

# Rapporti tecnici

## INGV

**Installazione di un clinometro  
ad alta precisione in area tettonica  
(settore nord-orientale dell'Altipiano Ibleo)**

# 166



## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

[redazionecen@ingv.it](mailto:redazionecen@ingv.it)



# Rapporti tecnici INGV

## **INSTALLAZIONE DI UN CLINOMETRO AD ALTA PRECISIONE IN AREA TETTONICA (SETTORE NORD-ORIENTALE DELL'ALTIPIANO IBLEO)**

Gianpiero Aiesi, Giuseppe Falzone, Angelo Ferro, Salvatore Gambino, Giuseppe Laudani

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

# 166



## Indice

Riassunto	5
Introduzione	5
1. Rete	5
2. Strumentazione	7
2.1 Posizionamento dello strumento	7
2.2 Sistema di acquisizione e trasmissione	8
3. Dati	9
Conclusioni	12
Bibliografia	13



## Riassunto

In questo rapporto sono riportati i dettagli dell'installazione di un clinometro profondo effettuata nel 2010 in prossimità di Pedagaggi (SR) nel settore nord-orientale dell'altipiano ibleo.

L'installazione è stata possibile utilizzando uno strumento digitale autolivellante modello AGI (Applied Geomechanics Incorporated) Lily, con sensibilità pari a 0.005 microradiani.

Sono illustrati i dettagli dell'installazione ed i primi dati che evidenziano la loro ottima qualità, la presenza delle componenti mareali e la minima variazione di inclinazione ottenibile ripulendo il segnale dalle stesse.

## Introduzione

Il monitoraggio sistematico delle variazioni dell'inclinazione del suolo viene effettuato sui vulcani siciliani dall'INGV-CT da oltre 30 anni utilizzando differenti tipi di sensori ad alta precisione capaci di rilevare inclinazioni del suolo fino a  $10^{-8}$  radianti [Bonaccorso et al., 2004].

Le misure di tilt in continuo rappresentano una delle metodologie utilizzate per il monitoraggio in continuo delle deformazioni in aree tettonicamente attive come ad esempio la California [McHugh e Johnston, 1977], il Friuli [Dal Moro et al., 2000], gli Appennini ed il Caucaso [Bella et al., 1986].

Reoloff [2006] ha mostrato che diversi grandi terremoti sono stati preceduti da deformazioni asismiche per una durata variabile da qualche minuto a diversi anni.

La possibilità di rilevare deformazioni del suolo dipende dall'entità delle stesse, dalla sensibilità del sensore e dalla distanza dei sensori dalla sorgente.

Le reti clinometriche si avvalgono soprattutto di clinometri elettronici installati in foro. Le installazioni realizzate in Sicilia fino ai primi anni 2000 hanno profondità del foro comprese tra 2.5 e 10 metri ed utilizzano clinometri biassiali AGI 510 (sensibilità 0.02 microradiani) ed AGI 722 (sensibilità 0.1 microradiani).

I due assi dello strumento risultano orientati in modo da rilevare 2 componenti (X ed Y) ortogonali tra loro; valori positivi di Y indicano un sollevamento in direzione  $90^\circ$  antioraria rispetto ad X.

È noto che i segnali clinometrici di tipo "bore-hole" soffrono di noise connesso con le variazioni di temperatura e test sperimentali [Bonaccorso et al., 1999] hanno suggerito che tali effetti possono comunque essere ridotti in modo drastico attraverso un più sistematico impiego di installazioni a profondità non inferiori a 8-10 m.

Negli ultimi anni sono stati messi in commercio nuovi strumenti che sono dotati di sistemi autolivellanti e bussola magnetica che permettono l'installazione in profondità con relativa semplicità.

