale-remote*) creando delle discontinuità nei dati locali. Infatti gli script originali non riuscendo a discriminare tra file nuovi e vecchi copiavano indistintamente tutto, e per limitare la mole di dati trasmessa lo script selezionava soltanto i file del giorno prima, ovviamente creando problemi nella completezza dell'acquisizione qualora in un giorno non si fosse riusciti a scaricare le misure del giorno prima. In altre parole, nella versione originale accadeva che il giorno successivo, lo script non richiedeva le misure che non aveva potuto scaricare ma solo quelle del giorno prima creando una mancanza di dati. Per ovviare a ciò e risolvere il problema presentatosi, tali *script* sono stati modificati e resi più automatici. A tal fine ci si è avvalsi dell'utilizzo del protocollo SSH e la sua utility *rsync*, che ha lo scopo di facilitare la sincronizzazione di *server* remoti. *Rsync* permette di individuare i file nuovi e di trasmettere solo questi. Rispetto ai script originali si richiede l'aggiornamento di tutto il database ma si effettua il download solamente dei dati mancanti. Nella pratica, per questioni legati alla dimensione di tutto il database, conviene comunque vincolare *rsync* solo ad un numero finito di cartelle. *Rsync* viene sempre eseguito sul mese corrente e sul mese precedente, e a tutt'oggi e non si sono generate più discontinuità nel database. Per eseguire gli script si è installato un server con sistema operativo Ubuntu 12.10. Ogni notte vengono avviati gli script che scaricano i dati e li aggiornano sui diversi sistemi collegati.

7. Struttura dei dati

Per l'archiviazione dei segnali si è usato il formato utilizzato dal programma SAC (Seismic Analysis Code) distribuito dal consorzio IRIS [Goldstein et al., 2003; Goldstein and Snoke, 2005]. Il formato dati utilizzato dal SAC è molto articolato e permette di memorizzare in modo efficiente serie temporali di segnali tipo quelli sismici. I dati vengono archiviati sulla *Shoebox* secondo la struttura:

$$/data/[station\ name]/[year]/[month]/[day] \quad (1)$$

Al livello [day] vengono memorizzati i dati con campionamento 50 sps, mentre al livello [month] vengono archiviati tutti gli altri dati. I dati, come già detto, sono memorizzati utilizzando il formato del SAC ed hanno un nome tipo:

$$[station\ name].[channel\ name].[year].[month].[day].[hour].[minute].[second].[samplerate].sac.[bz2] \quad (2)$$

Esempi di file compressi (che hanno l'estensione bz2) a 50 sps sono:

degi.s1s.2012.03.04.16.00.00.50.sac.bz2
druv.s1a.2012.01.01.0.00.00.50.sac.bz2

Esempi di file a 1 ora non compressi sono:

degi.bar24.2012.03.03.11.00.00.1h.sac
druv.tmp.2012.01.01.11.00.00.1h.sac

Le serie temporali memorizzate in ciascun file sono serie complete e quindi prive di ‘buchi’. Ogni qualvolta per qualsiasi motivo viene creato un buco nelle misure viene creato un nuovo file dati.

I segnali possono essere acquisiti a 20 bit o 24 bit secondo l’importanza del canale o semplicemente perché la precisione attesa è limitata come nel caso della temperatura. La descrizione di ciascun segnale è riportata nella Tabella 2.

Id. Canale	Precisione (bit)	Grandezza misurata
S1A	24	Strain LVDT 1 (sistema accoppiato ‘piccola’ capsula barometrica e trasduttore). Misura lo strain
S2A	24	Strain LVDT 2 (sistema accoppiato ‘grande’ capsula barometrica e trasduttore). Serve per riequilibrare lo strain all’interno dello strumento.
BAR24	24	Pressione atmosferica misurata attraverso un sensore Setra
S1S	24	Tensione di alimentazione degli LVDT
TMP	20	Temperatura misura nella Shoebox
PWR	20	Tensione di batteria

Tabella 2. Descrizione dei segnali acquisiti.

