

2008

Installazione nell'area etnea di un clinometro digitale in foro profondo 30 metri

O. Campisi, A. Carnazzo, G. Falzone, A. Ferro,
S. Gambino, G. Laudani, B. Saraceno

n.56

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma

tel 06518601 • fax 065041181

www.ingv.it



**INSTALLAZIONE NELL'AREA ETNEA DI UN CLINOMETRO DIGITALE
IN FORO PROFONDO (30 METRI)**

Orazio Campisi[^], Antonino Carnazzo*, Giuseppe Falzone, Angelo Ferro[^], Salvatore Gambino[^], Giuseppe Laudani[^], Benedetto Saraceno[^]

** Provincia Regionale di Catania, Via Novaluce, 67/A - 95030 Tremestieri Etneo (CT), Italy*

[^] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania, P.zza Roma 2, 95123 Catania, Italy

Indice

Riassunto	7
Introduzione	7
1. Strumentazione	8
1.1 Caratteri del sensore	8
2. Installazione	9
2.1 Esecuzione foro	9
2.2 Posizionamento dello strumento	11
3. Dati	12
4. Conclusioni	15
Bibliografia	16

Riassunto

Questo lavoro riporta i risultati della prima installazione clinometrica ad alta profondità effettuata su aree vulcaniche italiane. L'installazione, nata da una collaborazione fra INGV-CT e Provincia Regionale di Catania, è stata possibile grazie all'utilizzo di strumentazione digitale autolivellante di nuova generazione; lo strumento utilizzato è un clinometro modello AGI (Applied Geomechanics Incorporation) con sensibilità pari a 0.005 microradiani (AGI Mod. LILY).

Sono illustrati i dettagli dell'installazione e i primi due mesi di dati che evidenziano l'ottima qualità dei dati che risultano essere priva di effetti legati alla temperatura e le cui uniche oscillazioni, dell'ordine di 0.1-0.2 microrad, sono legate alle mareali.

Introduzione

Il monitoraggio sistematico delle variazioni dell'inclinazione del suolo, viene effettuato sui vulcani siciliani dall'INGV-CT, utilizzando differenti tipi di sensori ad alta precisione capaci di rilevare inclinazioni del suolo fino a 10^{-8} radianti [Bonaccorso ed al., 2004]. Le misure di tilt in continuo sui vulcani rappresentano un metodo rapido per l'individuazione di precursori di un'eruzione ed uno strumento di studio del comportamento dei vulcani stessi nelle fasi pre e post-eruttivi.

Le reti clinometriche si avvalgono soprattutto di clinometri elettronici installati in foro (fig. 1). Attualmente le reti sono composte da stazioni con profondità comprese tra 2.5 e 10 metri che utilizzano clinometri biassiali AGI 510 (sensibilità 0.02 microradiani) e AGI 722 (sensibilità 0.1 microradiani).



Fig. 1. Fase d'installazione di un clinometro *bore-hole*.

I due assi dello strumento risultano orientati in modo da rilevare una componente denominata "radiale" in direzione del cratere (valori positivi indicano sollevamento ai crateri) e l'altra componente denominata "tangenziale" in direzione ortogonale (valori positivi indicano un sollevamento in direzione 90° antiorario rispetto alla radiale).

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

Se le prime installazioni (fino alla prima metà degli anni '90) non hanno superato i 3 metri, successivamente si è operato al fine di raggiungere profondità di 7-10 metri il che ha richiesto particolari

accorgimenti sia in fase di perforazione che in quella di posizionamento al fine di garantire orientazione e livellamento dello strumento.

Negli ultimi anni sono stati messi in commercio nuovi strumenti (sia dell'AGI che della Pinnacle) che invece sono dotati di sistemi autolivellanti e bussola magnetica che permettono l'installazione in profondità con relativa semplicità.

In questo rapporto tecnico vengono riportati i dettagli della prima installazione a profondità di 30 m effettuata nell'area dell'Etna utilizzando il clinometro autolivellante AGI Mod. LILY.

1. Strumentazione

Il clinometro utilizzato è prodotto da Applied Geomechanics Incorporation ed è stato messo sul mercato nel 2005. Si tratta di un corpo cilindrico in acciaio inossidabile peso 6.8 Kg, di lunghezza pari a 915 mm e diametro 51 mm che contiene alla base due sensori tilt ed uno di temperatura. I sensori tilt sono sensori elettrolitici, ciascuno dei quali simili ad una livella a bolla, che convertono variazioni di inclinazione in variazioni di resistenza.

Il LILY "*Self-Leveling Borehole Tiltmeter*" è stato disegnato sia per ambienti vulcanici che tettonici ed è il risultato di 25 anni di esperienza in questo campo della Applied Geomechanics.

Il LILY è fornito di un sistema motorizzato capace di inclinare i sensori fino a ± 10 gradi, lavora su una dinamica di ± 330 microradiani; l'elettronica digitale consente l'acquisizione dei dati d'inclinazione, azimut e temperatura.

Inoltre il LILY ha una stabilità maggiore rispetto agli strumenti precedenti per consentire misurazioni a lungo termine ed è dotato di una propria memoria per l'immagazzinamento dei dati (per tutte le specifiche vedi tabella 1, ripresa da Lily User's Manual, 2005).

Specifications	
CHANNELS	X tilt, Y tilt, azimuth, temperature
RESOLUTION	< 5 nanoradians
REPEATABILITY	Same as resolution under static conditions
MEASUREMENT RANGE	± 330 μ radians
SELF-LEVELING RANGE	± 10 degrees
LINEARITY	0.2% of full span
FREQ. RESPONSE	< 1 Hz
TEMPERATURE COEFS.	Span: $K_S = +0.02\%/^{\circ}\text{C}$, Zero: $K_Z = \pm 3$ μ radians/ $^{\circ}\text{C}$, typical. Smaller coefficients available at higher cost.
AZIMUTH DETECTION	On-board magnetic compass, 0° to 360° output
SAMPLE RATES	User-selectable from 10/second to 1/hour
DATA STORAGE	2 Megabytes of nonvolatile Flash memory (64,000 samples)
DATA FORMATS	Formats: NMEA XDR, Trimble proprietary, Ashtech compatible, Simple (x, y, temperature, serial no.)
SERIAL OUTPUT	RS485 (RS422). Baud rate: 9600, 19200 (default), 28800, 57600, 115200, 230400
REAL-TIME CLOCK	Present. Accuracy better than 10 minutes/year.
POWER REQ'T'S.	7 to 28 VDC @ 30 mA when sampling or transmitting, < 10 mA in sleep mode, sampling 1/minute, 250 mV peak-to-peak ripple max., reverse polarity protected
SURGE PROTECTION	All input and output lines are tranzorb protected.
CONNECTIONS	6-pin high-pressure neoprene connector standard, other connectors available
ENVIRONMENTAL	-25°C to $+85^{\circ}\text{C}$ operational, -30°C to $+100^{\circ}\text{C}$ storage. Pressure rating: 345 bars (5000 psi)
DIMENSION & WEIGHT	51mm (2 inches) diameter x 915mm (36 inches); detachable handle is 150mm (6 inches) long. 4.5 kg (10 lb)
MATERIALS	304 stainless steel, nonmagnetic

Tab. 1. Specifiche generali dello strumento.

1.1 Caratteri del sensore

Il sensore clinometrico è costituito da una capsula di vetro parzialmente riempita da un fluido conduttivo.

Il funzionamento si basa sul principio fisico elementare che riempiendo un contenitore di liquido e lasciandovi dentro una bolla d'aria, questa si collocherà sempre nel punto più alto del contenitore in quanto l'aria è meno pesante del liquido. Nel nostro caso il confine aria-fluido si trova a contatto con due elettrodi opposti ed i suoi minimi spostamenti, in risposta alla rotazione del sensore, sono misurati come variazioni di resistenza elettrica.

L'elettronica converte i valori di resistenza in angoli attraverso un fattore di conversione ottenuto dalla calibrazione dello strumento in laboratorio.

2. Installazione

L'installazione del clinometro è stata eseguita in collaborazione con la Provincia Regionale di Catania all'interno di un foro di sondaggio meccanico effettuato nell'ambito dello studio geognostico a supporto del progetto per la realizzazione di un istituto scolastico polivalente in Mascalucia. Il sito della stazione denominata MAS si trova circa 2 Km a Nord del centro di Mascalucia (CT) (fig. 2) e ricade geologicamente su lave storiche.

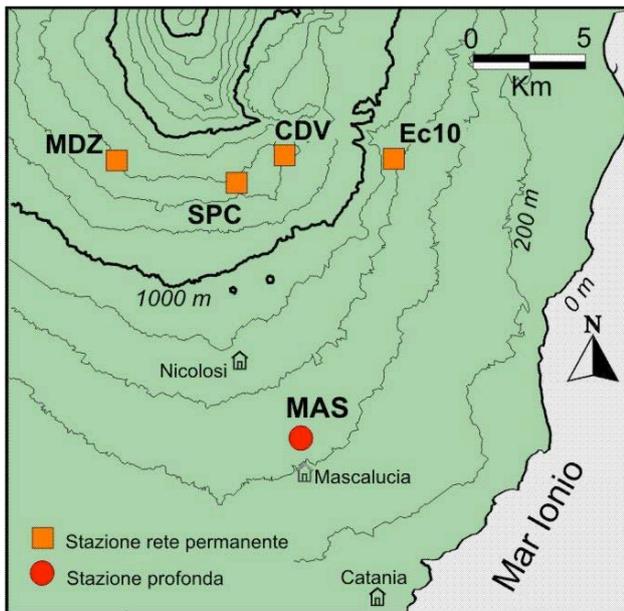


Fig. 2. Mappa del versante Sud-Orientale dell'Etna che riporta le stazioni della rete clinometrica permanente dell'INGV di Catania ed il sito d'installazione.

2.1 Esecuzione foro

Il sondaggio meccanico è stato realizzato a carotaggio continuo sia per ricostruire al meglio il profilo litologico del substrato sia per disturbare il meno possibile le pareti dello stesso. E' stato realizzato dal 05/02/2007 al 06/02/2007 utilizzando una macchina perforatrice "Casagrande C6" (fig. 3) che ha raggiunto una profondità finale di 30,50 metri dal piano campagna.



Fig. 3. Fase dell'esecuzione del foro di sondaggio geognostico.

Il foro è stato effettuato mediante carotiere semplice $\phi 140$ mm fino alla profondità di 18,00 metri e $\phi 101$ mm fino a fondo foro. Successivamente è stato rivestito con tubo in pvc fino a 18,00 metri e lasciato a foro libero per il restante tratto finale, anche in considerazione dei litotipi attraversati.

L'installazione in foro libero consente di avere un miglior accoppiamento strumentazione-terreno evitando la presenza di elementi fraposti.

La stratigrafia del foro (fig. 4) ha messo in evidenza una prima parte costituita da alternanze di lave e prodotti piroclastici (fino a 16,60 metri) a cui segue uno spesso bancone di basalto massivo poco fratturato (fig. 5).

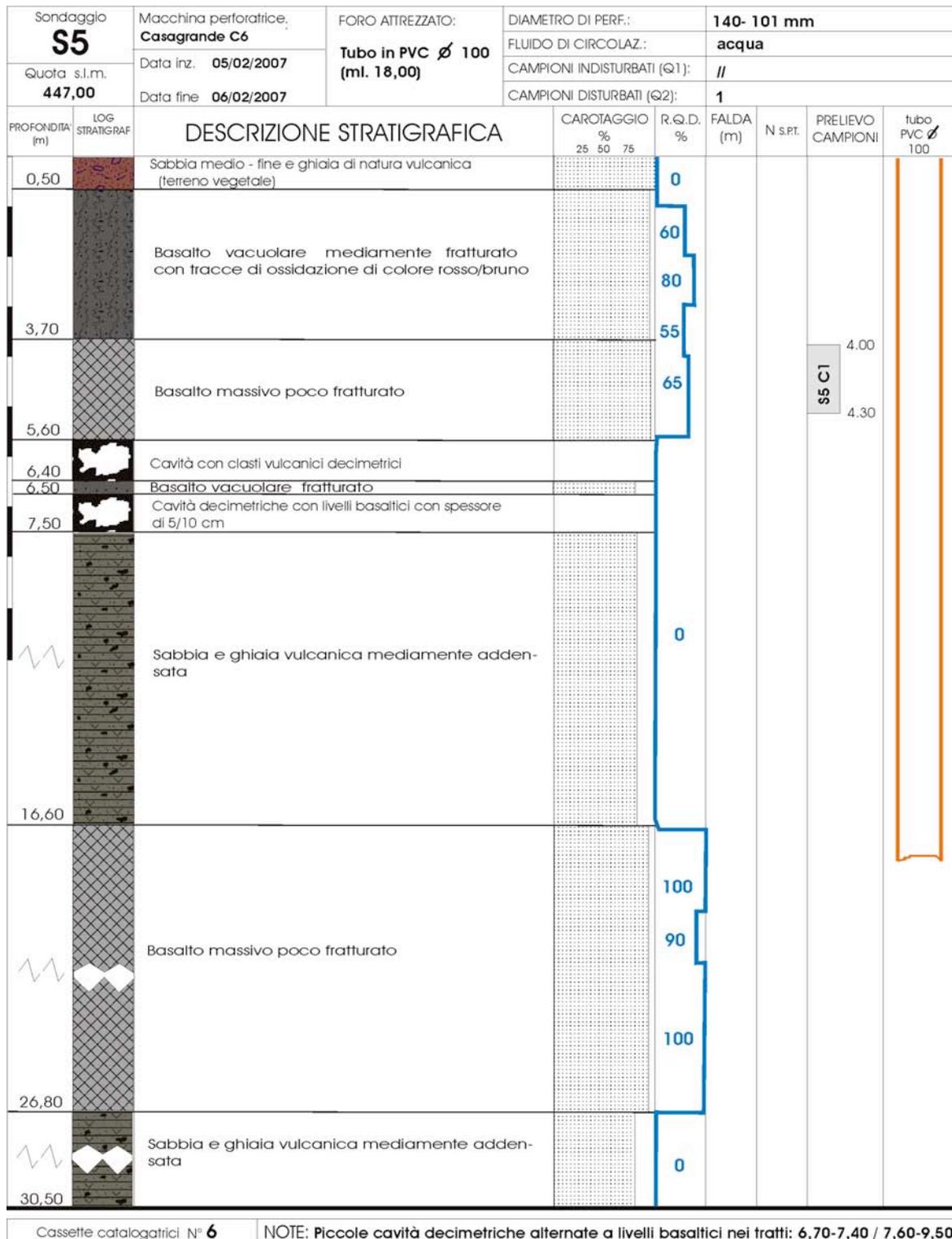


Fig. 4. Stratigrafia del foro.



Fig. 5. Bancone lavico massivo e poco fratturato da m 18,50 a m 25,00.

2.2 Posizionamento dello strumento

La fase di posizionamento dello strumento in foro è stata effettuata nel luglio 2007 a distanza di qualche mese dall'ultimazione della perforazione allo scopo di consentire un certo assestamento del foro.



Fig. 6. Particolare dell'innesco del clinometro Lily con il sistema delle aste.

Al fine di verificare la corretta orientazione dello strumento l'installazione è stata effettuata attraverso un sistema di aste metalliche rettangolari fissate alla testa del clinometro (fig. 6 e 7) e dotate di un semplice sistema di sbloccaggio che sia attiva ad avvenuto posizionamento.



Fig. 7. Fase d'installazione del clinometro.

Questo sistema è stato realizzato allo scopo di garantire l'orientamento dello strumento in fori con camicia metallica (che influenzano la bussola magnetica); inoltre le vulcaniti etnee sono caratterizzate da una magnetizzazione residua (al momento della loro solidificazione) in genere inferiore a qualche grado ma che in alcuni casi può anche raggiungere i 15 gradi. [Incoronato e Del Negro, 2004].

Il sistema di aste, nel caso del foro di Mascalucia non ha evidenziato variazioni significative del campo magnetico nei litotipi attraversati dai 30 metri del foro.

Il clinometro, giunto alla base del foro, è stato immobilizzato attraverso il versamento di sabbia quarzosa fine nel foro. E' stato quindi avviato il sistema di livellazione automatica dello strumento che è stato ripetuto dopo qualche giorno di assestamento del sistema.

La stazione è stata predisposta per acquisire i dati ogni minuto, comprendendo oltre la registrazione delle due componenti clinometriche anche l'acquisizione della temperatura del clinometro ed dell'azimuth.

3. Dati

I dati riportati di seguito (fig. 8) si riferiscono al periodo 4 settembre – 4 novembre 2007 ed evidenziano che:

- dopo un primo periodo di assestamento i segnali clinometrici sono caratterizzati da bassi rumori (0.1-0.2 microradianti). Un microradiante rappresenta una variazione di inclinazione relativa al sollevamento o abbassamento di un millimetro a distanza di un chilometro.
- le temperature registrate a – 30 metri sono assolutamente invariati (fig. 9).

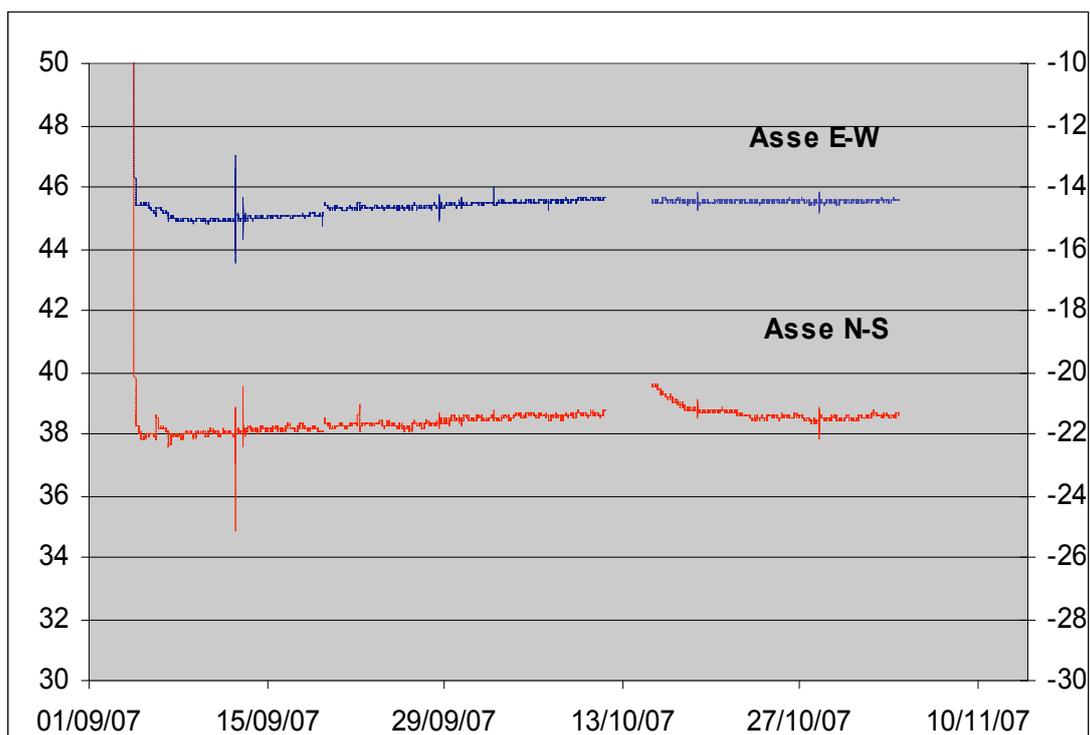


Fig. 8. Componenti del segnale clinometrico (in microradianti) registrato a MAS.

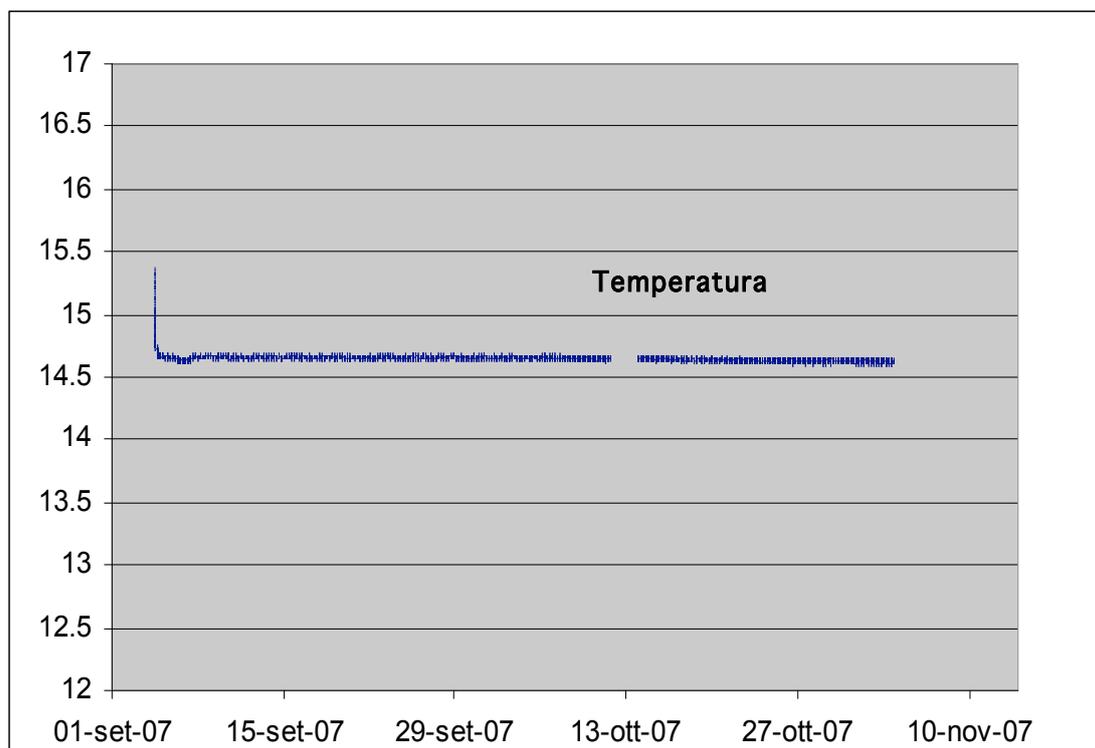


Fig. 9. Temperatura registrata a -30 metri.

Il noise sul segnale è quindi indipendente dalla temperatura e risulta invece essere legato alle maree con frequenze diurne e semidiurne (Fig. 10) e potrebbero essere quindi filtrate utilizzando appositi software.

Inoltre giorno 12 e 13 due eventi sismici di forte intensità localizzati a Sumatra (7.9 Magnitudo Richter) sono stati registrati alle 2 componenti del tilt (Fig. 11).

I due eventi registrati su Mascalucia sono stati registrati in Italia giorno 12/9 alle ore 13:23 e giorno 13/9 alle ore 02:01 locali e tempi origine ore 11:10 GMT e 23:49 GMT di giorno 12.

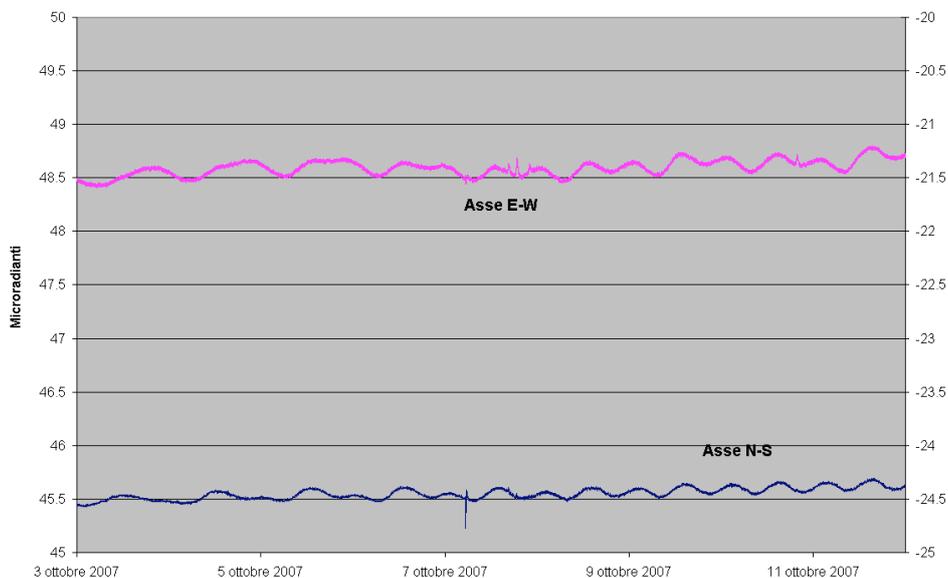


Fig. 10. Dettaglio dei segnali che evidenzia le oscillazioni mareali.

Le forme d'onda registrate sulle stazioni sismiche Broad-Band e VLBB dell'INGV mostrano una frequenza compresa tra 6 e 20 secondi quindi al di sotto del campionamento di un minuto del clinometro.

In generale l'accadimento di un forte terremoto può causare segnali cosismici permanenti se le distanze sono relativamente brevi. In questo caso invece si tratta di variazioni di stress (perturbazioni dinamiche DSV) dovute al passaggio di onde sismiche che non comportano variazione cumulativa ma che comunque si sono rilevate di discreta (2 microrads) entità.

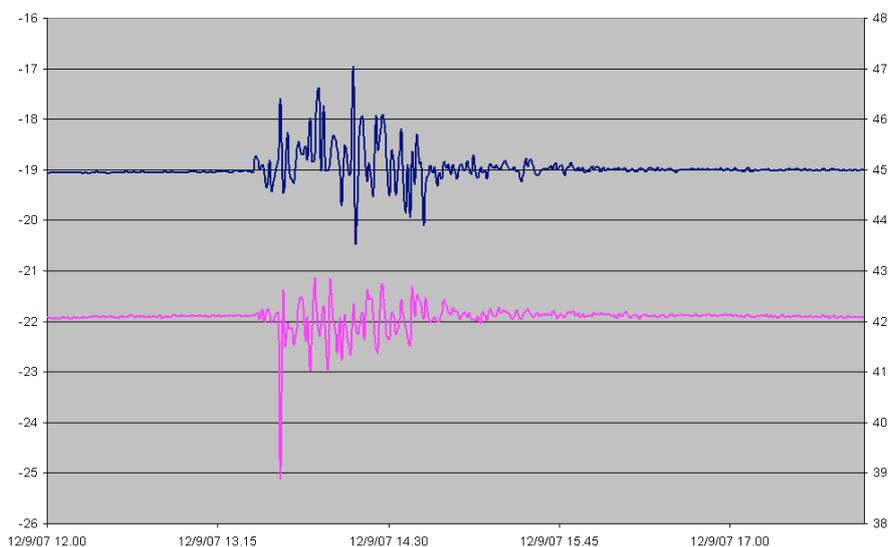


Fig. 11. Segnali tilt registrati alle componenti N-S (in blu) ed E-W durante il telesisma di giorno 12 Settembre alle ore 13:23.

4. Conclusioni

Questo rapporto presenta in dettaglio la prima installazione clinometrica ad alta profondità effettuata in area vulcanica in Italia.

Questa installazione è stata possibile solo grazie all'utilizzo di strumentazione digitale autolivellante e dotata di bussola magnetica per l'orientamento dello stesso.

L'operazione è stata realizzata anche grazie al rapporto di collaborazione tecnica in essere fra INGV-CT e Provincia Regionale di Catania.

I principali risultati di questa esperienza sono:

- la relativa semplicità d'installazione di questo tipo di strumento ad alta profondità
 - il notevole miglioramento della qualità dei dati, priva di effetti legati alla temperatura, le cui uniche oscillazioni, legate alle mareali, sono dell'ordine di 0.1-0.2 microradianti e comunque filtrabili.
- Un'analisi più a lungo termine sui dati potrà fornire altre informazioni in futuro.

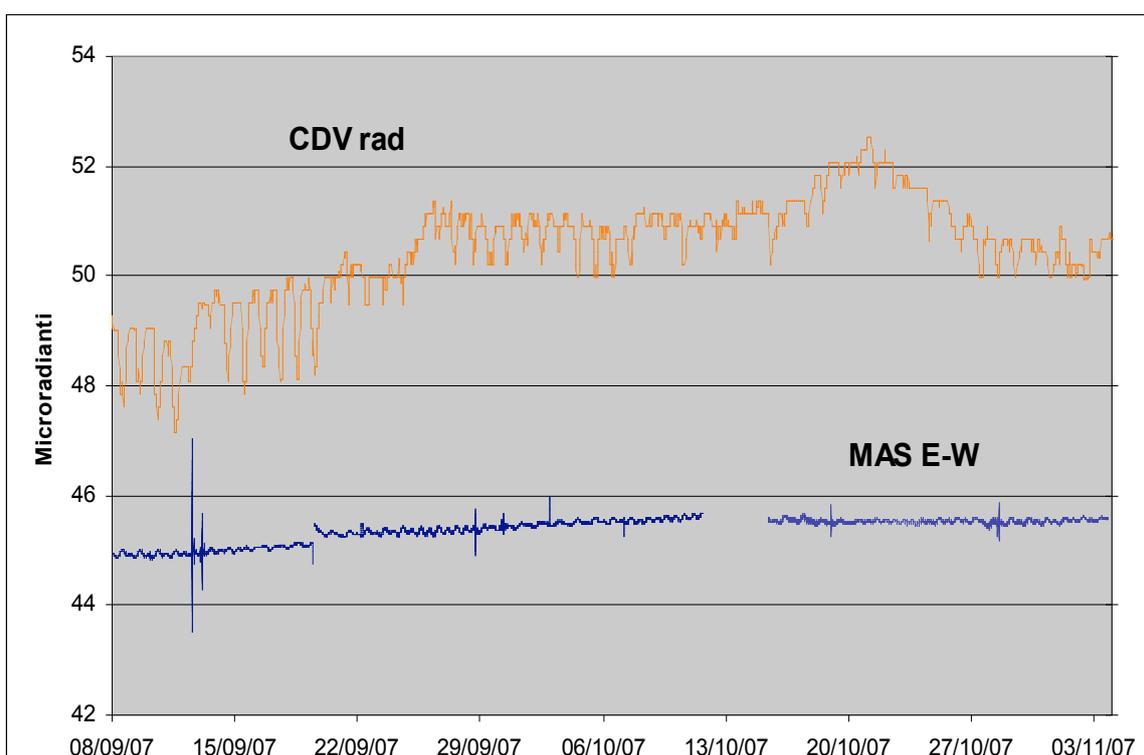


Fig. 12. Confronto tra i segnali clinometrici registrati a MAS e CDV (Case del Vescovo).

In generale uno strumento così installato può riuscire ad apprezzare variazioni (di natura vulcano-tettonica) dell'ordine di frazioni di microradiante difficilmente rilevabili da installazioni "classiche". In fig. 12 è riportato, ad esempio, lo stesso periodo di registrazione alle stazioni MAS e Case del Vescovo (CDV in mappa fig. 2) stazione profonda 3 metri.

Gli eccellenti risultati ottenuti ci spingono a considerare quest'esperienza come base per nuove installazioni e/o migliorare le esistenti.

Bibliografia

- Bonaccorso A., Campisi O., Falzone G., Gambino S., (2004). *Continuous tilt monitoring: a lesson from 20 years experience at Mt. Etna*, Monograph of American Geophysical Union “Etna Volcano Laboratory”, Calvari, S., Bonaccorso, A., Coltelli, M., Del Negro C. & Falsaperla S., eds, pp. 307-320.
- Bonaccorso A., Falzone G., Gambino S. (1999). *An Investigation into Shallow Borehole Tiltmeters*. Geophys. Res. Lett. 26, 11, pp. 1637-1640.
- Incoronato A., Del Negro C., (2004). *Magnetic Stratigraphy Procedures at Etna*. Monograph of American Geophysical Union “Etna Volcano Laboratory”, Calvari, S., Bonaccorso, A., Coltelli, M., Del Negro C. & Falsaperla S., eds, 263-271.
- LILY Self-Leveling Borehole Tiltmeter User’s Manual (2005). Applied Geomechanics Inc. Manual No. B-05-1003, Rev. A.