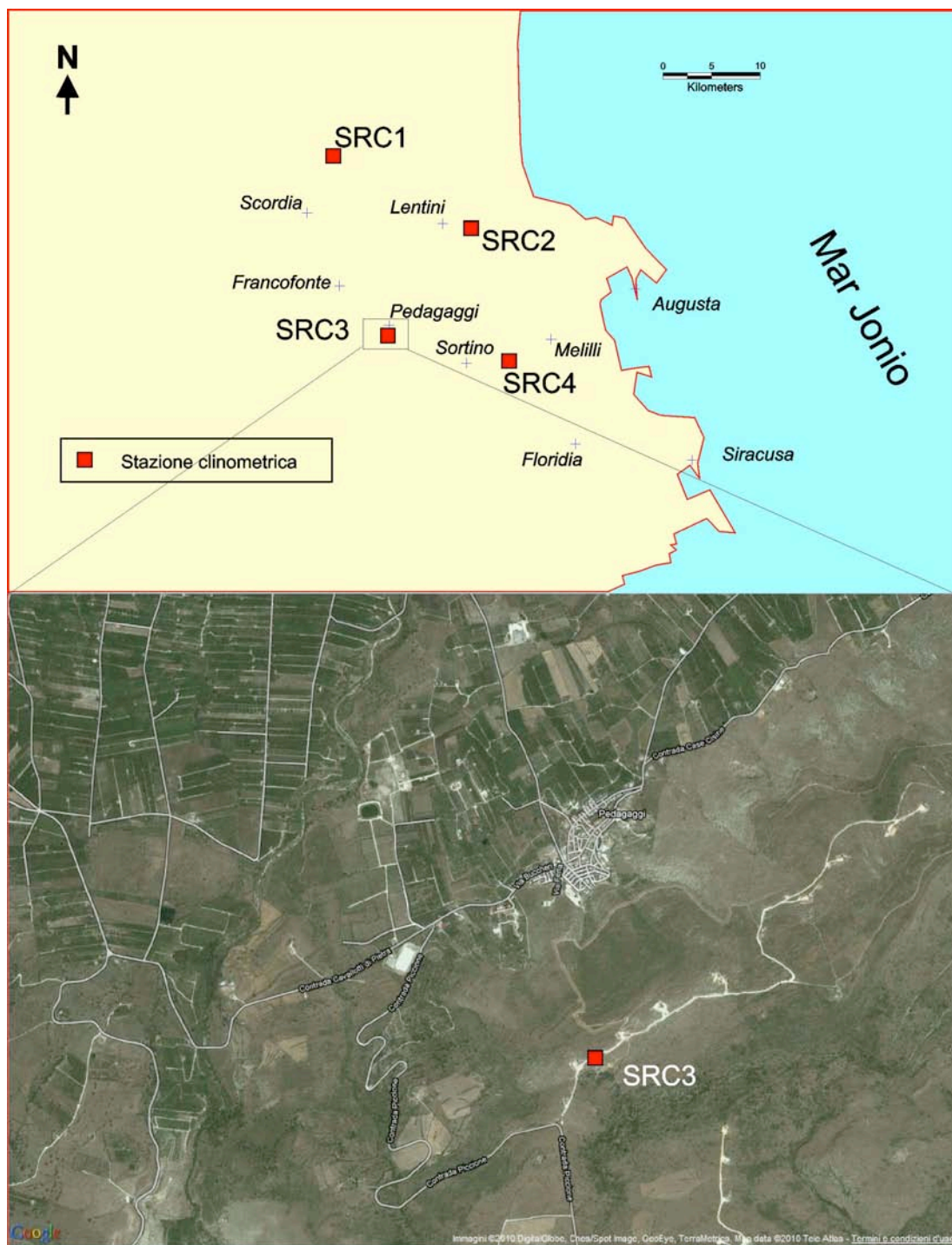
Nel Luglio 2007 è stata effettuata la prima installazione a profondità di 30 m nell'area dell'Etna [Campisi et al., 2008a] utilizzando il clinometro autolivellante AGI mod. LILY [AGI, 2005]. Successivamente un'ulteriore installazione (27 metri), avvenuta nel Giugno 2008, è stata effettuata a Stromboli presso il Centro Operativo Avanzato (COA) [Campisi et al., 2008b]. La qualità dei dati ottenuti in questi 2 casi ci ha spinti a sperimentare un'installazione in area tettonica utilizzando i fori esistenti della rete di stazioni clinometriche realizzata all'interno del "Progetto Poseidon" nel 1994-95 nel siracusano, che per varie ragioni non ha mai fornito dati utili ad un corretto monitoraggio dell'area.

Il presente rapporto descrive i risultati della prima installazione in continuo effettuata a Pedagaggi (SR) in località Case Quaresima ristrutturando la stazione denominata SRC3.