I canali S1A e S2A sono misurati all’uscita degli LVDT e sono espressione della deformazione misurata. Mentre S1A, misurato sul condotto più stretto, misura una deformazione, S2A (meno sensibile, in quanto il condotto è più largo) serve per riequilibrare lo strain a cui è soggetto il sensore e misura in maggioranza variazioni dovute alla temperatura. Per discriminare ulteriormente le variazioni (soprattutto piccole) vengono misurate anche la pressione atmosferica (BAR24), la tensione di alimentazione degli LVDT (S1S) e la temperatura (TMP).

Ciascun canale viene campionato a 50 sps e attraverso opportuni filtri di decimazione vengono generati in cascata i segnali a 1 secondo, 1 minuto e 1 ora.

8. Trattamento del dato

Per analizzare e visualizzare i dati si possono utilizzare software già pronti (ad esempio alcuni forniti anche dal consorzio IRIS). Però sovente le procedure di questi programmi sono alquanto macchinose e non di immediato utilizzo. Inoltre le velocità di elaborazione spesso non risultano elevate, sia per la troppa manualità delle operazioni e sia perché vengono usati modelli software troppo pesanti e dispendiosi di risorse, limitando la velocità di esecuzione che invece riveste un ruolo importante nell’analisi e visualizzazione di serie temporali di dati geofisici. In generale non è immediato trovare un software che si possa modificare e ampliare facilmente per venire incontro alle diverse specifiche esigenze.

Un modello capace con poche modifiche di risolvere le più differenti esigenze, è stato creato con il programma denominato GeoDap (*Geophysical Data Processing*) che in generale non è legato specificamente ai dati geofisici, ma possiede la capacità di trattare qualsiasi serie temporale [Sicali et al., 2008]. GeoDap fa largo uso della programmazione ad oggetti e del C++ con lo scopo di separare le diverse parti, e limitare al minimo le modifiche da apportare al software in presenza di particolari esigenze. GeoDap è composto da tre blocchi principali: database, analisi e visualizzazione. Negli anni si è verificato che a ciascun gruppo non fanno capo lo stesso numero di modifiche; il numero di modifiche che fanno capo al primo blocco è di molto superiore alle modifiche apportate agli altri due.

Inoltre allo stesso blocco database le diverse tipologie di modifiche non hanno lo stesso peso: è stato maggiormente modificato il *software* designato al riconoscimento dei dati in ingresso. Dunque nel tempo è scaturita l’idea di creare *files* di configurazione che potessero aiutare il blocco database a processare ogni nuova tipologia di dati eliminando qualsiasi modifica al software. Ogni *file* di configurazione descrive nei minimi dettagli tutta la storia di un determinato sito di misure concentrandosi principalmente al

riconoscimento dei diversi formati (e strumenti di misura) che nel tempo si sono avvicinati. Quindi i *files* di configurazione di GeoDap hanno lo scopo di porre ordine per permettere ai blocchi successivi (analisi e visualizzazione) di acquistare velocità. Per introdurre un nuovo formato ed elaborare nuovi tipi di dati, rispetto al passato, adesso non è più necessario conoscere la struttura di GeoDap (e tanto meno essere programmatori di C). L'introduzione dei *files* di configurazione ha permesso inoltre di diminuire i tempi di manutenzione del software poiché l'impatto di eventuali bug, in seguito all'introduzione di nuovi formati, è limitato al solo livello utente e non si propaga al resto del programma o ad altri utenti. In seguito all'introduzione dei file di configurazione il blocco *database* è stato arricchito da un nuovo blocco di inserimento che viene chiamato *Unified DataBase* (UDB) e che permette di processare i dati grazie alle informazioni contenute nel file di configurazione. L'UDB può accettare sia dati binari che testuali, tutti verranno convertiti in binario e inseriti in una grande matrice completa, che permette oltre a ordinare i diversi campi anche di accedere alla massima velocità durante l'estrazione delle serie. Di fronte ad un modello del genere si può capire come sia semplice ed efficace processare anche i file SAC prodotti dagli strainmeter; infatti occorre solamente istruire GeoDap con un opportuno file di configurazione. Nella figura 11 è mostrato uno *screenshot* del software Geodap mentre vengono elaborati e visualizzati i dati degli strainmeter.

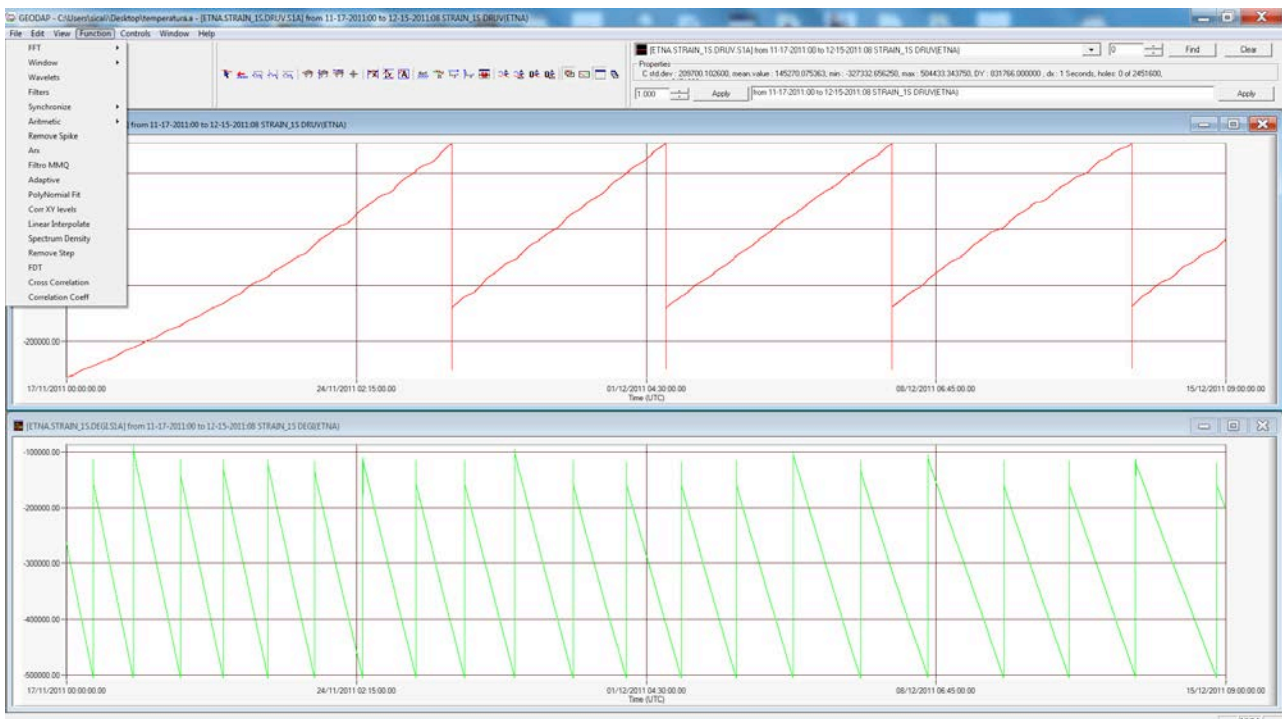
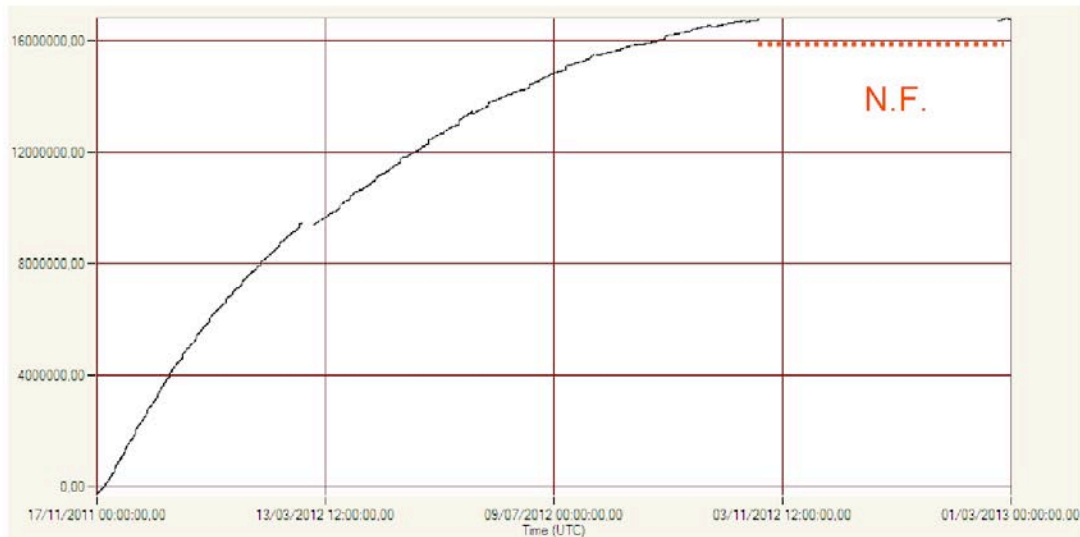