## 1. Rete

Nell'ambito delle attività previste dal "Progetto Poseidon", nel 1994-95 fu realizzata una rete di 4 stazioni clinometriche profonde ad alta precisione nell'area del siracusano curate inizialmente dall'ISMES.

Le stazioni iblee furono progettate in teoria al fine di rispondere ai canoni delle applicazioni di tipo geodetico utilizzando sensori costituiti da clinometri a pendolo orizzontale LaCoste e Romberg di tipo biassiale, con sensibilità teorica di 0.001 microradiani e servoassistiti. Questi strumenti, molto delicati e poco utilizzati in altre aree, sono ormai fuori produzione da più di un decennio.



**Figura 1.** Mappa della rete clinometrica iblea ed ubicazione della stazione SRC3.

Problemi legati alla realizzazione, alla messa in opera dei sensori ed alla corretta manutenzione della vecchia rete hanno comportato che 3 dei 4 siti presentano varie problematiche riguardanti il foro e la presenza di acqua. L'unica stazione subito utilizzabile è risultata SRC3 – Pedagaggi (figg. 1, 2).

La stazione SRC3 (fig. 2) è costituita da un pozzetto blindato in cemento armato e da un sistema di alimentazione a 2 pannelli solari, il tutto recintato da rete metallica e cancelletto.





**Figura 2.** Stazione clinometrica SRC3. Nella foto sono visibili i pannelli solari, l'antenna direzionale verso Catania e sulla destra il pilastrino per misure GPS discrete.

Il foro fu realizzato nel 1994 mediante perforazione a rotazione continua, ha un diametro di 150 mm, è tubato con camicia in acciaio e tappato alla base ad una profondità finale di 24 metri dal piano campagna.

## 2. Strumentazione

Il clinometro installato è prodotto da AGI ed è stato messo sul mercato nel 2005. Si tratta di un corpo cilindrico in acciaio inossidabile di peso 6.8 kg, lunghezza pari a 915 mm e diametro 51 mm che contiene alla base due sensori tilt posti in maniera ortogonale tra di loro ed uno di temperatura. I sensori tilt di tipo elettrolitico, simili ad una livella a bolla, convertono le variazioni di inclinazione in variazioni di valori di impedenza; successivamente il convertitore analogico/digitale a 16 bit installato a bordo del clinometro trasforma i segnali analogici in valori binari.

Il LILY “*Self-Leveling Borehole Tiltmeter*”, disegnato sia per ambienti vulcanici che tettonici e risultato da 25 anni di esperienza in questo campo della Applied Geomechanics, è fornito di un sistema motorizzato capace di inclinare i sensori fino a  $\pm 10$  gradi e lavora su una dinamica di  $\pm 330$  microradianti; l'elettronica digitale consente l'acquisizione dei seguenti parametri: *orario di acquisizione, dati d'inclinazione, azimuth, temperatura e tensione di alimentazione*. La memoria interna di circa 2Mb consente, anche se con alcune grosse limitazioni, l'utilizzo dello strumento anche per la memorizzazione in locale senza l'ausilio del datalogger (per tutte le specifiche si rimanda al LILY User's Manual [AGI, 2005]).

I dati acquisiti e/o memorizzati sono esportabili in modalità ASCII mediante le uscite RS232-RS485: risulta evidente che rispetto ai clinometri “analogici” utilizzati in passato sono annullate le perdite di attenuazione su cavo.

### 2.1 Posizionamento dello strumento

L'installazione del clinometro è stata eseguita nel Febbraio 2010. Inizialmente si è provveduto alla disinstallazione del vecchio sensore (fig. 3) e ciò ha permesso di appurare l'assenza di infiltrazioni di acqua, quindi il sito è stato preparato riversando a fondo foro circa un metro di sabbia.



**Figura 3.** Fase di estrazione del vecchio clinometro.

Successivamente è stato calato lo strumento verificando che la camicia in acciaio non influenzasse la bussola magnetica. Una volta posizionato, il clinometro è stato immobilizzato attraverso il versamento di sabbia quarzosa fine e l'orientazione finale delle due componenti è risultata essere N353E per la componente +Y e N83E per la +X.