Figura 11. Schermata del software Geodap. I bruschi e marcati offset che caratterizzano il segnale sono relativi all'apertura della valvola che consente il riequilibrio dello strain cumulato.

Per mostrare la tipologia di segnali registrati, a titolo esemplificativo in figura 12 sono mostrati i segnali di strain alle due stazioni nel lungo termine dal 17 novembre 2011 al 28 febbraio 2013. Si evidenzia come entrambi gli strumenti stiano raggiungendo la fase di stabilizzazione. In generale, come già osservato in numerose installazioni eseguite in diverse parti del mondo, i segnali dei dilatometri dopo l'installazione in pozzo presentano una marcata deriva, dovuta all'assestamento del sito dopo la perturbazione della perforazione e della stessa installazione, che si può protrarre anche per diversi mesi. Spesso la deriva, anche se in modo più attenuato rispetto la fase iniziale, può persistere anche per alcuni anni. Ovviamente questo limita la corretta valutazione dei segnali nel lungo termine.

È comunque interessante osservare come, nonostante la presenza della deriva, i segnali abbiano mostrato nel breve termine una chiara risposta (variazione negativa dello strain) durante l'attività esplosiva di fontane di lava registrate negli ultimi anni all'Etna che rappresentano eventi veloci. In figura 13 è riportato un esempio per il caso dell'evento del 18 marzo 2012, in cui è ben evidente come i segnali, seppur registrati a una notevole distanza rispettivamente di 6 e 10 km dai crateri, siano particolarmente chiari e significativi [Bonaccorso et al., 2013].



a)



b)

Figura 12. Segnale di strain alle stazioni DRUV (a) e DEGI (b) dal 17 Novembre 2011 al 28 Febbraio 2013. Sono stati rimossi i bruschi e marcati offset che caratterizzano il segnale, relativi all'apertura della valvola che consente il riequilibrio dello strain cumulato. Il tratteggio in rosso indica periodi in cui le strumentazioni non sono state funzionanti.

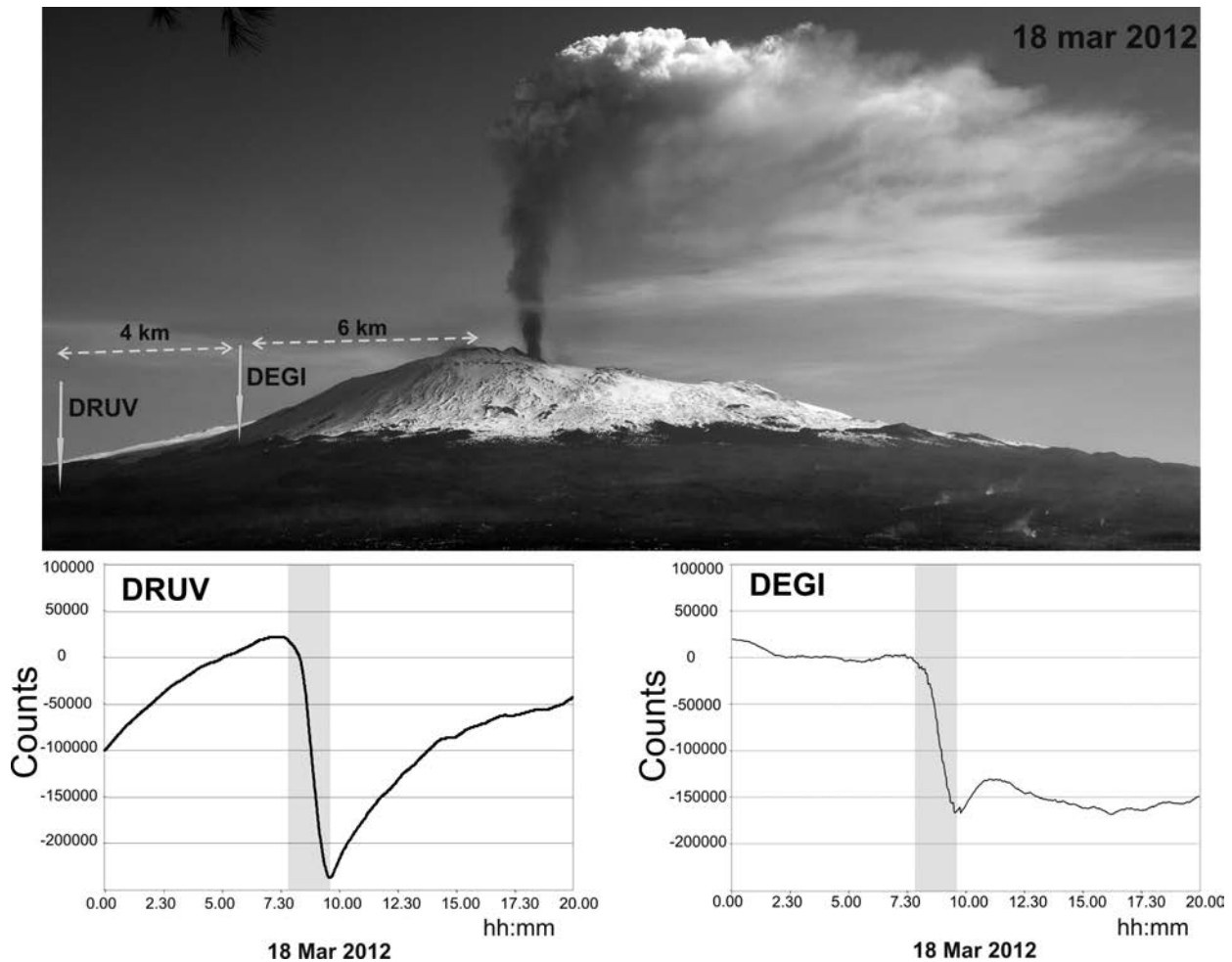


Figura 13. Parossisma del 18 marzo 2012 visto da Centuripe, e segnali di strain in counts registrati alle stazioni DRUV e DEGI (figura ridisegnata da Bonaccorso et al, 2013).

Ringraziamenti

Si ringrazia sentitamente O. Campisi che in modo fattivo e prezioso ha contribuito alla progettazione e realizzazione delle infrastrutture per l'alloggiamento dell'elettronica e dei sistemi energetici. Si ringrazia M. Rossi che nella fase iniziale ha collaborato alle procedure di trasmissione del dato, e A. Pistorio che è stato di supporto al controllo e gestione strumentale. Una menzione di riconoscimento e gratitudine va ai colleghi americani (A. Linde, S. Sacks, M. Acierno, B. Schleigh, M. Crawford) del Department Terrestrial Magnetism del Carnegie Institution di Washington che hanno coordinato le fasi dell'installazione conclusiva, e con cui continuano proficui scambi collaborativi. Un ringraziamento è dovuto a tutta l'Unità Funzionale Gravimetria e Magnetismo dell'INGV-CT per il continuo supporto e scambio di idee e informazioni.