## **2.2 Sistema di acquisizione e trasmissione**

Per quanto concerne il sistema di acquisizione è stato utilizzato un modello assemblato interamente in fabbrica in base ad un progetto sviluppato dal Gruppo Clinometria della sede INGV di Catania, che ha portato ad un migliore processo produttivo nella costruzione delle stazioni con conseguente minore aggravio di costi per l'Ente oltre che ad una uniformità nell'installazione di tutta la rete clinometrica etnea.

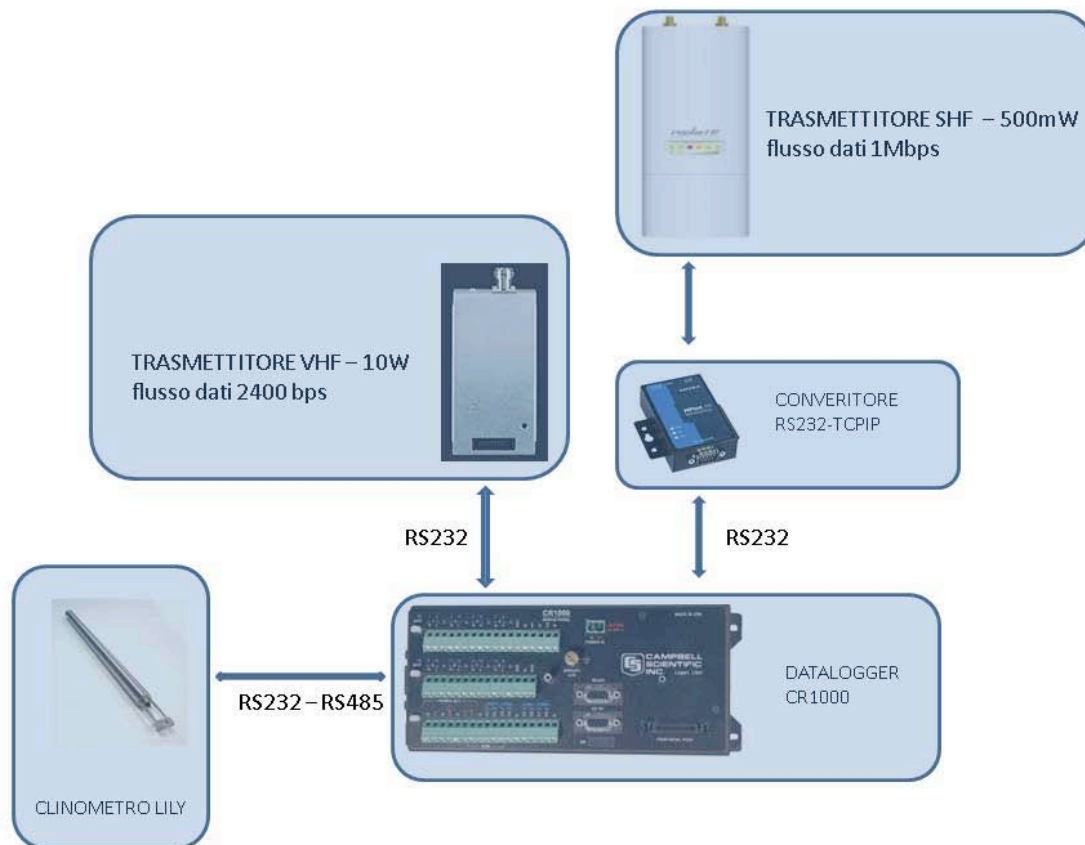
Rispetto al modello precedentemente presente nel sito è stata migliorata la qualità del dato acquisito; per una spiegazione dettagliata sul funzionamento generale della nuova stazione (trattamento segnali analogici, alimentazione e auto-diagnostica) si rimanda a Ferro e Laudani [2009].

Oltre che all'acquisizione dei segnali clinometrici, sono stati aggiunti controlli sul valore di tensione dei pannelli solari, sulla temperatura del box strumentazione, sulla carica delle batterie e sulla eventuale manomissione da parte di terzi per tentativi di furto dei pannelli (mediante invio di un codice d'allarme).

La stazione (vedi lo schema a blocchi di figura 4) oltre ad acquisire i dati da remoto è dotata di due apparati radio capaci di comunicare e spedire in modo bi-direzionale dati ed informazioni alla base; grazie a questo sistema è possibile inviare e ricevere programmi e comunicare con la stazione simulando la presenza sul sito. Ciò rende possibile variare da remoto i parametri di acquisizione e mediante il software RETE\_TILT [Ferro, 2007] eseguire una preventiva analisi dei guasti con un conseguente risparmio di tempi e costi di manutenzione della rete. Il sistema di alimentazione (pannelli fotovoltaici e regolatore di carica) viene sostanzialmente lasciato invariato in quanto già adeguato a sopportare i carichi applicati.

Cuore del sistema di acquisizione e memorizzazione è un datalogger CR1000 della Campbell a 16 canali d'ingresso, sul quale viene fatto girare un programma in grado di acquisire attraverso porte seriali i segnali provenienti dal clinometro LILY, campionarli con periodi di 1 minuto e 15 minuti e memorizzare i dati in una memoria circolare di 4 Mbyte.

La ricetrasmisione dei dati avviene attraverso un doppio sistema di radio in banda VHF e SHF che trasmettono rispettivamente i dati verso la sede INGV di Catania e di Nicolosi. La prima banda è gestita da una radio marcata CTE da 10W che trasmette i dati acquisiti dal datalogger in modalità lenta. La seconda banda è gestita da un “*access point*” ROCKET M5 da 0.5 W che trasmette i dati campionati in modalità veloce: la conversione da protocollo TCP-IP a RS232 viene eseguita dal convertitore MOXA interposto.



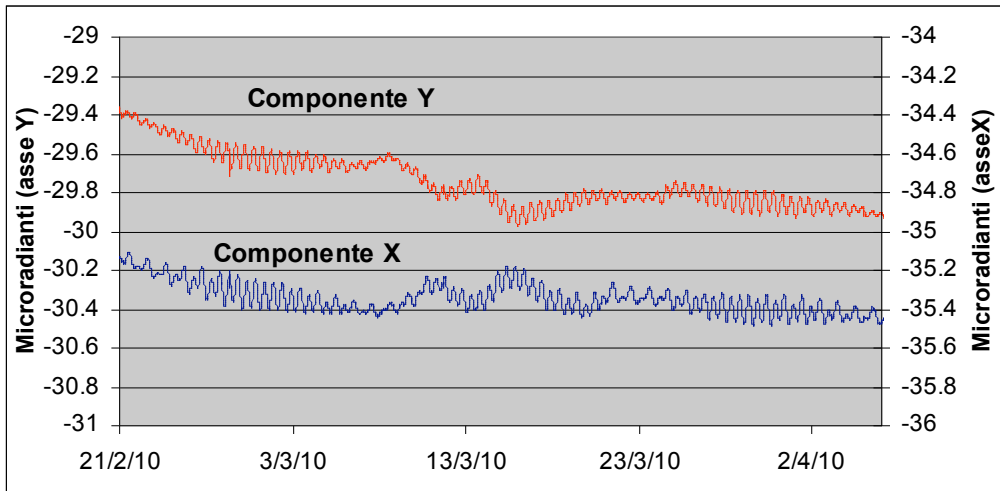
**Figura 4.** Schema a blocchi della stazione.

La stazione può acquisire in via sperimentale i dati con periodi di campionamento di 1 minuto (o anche di 1 secondo), comprendendo oltre la registrazione delle due componenti clinometriche anche l’acquisizione della temperatura del clinometro e dell’azimuth. Superata la fase sperimentale, che consiste nella possibilità di lasciare un canale radio sempre aperto sui 5 GHz (banda SHF) immune ai rumori di natura elettromagnetica e dotato di chiave d’accesso codificata, si potrebbe pensare di eliminare la radio VHF. In tal caso, la velocità di accesso al datalogger utilizzando l’*access point*, aumenterebbe nella peggiore delle ipotesi a 1Mbps rispetto ai 2400 bps del sistema tradizionale, quindi con un incremento di velocità di scambio di informazioni di circa 400 volte. Questa caratteristica potrebbe permettere il trasferimento veloce anche di dati campionati al secondo.

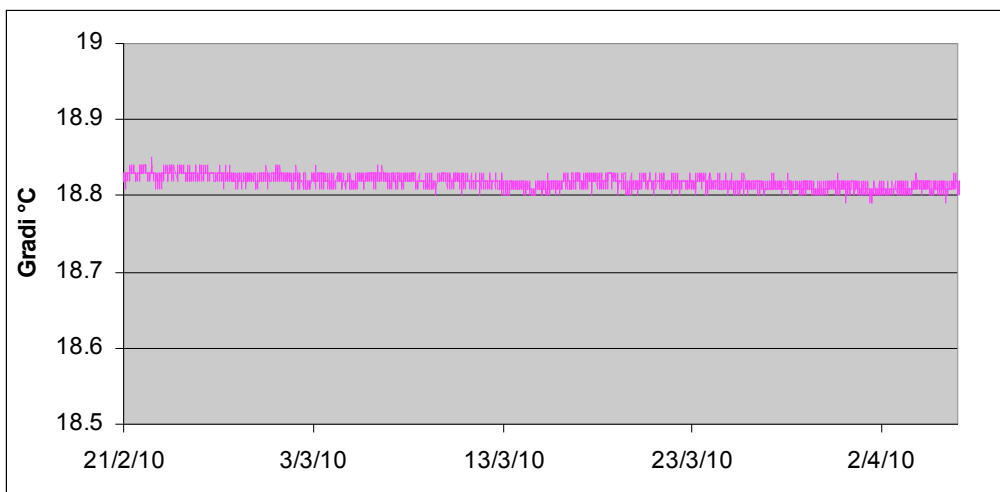
### 3. Dati

Di seguito si riportano circa 50 giorni di dati registrati relativamente al periodo Febbraio-Aprile 2010 (figg. 5-8). I grafici evidenziano che:

- i segnali clinometrici sono caratterizzati dalla presenza delle componenti mareali che hanno un’ampiezza di circa 0.10-0.15 microradianti (fig. 5).
- le temperature registrate a – 23 metri sono assolutamente stabili intorno ad un valore di 18.8 °C (fig. 6).

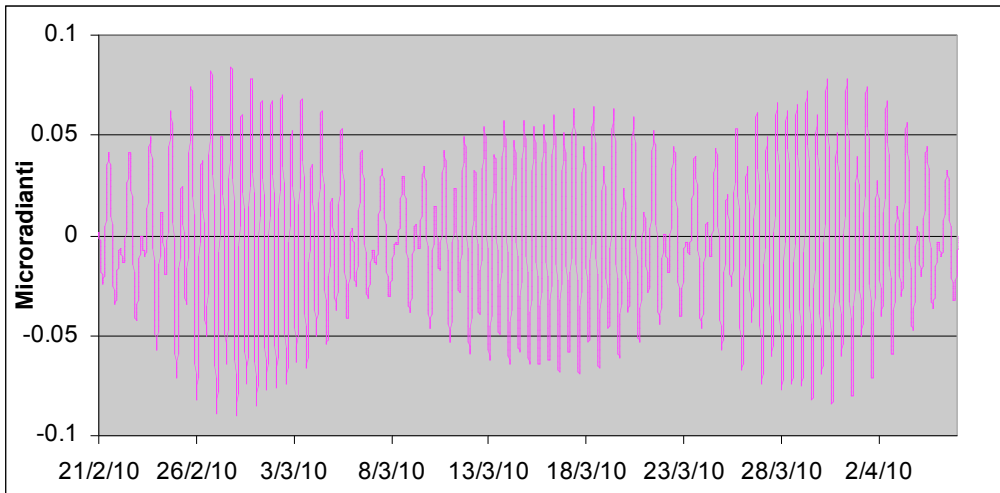


**Figura 5.** Componenti del segnale clinometrico (in microradianti) registrato a SRC3. Alla componente Y è stata sottratta una deriva costante di natura strumentale evidenziata durante i test in situ [Campisi et al., 2009].



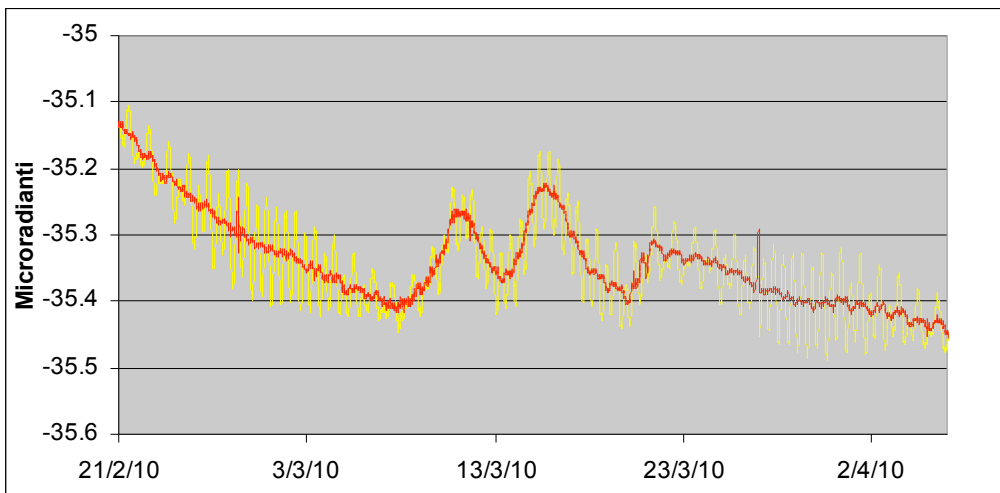
**Figura 6.** Temperatura registrata alla base del clinometro (-23 metri).

Poiché le maree terrestri sono deformazioni del suolo periodiche generate dall'attrazione luni-solare, calcolabili utilizzando appositi modelli [Wenzel, 1996], in fig. 7 si riporta la marea teorica ottenuta attraverso un modello dell'Etna [Panepinto ed al., 2008].

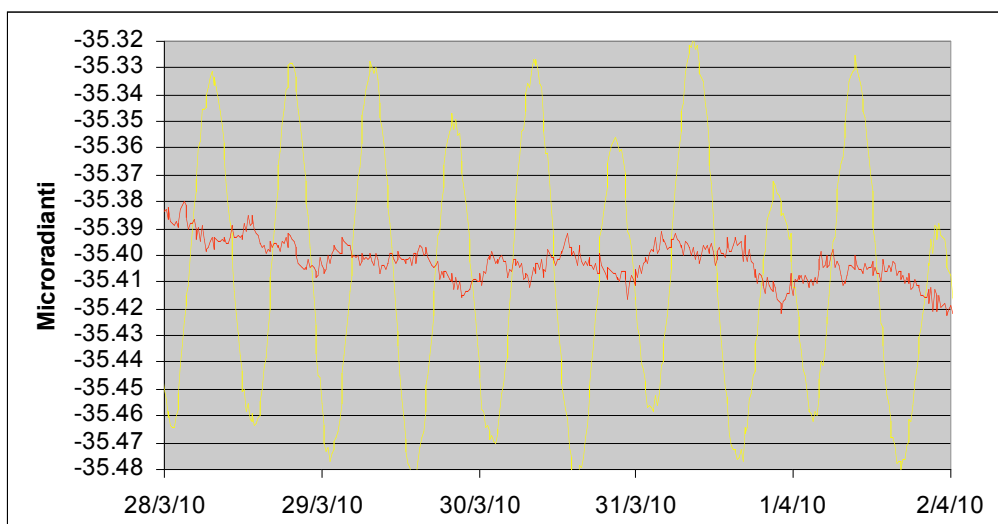


**Figura 7.** Segnale mareale teorico ottenuto utilizzando un modello valido per l'Etna.

Il segnale depurato dalle componenti mareali può risolvere inclinazioni del suolo molto piccole; nel nostro caso, utilizzando un modello valido per l'Etna e quindi perfettibile, si raggiunge una risoluzione intorno ai 10 nanoradianti (figg. 8, 9).



**Figura 8.** Segnale (in rosso) depurato della marea.



**Figura 9.** Particolare della figura 8 relativo ai giorni 28/3 – 2/4/2010. In giallo il segnale registrato, in rosso quello depurato.

## Conclusioni

In questo rapporto sono presentati i dettagli dell'installazione di una stazione clinometrica ad alta profondità effettuata sull'altipiano ibleo in prossimità di Pedagaggi (SR).

Essa è stata possibile grazie all'utilizzo di strumentazione digitale autolivellante e ad un sistema di posizionamento ed orientamento appositamente realizzato per installazioni in fori tubati.

Il principale risultato di questa esperienza è quello di avere constatato un notevole miglioramento della qualità dei dati rispetto sia a quelli ottenuti dalle stazioni più superficiali sia rispetto a quelle profonde dello stesso tipo installate in aree vulcaniche [Gambino et al., 2008]. I dati di quest'area sono privi di effetti legati a variazioni termiche (la temperatura è stabile a 18.8 °C) ed inoltre il sito è più silenzioso di quelli etnei che sono caratterizzati dalla presenza di tremore vulcanico.

Lo strumento così installato può apprezzare variazioni dell'ordine di  $10^{-8}$  radianti mai rilevati in quest'area; restano ancora da valutare le variazioni più a lungo periodo (giorni) visibili sui segnali che sembrerebbero legate in prima istanza a piogge e/o variazioni del livello di falda.

## Bibliografia

- AGI, (2005). LILY Self-Leveling Borehole Tiltmeter User's Manual. Applied Geomechanics Inc. Manual No. B-05-1003, Rev. A.
- Bella, F., Bella, R., Ermini, A., Sgrigna, V., and Biagi, P. F., (1986). Possible precursory tilts preceding some earthquakes ( $3.0 \leq M \leq 3.8$ ) occurred in Central Italy between February 1981 and June 1983. *Earthq. Pred. Res.* 4, 147-154.
- Bonaccorso, A., Campisi, O., Falzone, G. and Gambino, S., (2004). Continuous tilt monitoring: a lesson from 20 years experience at Mt. Etna. In: "Etna Volcano Laboratory", Monograph of American Geophysical Union (S. Calvari, A. Bonaccorso, M. Coltelli, C. Del Negro and S. Falsaperla eds.), pp. 307-320.
- Bonaccorso, A., Falzone, G. and Gambino, S., (1999). An Investigation into Shallow Borehole Tiltmeters. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 11, 1637-1640.
- Campisi, O., Carnazzo, A., Falzone, G., Ferro, A., Gambino S., Laudani, G. and Saraceno, B., (2008a). Installazione nell'area etnea di un clinometro digitale in foro profondo 30 metri. *Rapporti Tecnici INGV*, n. 56, Roma.
- Campisi, O., Falzone, G., Ferro, A., Gambino S., Laudani, G. and Saraceno, B., (2008b). Installazione a Stromboli di un clinometro Lily in foro profondo (-28 m). *Rapporto tecnico Prot. int. n° UFDG/RA 2008/14*, (INGV-CT ed.).
- Campisi, O., Falzone, G., Ferro, A., Gambino, S., Laudani, G., and Saraceno, B., (2009). Realizzazione di un Sito Test per Clinometri si tipo Bore-hole. *Rapporti Tecnici INGV*, n. 106, Roma.
- Dal Moro, G., Garavaglia, M. and Zadro, M., (2000). Tilt-strain measurements in the NE Italy Seismic Area: Precursor Analysis and Atmospheric Noise Effects. *Phys. Chem. Earth (A)*, vol. 25, n. 3, 271-276.
- Ferro, A., (2007). RETE\_TILT: un software per il monitoraggio dello stato di funzionamento delle reti clinometriche dell'Etna e delle Isole Eolie. *Rapporti Tecnici INGV*, n. 38, Roma.
- Ferro, A. and Laudani, G., (2009). Un prototipo industrializzabile di nuova stazione clinometrica. *Rapporti Tecnici INGV*, n. 119, Roma.
- Gambino, S., Campisi, O., Falzone, G., Ferro, A., Laudani, G. and Saraceno, B., (2008). Deformazioni co-sismiche registrate dalla rete clinometrica durante lo sciame del 1-2 maggio 2008 nell'area della Pernicana. *Rapporto INGV-CT, Prot. UFDG/RA 2008/07*, (INGV-CT ed.).
- McHugh, S., and Johnston, M.J.S., (1977). An analysis of coseismic tilt changes from an array in Central California. *J. Geophys. Res.*, 82, 5692-5698.
- Panepinto, S., Greco, F., Luzio, D., and Ducarme, B., (2008). Tidal gravity observations at Mt. Etna and Stromboli: results concerning the modeled and observed tidal factors. *Annals of Geophysics*, 51, 51-65.
- Roeloffs, E. A., (2006). Evidence for Aseismic Deformation Rate Changes Prior to Earthquakes. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 34, 591-627.
- Wenzel, H.G., (1996). The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.3. *Bull. Inf. Marees Terr.*, 124, 9425-9439.





**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

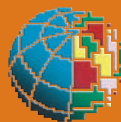
© 2010 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

**<http://www.ingv.it>**



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**