Bibliografia

- Bonaccorso A., Calvari S., Currenti G., Del Negro C., Ganci G., Linde A., Napoli R., Sacks S., Sicali A., (2013). *From Source to Surface: Dynamics of Etna's Lava Fountains Investigated by Continuous Strain, Magnetic, Ground and Satellite Thermal Data*. Bulletin of Volcanology, 75:690.
- Sacks I.S., D. Everson, (1972). *Two-Stage Strain-sensing device*. United States Patent number 3,635,076.
- Sacks I.S., (1998). *Two-Stage Strain-sensing device and method*. United States Patent number 5,739,435 (US005739435A).

- Sacks IS, Suyehiro S, Evertson DW, Yamagishi Y, (1971). *Sacks–Evertson strainmeter, its installation in Japan and some preliminary results concerning strain steps*. Papers in Meteorol Geophys 22:195-208
- Goldstein P. and Snoke A., (2005). *SAC Availability for the IRIS Community*. Incorporated Institutions for Seismology Data Management Center Electronic Newsletter.
- Goldstein P., Dodge D., Firpo M. and Minner L., (2003). *SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers*. Invited contribution to “The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology”, Edited by WHK Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, and C. Kisslinger, Academic Press, London.
- Sicali, A., Greco, F., Napoli, R., (2008). *GeoDap: a geophysical data processing tool for volcanoes monitoring*. UFGM - 2006 Annual Report, Miscellanea INGV, 01, 75-83.

Appendice A. SyncStrain bash script

Download data from remote station

```
#!/bin/bash
YEAR=$(date +%Y)
MONTH=$(date +%m)

if [ $MONTH == 01 ]
then
PREV_MONTH=12
printf -v PREV_YEAR "%4.4hd" $((YEAR - 1))
else
printf -v PREV_MONTH "%2.2hd" $((MONTH - 1))
PREV_YEAR=$YEAR
fi

mkdir /data/$2/
mkdir /data/$2/$YEAR/
mkdir /data/$2/$YEAR/$MONTH/
mkdir /data/$2/
mkdir /data/$2/$PREV_YEAR/
mkdir /data/$2/$PREV_YEAR/$PREV_MONTH/

echo $MONTH
echo $YEAR
echo $PREV_MONTH
echo $PREV_YEAR

rsync -ptgovzd -e ssh strain@$1.dyndns.org:/data/$2/$YEAR/$MONTH/*
/data/$2/$YEAR/$MONTH
rsync -ptgovzd -e ssh
strain@$1.dyndns.org:/data/$2/$PREV_YEAR/$PREV_MONTH/*
/data/$2/$PREV_YEAR/$PREV_MONTH

/home/strain/Shoebox/geodap
rsync -avz -e ssh /data strain@magftp.ct.ingv.it:.
```

Appendice B. geodap bash script

Update 1 second, 1minute and 1 hour data to geodap filesystem structure

```
#!/bin/bash
FARG=-mtime 1
CARG=-vup

for STATION in degi druv
do
for CHANNEL in bar24 bar s1a s2a s1s tmp pwr
do
for SAMPLE in 1s 1h 1m
do
echo "Station:"$STATION" Channel:"$CHANNEL" Sample: "$SAMPLE
find /data/$STATION -name *$STATION*.$CHANNEL.*$SAMPLE* $FARG |
xargs -I {} cp $CARG {} /geodap/strain_${SAMPLE}/$STATION/$CHANNEL/.
chmod 644 /geodap/strain_${SAMPLE}/$STATION/$CHANNEL/*
done
done
done
```


Appendix C. geodap50 bash script

Update 50 sps data to geodap filesystem structure

```
#!/bin/bash
FARG=-mtime 1
CARG=-vup

for STATION in degi druv
do
for CHANNEL in bar24 s1a s2a s1s
do
for SAMPLE in 50
do
echo "Station:""$STATION" Channel:""$CHANNEL" Sample: "$SAMPLE
find $FARG /data/$STATION -name *$STATION*.$CHANNEL*.$SAMPLE.* |
xargs -I {} cp $CARG {} /geodap/strain/$STATION/$CHANNEL/
bunzip2 -f /geodap/strain/$STATION/$CHANNEL/*.bz2
chmod 644 /geodap/strain/$STATION/$CHANNEL/*
done
done
done
```


Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

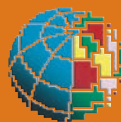
© 2013 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia