

Rapporti tecnici

INGV

**Un sistema per il rilievo immediato di
eventi di deformazione del suolo nel
versante nord dell'Etna e relativa
segnalazione via SMS/Email**

94



Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (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



Rapporti tecnici INGV

**UN SISTEMA PER IL RILIEVO IMMEDIATO DI EVENTI DI
DEFORMAZIONE DEL SUOLO NEL VERSANTE NORD
DELL'ETNA E RELATIVA SEGNALAZIONE VIA SMS/EMAIL**

Angelo Ferro

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

94

Indice

Introduzione	5
1. La rete clinometrica gestita dall'INGV di Catania	5
1.1 Le innovazioni introdotte nel biennio 2007-2008	5
1.2 La stazione clinometrica di Casa del Vescovo (CDV)	7
1.3 La stazione clinometrica di Punta La Bronza (PLB)	9
1.4 La stazione clinometrica di Case Bada (CBD)	11
2. L'hardware della stazione	16
2.1 Il software residente nel clinometro e nel datalogger	17
2.2 1° array	17
2.3 2° array	18
2.4 3° array	19
3. Il software che gestisce le chiamate dalla Sala Operativa dell'INGV di Catania	20
4. Gestione dei dati acquisiti in Sala Operativa	21
4.1 Invio della segnalazione di allerta	22
4.2 Il testo trasmesso	22
5. Verifica della funzionalità del programma	23
Conclusioni	28
Bibliografia	28

Introduzione

In questo lavoro viene descritto un metodo per segnalare in tempo reale le variazioni repentine e significative di inclinazione del terreno provenienti da sensori clinometrici di nuova generazione.

La segnalazione avviene tramite un messaggio di allerta inviato via SMS ad un telefono cellulare oppure email sul computer del destinatario.

La possibilità che offre un noto provider di telefonia mobile di invio di SMS a costo zero lo rende facilmente versatile ed utilizzabile anche per altre applicazioni dove il fattore *costo* gioca un ruolo preponderante.

Il sistema è stato implementato sul segnale clinometrico della stazione di nuova concezione di Case Bada installata recentemente sul versante Nord-orientale dell'Etna e caratterizzata da un noise trascurabile.

1. La rete clinometrica gestita dall'INGV di Catania

Le misure clinometriche 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-eruttive.

La rete clinometrica dell'Etna gestita dall'INGV della sezione di Catania è costituita da sensori di tipo bore-hole ubicati a diversa profondità rispetto al piano di campagna (p.d.c.) (vedi fig. 11).

La rete, nata negli anni 80, è stata nel tempo integrata con nuove stazioni e con nuovi tipi di sensori come il clinometro a mercurio in località Pizzi Deneri o con i nuovi clinometri digitali LILY.

I primi clinometri bore-hole sono stati installati a profondità intorno ai 3 metri utilizzando i modelli AGI 722 e 510 costruiti dalla *Applied Geomechanics* con una sensibilità rispettivamente di 100 e 20 nanoradianti).

Gli strumenti misurano variazioni di inclinazione lungo due direzioni ortogonali (assi) e per ragioni storiche di installazione quelli gestiti dall'UFDGG della sede INGV di Catania sono orientati con l'asse X denominato anche componente "radiale" in direzione del cratere (valori positivi indicano sollevamento del cratere) e la componente dell'asse Y, denominata "tangenziale" in direzione ortogonale (valori positivi indicano un sollevamento in direzione 90° antiorario rispetto alla radiale): registrando ad intervalli regolari l'andamento delle due componenti si può determinare il movimento del sensore e quindi del suolo in funzione del tempo.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati dalla casa costruttrice nuovi modelli di clinometri dotati di sistemi autolivellanti e bussola magnetica che permettono l'installazione in profondità con relativa semplicità e caratterizzati da un sistema di acquisizione, memorizzazione e trasmissione dati via RS232-RS485 che permettono allo strumento di avere una sensibilità di 5 nanoRadianti.

I nuovi modelli, dopo fruttuose verifiche in laboratorio ed in campo, in collaborazione anche con la ditta costruttrice, sono stati installati in profondità comprese tra 10 e 30 metri a Mascalucia [Campisi et al., 2008 – Rapporto tecnico], sull'Etna in località Case Bada ed a Stromboli presso il C.O.A. [Campisi et al., 2008 – Rapporto interno UFDG].

1.1 Le innovazioni introdotte nel biennio 2007-2008

Il sito di installazione di case Bada, chiamato brevemente **CBD**, si trova a circa 1420 m s.l.m. ad una distanza di circa 8.3 Km rispetto al cratere centrale etneo (vedi fig. 1) con l'asse Y+ dello strumento orientata a 130° NORD ed utilizza un clinometro, modello "*LILY bore-hole autolivellante*", installato a 10 mt di profondità rispetto al piano di campagna. Il clinometro Lily rappresenta un prodotto innovativo nell'ambito della ricerca delle *deformazioni lente del suolo*, grazie alla bussola elettronica integrata ed al sistema motorizzato interno che permettono di conoscere la direzione di azimuth degli assi ed effettuare il livellamento automatico della bolla di misura.

A causa della differente filosofia di installazione del sensore non è necessario il posizionamento rispetto ad una direzione preferenziale: in fase di post-elaborazione, conoscendo la direzione di azimuth degli assi clinometrici, è possibile ricostruire la dinamica di movimento del clinometro rispetto all'edificio vulcanico

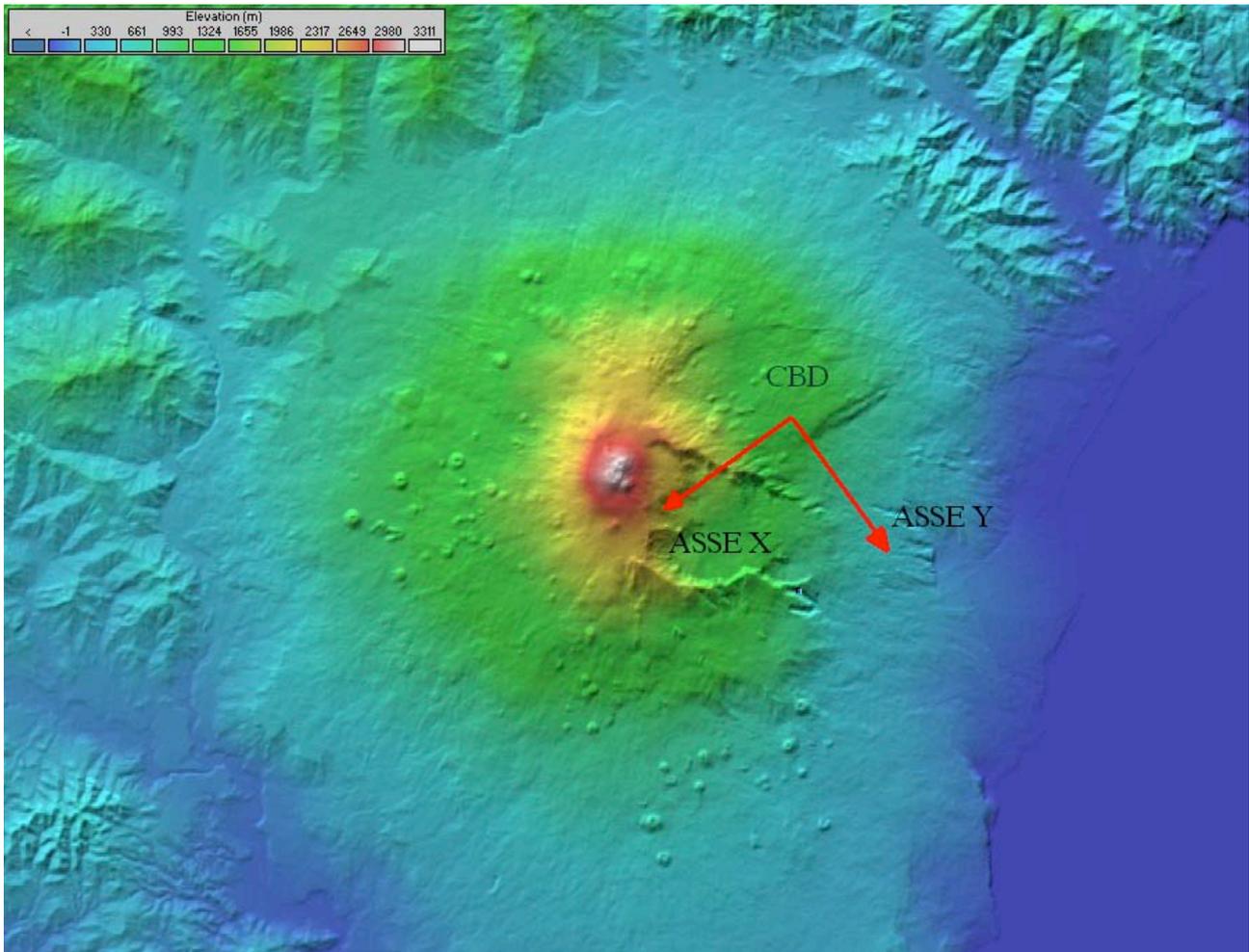


Figura 1 Stazione di CBD e posizione degli assi clinometrici.

Rispetto alle tradizionali equipaggiate con sensori clinometrici analogici posizionati a profondità medio/basse e caratterizzate da instabilità del segnale dovuto agli effetti *termoelastici* del terreno circostante ed alle continue variazioni di temperatura del sensore, la stazione di CBD presenta effetti trascurabili sulla variazione giornaliera di temperatura e quindi di tilt indotto e da effetto termoelastico grazie al posizionamento in profondità ed al buon accoppiamento terreno-sensore.

Altro aspetto da non sottovalutare è l'elevata velocità di campionamento (60 sec contro i 30 minuti della stazioni tradizionali) che rende pressoché immediate le informazioni sulle variazioni repentine di deformazioni del suolo.

Nelle figure sottostanti è possibile comparare la qualità dei segnali tra due stazioni di tipo tradizionali e quella innovativa di **CBD** per lo stesso periodo di osservazione che va dal 13/08/2008 ore 00:00 al 18/08/2008 ore 00:00.

1.2 La stazione clinometrica di Casa del Vescovo (CDV)

Località: Etna (37,69N, 15,04E).

Altezza s.l.m.=1460 mt.

Tipo di sensore: 720 - *Applied Geomechanics*

Sensibilità clinometro:: 100 nanoRadianti.

Posizionamento sensore: 2.5 mt di profondità.

Tempo di campionamento: 30 minuti.

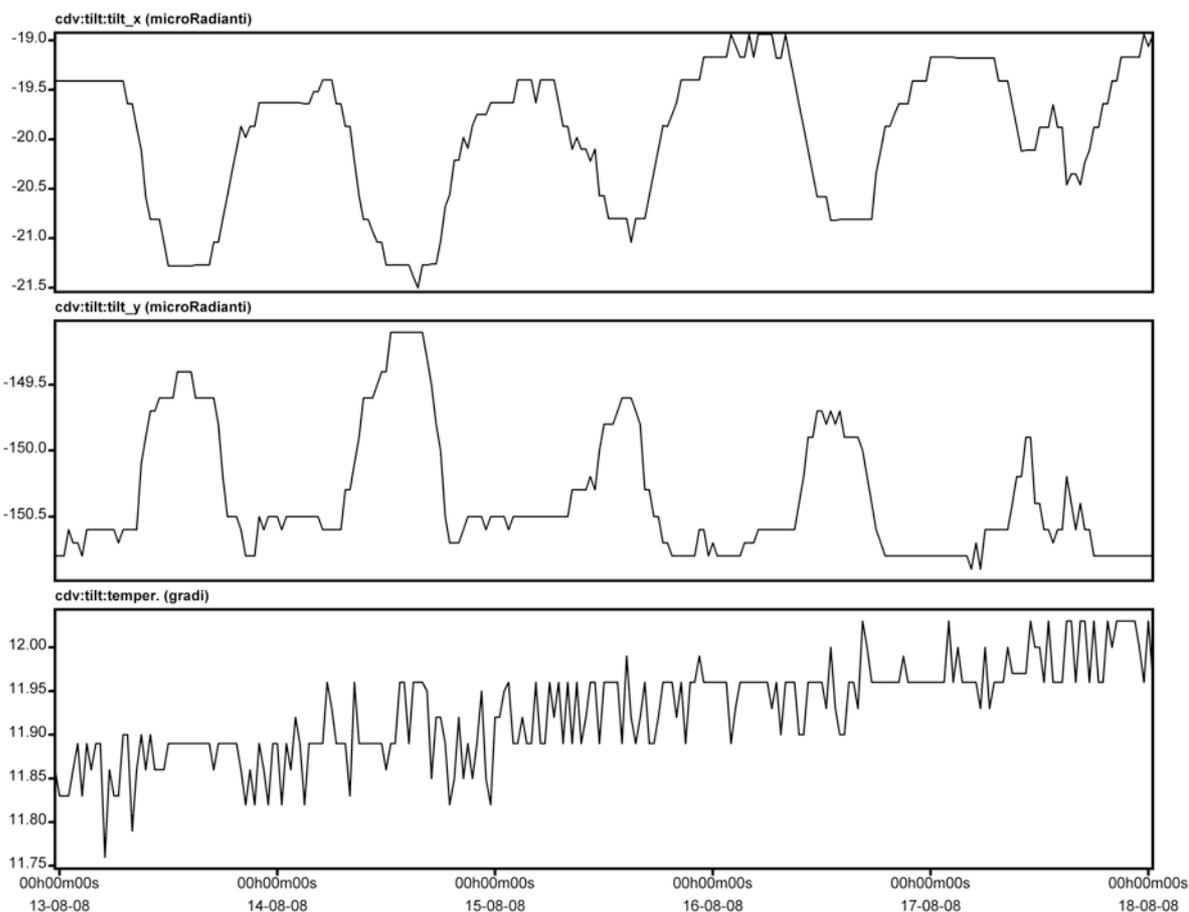


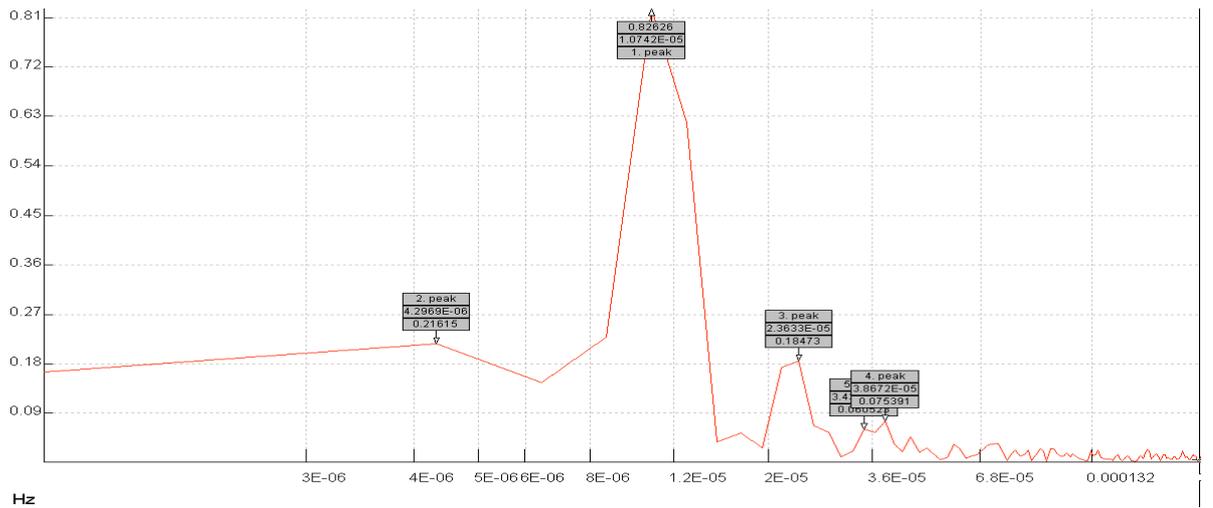
Figura 2 Segnale clinometrico e di temperatura della stazione di CDV.

1^a finestra: valore in microRadianti dell'asse x del clinometro.

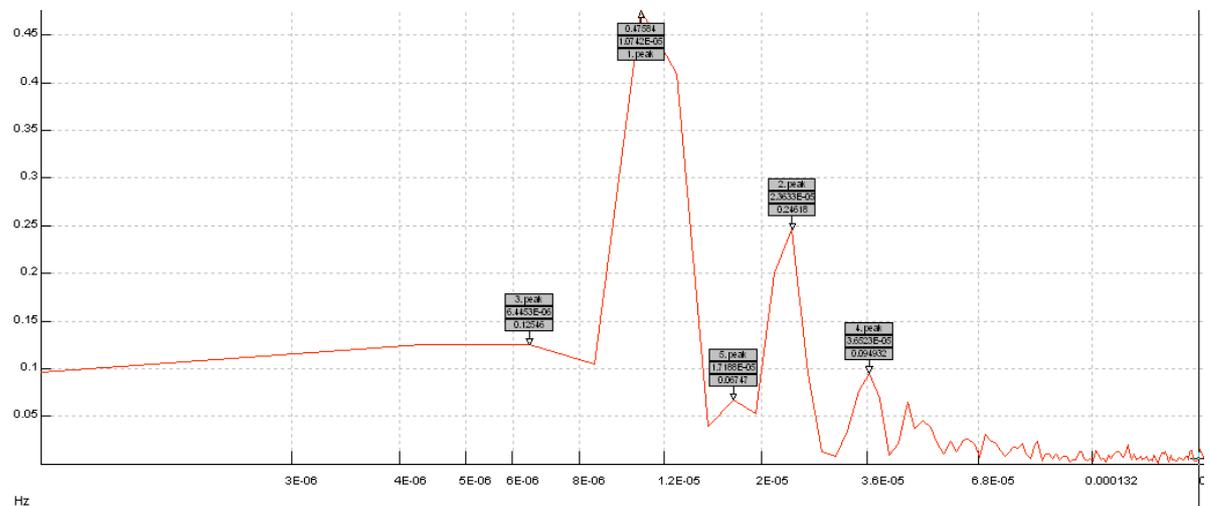
2^a finestra: valore in microRadianti dell'asse y del clinometro.

3^a finestra: valore in gradi centigradi della temperatura del clinometro.

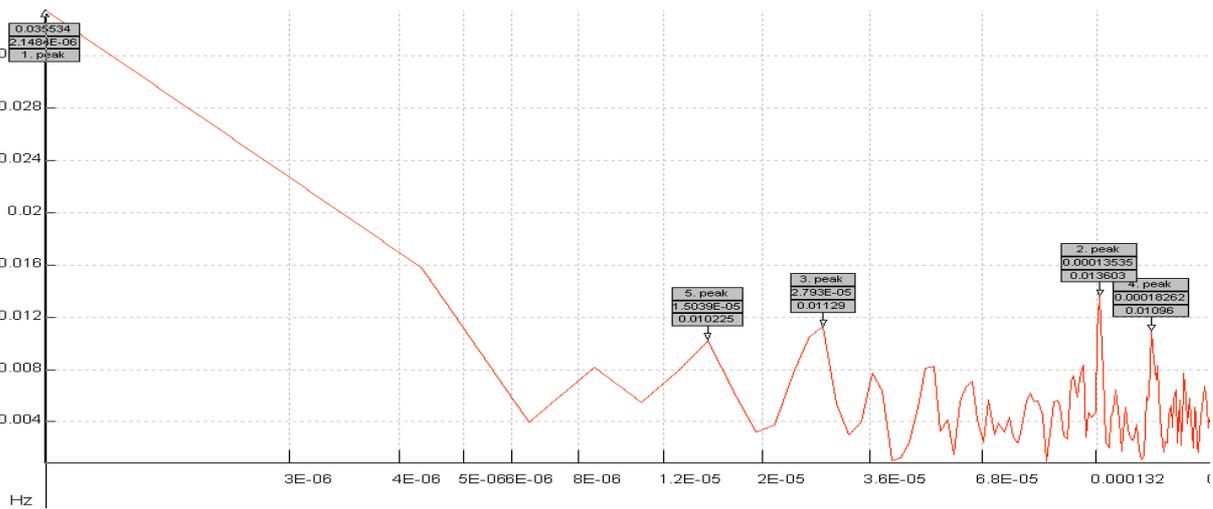
Dall'analisi spettrale del segnale di temperatura (fig. 2, fin. 3) escludendo il trend, è evidente l'assenza di variazioni giornaliere di temperatura (fig. 3, fin. 3). Sul segnale clinometrico (fig 2, fin. 1 e 2) in corrispondenza delle ore diurne si notano oscillazioni dell'ordine dei 300-500 nanoRadianti imputabili agli effetti *termoelastici* di dilatazione e contrazione del suolo. L'analisi spettrale dei segnali di tilt (fig 3, fin. 1 e 2) conferma un picco massimo a frequenza giornaliera ($1.07E-5$ Hz = 1 cycle per day) riconducibile in massima parte agli effetti termoelastici ed in maniera minore agli effetti di gravità solare sulla superficie terrestre, ed uno di ampiezza minore e periodicità semidiurna ($2.36E-5$ Hz = 2 cycle per day) provocato dall'effetto della gravità lunare che introduce anch'esso deformazioni del suolo. Il trend di temperatura per il periodo in questione è di circa 0.2 gradi. Rispetto alle analisi spettrali delle fig 5 e 7 poiché il segnale d'origine è campionato ogni 30 minuti, a parità di tempo (4 giorni) è minore il numero di campioni analizzati: ne consegue che è maggiore l'errore sull'asse delle ordinate è che comunque all'interno della fascia di confidenza. Il valore di magnitudine della semidiurna è decuplicato rispetto a quella misurato sui segnali di PLB e CBD (0.2 contro 0.02 tipico).



Hz



Hz



Hz

Figura 3 Analisi spettrale dei segnali di fig 2.

Ascisse : valori in Hz visualizzati in formato logaritmico.

Ordinate: Magnitudine intesa come $\sqrt{R^2 + I^2}$.

Ampiezza in RMS.

1^a finestra: spettro asse x.

2^a finestra: spettro asse y.

3^a finestra: spettro temperatura.

1.3 La stazione clinometrica di Punta La Bronza (PLB)

Località: Stromboli (38,08N, 15,21E).

Altezza s.l.m.=166 mt.

Tipo di sensore: 722 - *Applied Geomechanics*.

Sensibilità clinometro: 100 nanoRadianti.

Posizionamento sensore: 3.5 mt di profondità.

Tempo di campionamento: sperimentale a 60 secondi.

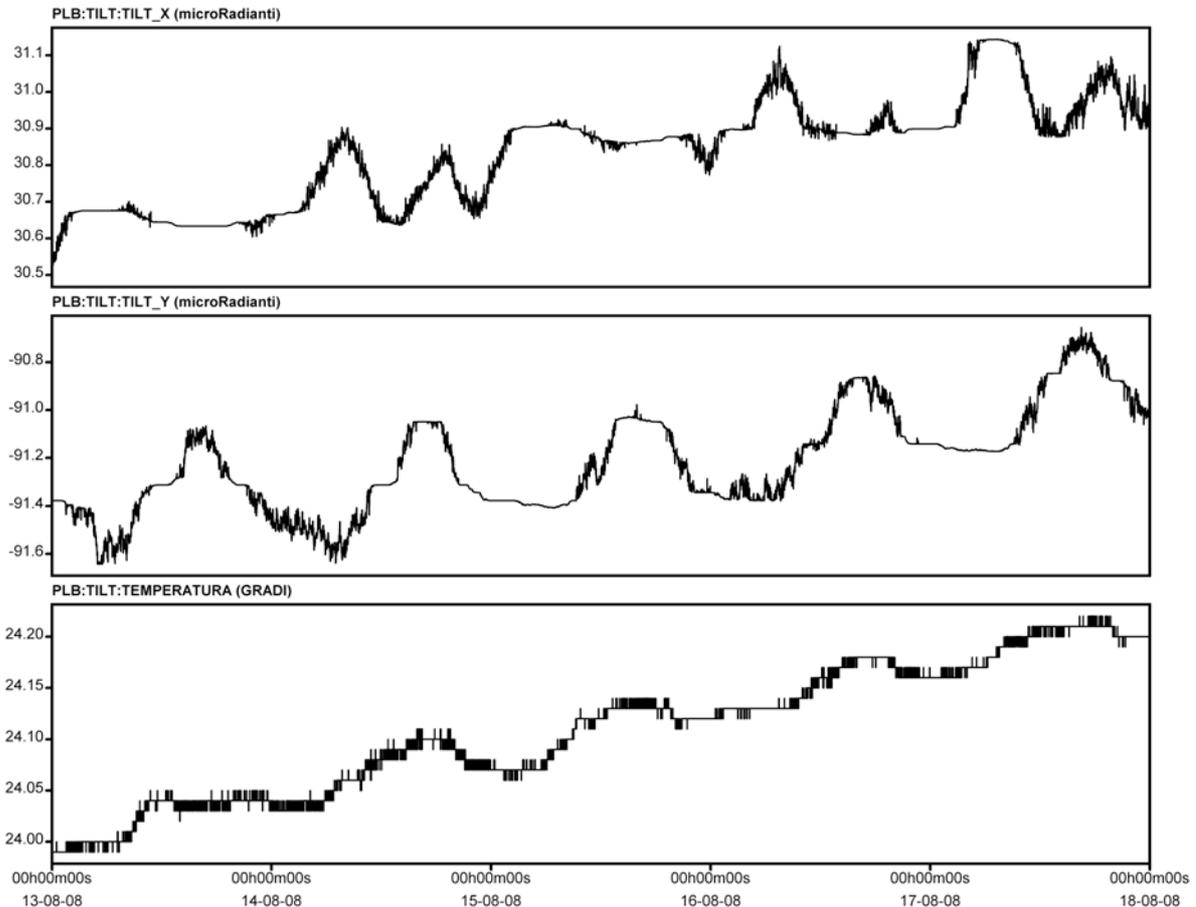


Figura 4 Segnale clinometrico e di temperatura della stazione di PLB.

1^a finestra: valore in microRadianti dell'asse x del clinometro.

2^a finestra: valore in microRadianti dell'asse y del clinometro.

3^a finestra: valore in gradi centigradi della temperatura del clinometro.

Sul segnale clinometrico e di temperatura si notano in corrispondenza delle ore diurne variazioni rispettivamente dell'ordine dei 200-600 nanoRadianti con 0.1 gradi di differenza.

L'analisi spettrale del segnale di temperatura e di tilt evidenzia l'andamento giornaliero del fenomeno su entrambi gli spettri ($1.22E-5$ Hz = 1 cycle per day): inoltre sul segnale clinometrico è presente una componente semidiurna imputabile all'effetto di gravità lunare ($2.23E-5$ Hz = 2 cycle per day).

Le variazioni di temperatura con accadimento giornaliero che influenzano il segnale di tilt si possono annullare in fase di post-elaborazione utilizzando degli opportuni coefficienti, variabili per ogni sensore e riportati nei *fogli di calibrazione*.

La variazione giornaliera causata dall'effetto termoelastico del terreno non è prevedibile dato che non è possibile definire un modello matematico poiché sono molteplici i fattori di influenza (inerzia termica del terreno, numero di ore di insolazione, pioggia, etc).

Il trend di temperatura è di circa 0.2 gradi.

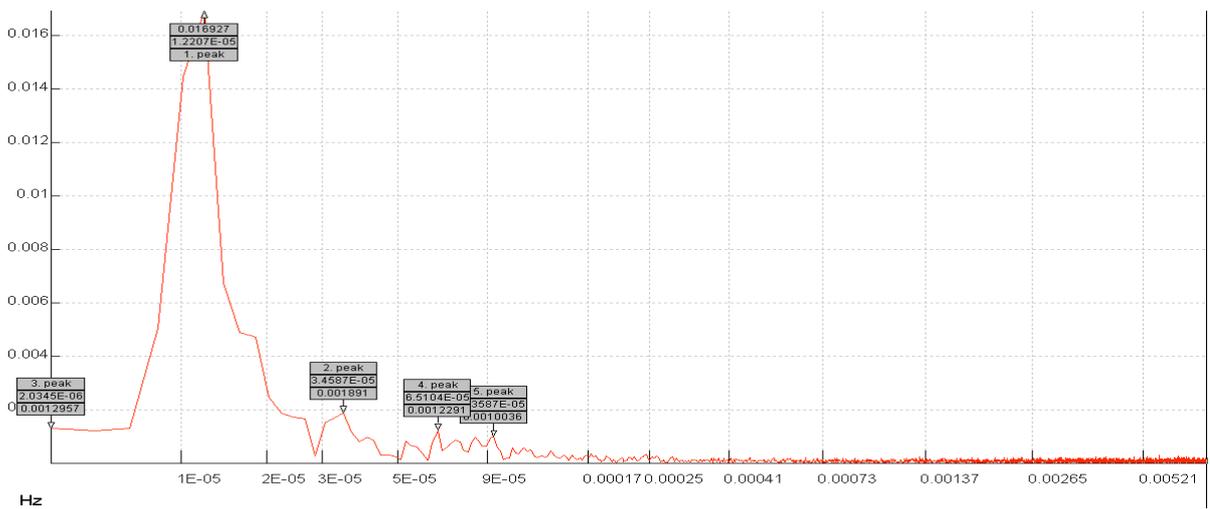
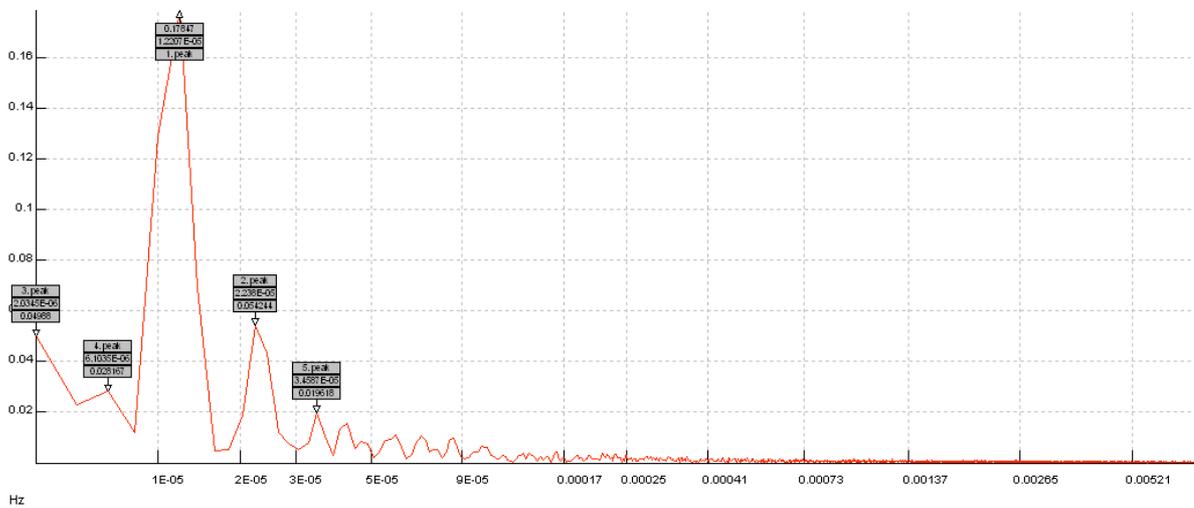
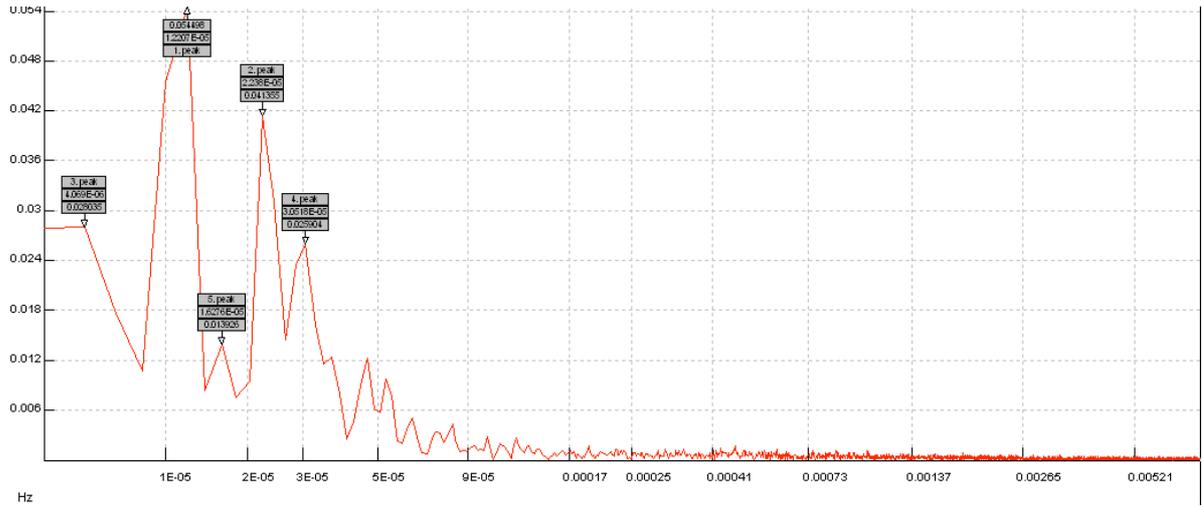


Figura 5 Analisi spettrale dei segnali di fig 4.
 Ascisse : valori in Hz visualizzati in formato logaritmico.
 Ordinate: Magnitudine intesa come $\sqrt{R^2 + I^2}$.
 1^a finestra: spettro asse x.
 2^a finestra: spettro asse y.
 3^a finestra: spettro temperatura.

1.4 La stazione clinometrica di Case Bada (CBD)

Località: Etna (37,77N, 15,08E).

Altezza s.l.m.=1420mt.

Tipo di sensore: LILY - *Applied Geomechanicis*.

Sensibilità clinometro: 5 nanoRadianti.

Posizionamento sensore: 10mt di profondità.

Tempo di campionamento: 60 secondi.

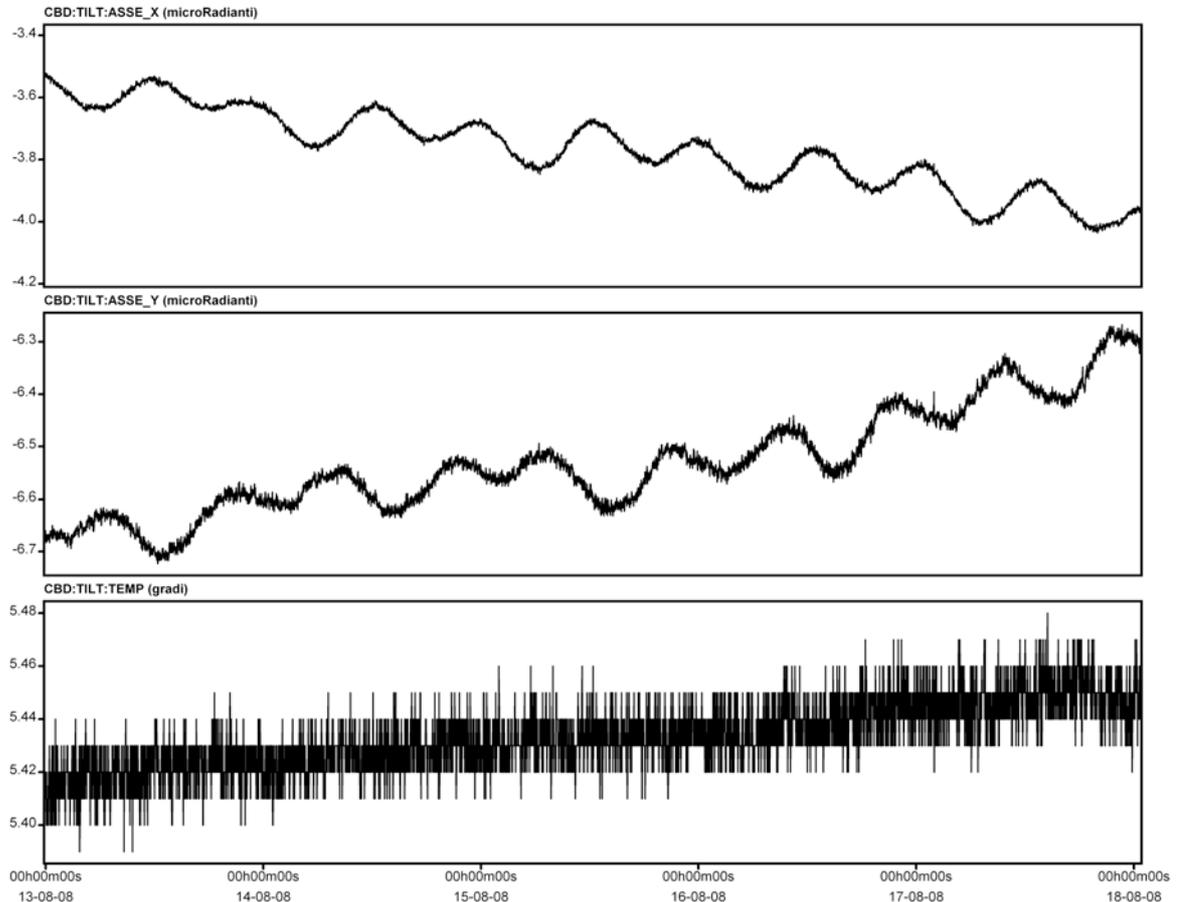


Figura 6 Segnale clinometrico e di temperatura della stazione di CBD.

1^a finestra: valore in microRadianti dell'asse x del clinometro.

2^a finestra: valore in microRadianti dell'asse y del clinometro.

3^a finestra: valore in gradi centigradi della temperatura del clinometro.

Si nota che il trend di temperatura è di circa 0.02 gradi.

L'analisi per un periodo temporale più lungo (dal 27 Luglio al 16 Ottobre 2008) mostrato in fig. 7 evidenzia un andamento tipico “stagionale” confrontabile con i segnali delle altre stazioni della rete clinometrica.

Sul segnale clinometrico di fig. 6 si notano variazioni giornaliere di inclinazioni minori di 100 nanoRadianti causate dagli effetti delle maree terrestri: il dato è infatti confrontabile, in termini di ampiezza (a meno degli effetti di attenuazione o amplificazione di sito già noto in letteratura [C. *Braitenberg* et al.2008]) e ritardo di fase, con quello teorico estratto dal programma *ETERNA 3.4* [H.-G. Wenzel]

Il sensore essendo installato a profondità di 10 metri è insensibile agli effetti termoelastici del terreno ed alle variazioni di temperatura superficiali ed i suoi dati si prestano meglio ad una analisi immediata degli effetti deformativi “reali” indotti dall'apparato vulcanico (a meno degli elementi di disturbo quali possano essere terremoti lontani di una certa intensità oppure eventi energetici locali che creano deformazioni e che comunque sono facilmente identificabili dalla rete sismica).

Nelle figure sottostanti sono visualizzati i grafici di confronto per il periodo 13-17 Agosto 2008 tra gli assi clinometrici e quelli di marea terrestre previsti.

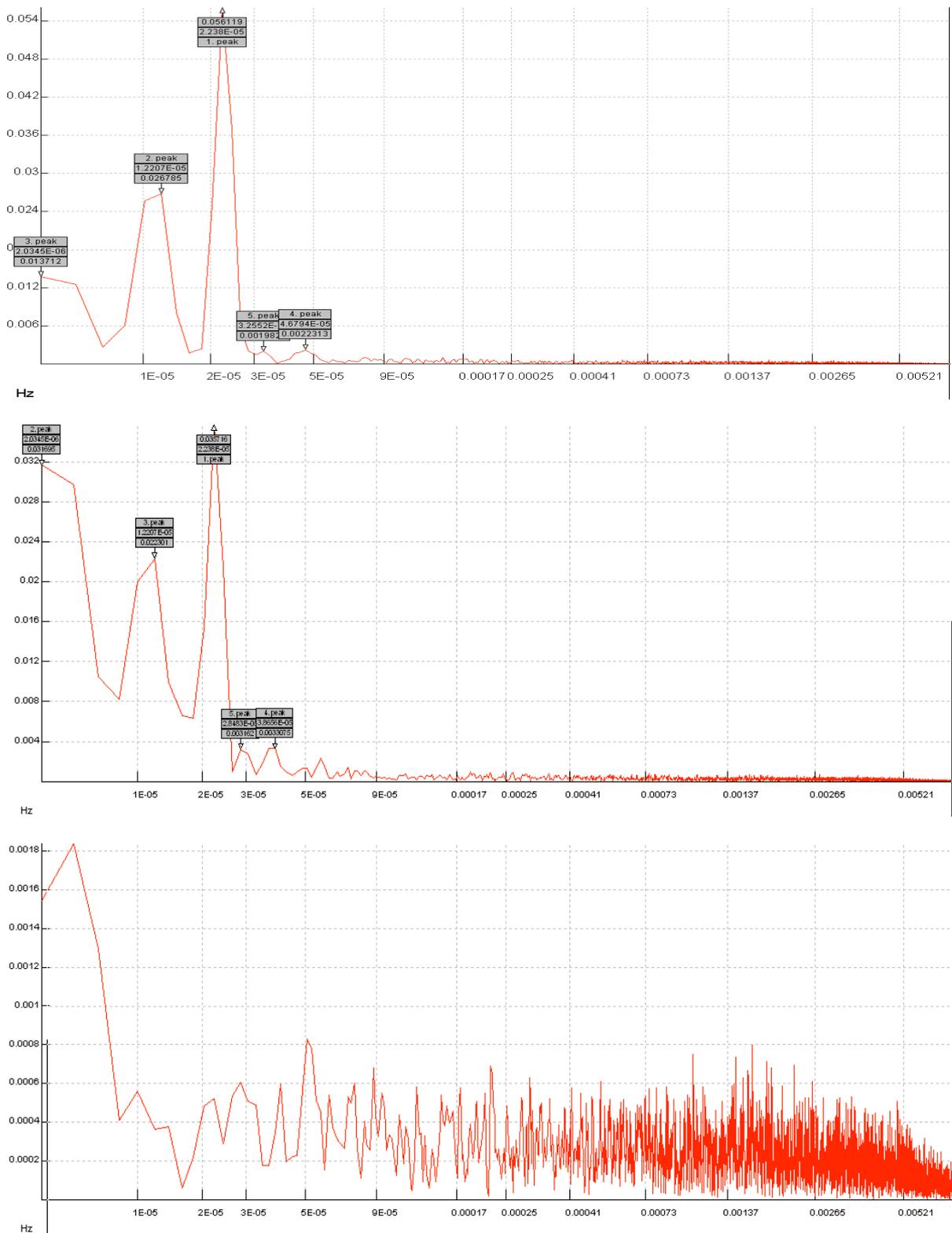


Figura 7 Analisi spettrale dei segnali di fig 6.
 Ascisse : valori in Hz visualizzati in formato logaritmico.
 Ordinate: Magnitudine intesa come $\sqrt{R^2 + I^2}$.
 1^a finestra: spettro asse x.
 2^a finestra: spettro asse y.
 3^a finestra: spettro temperatura.

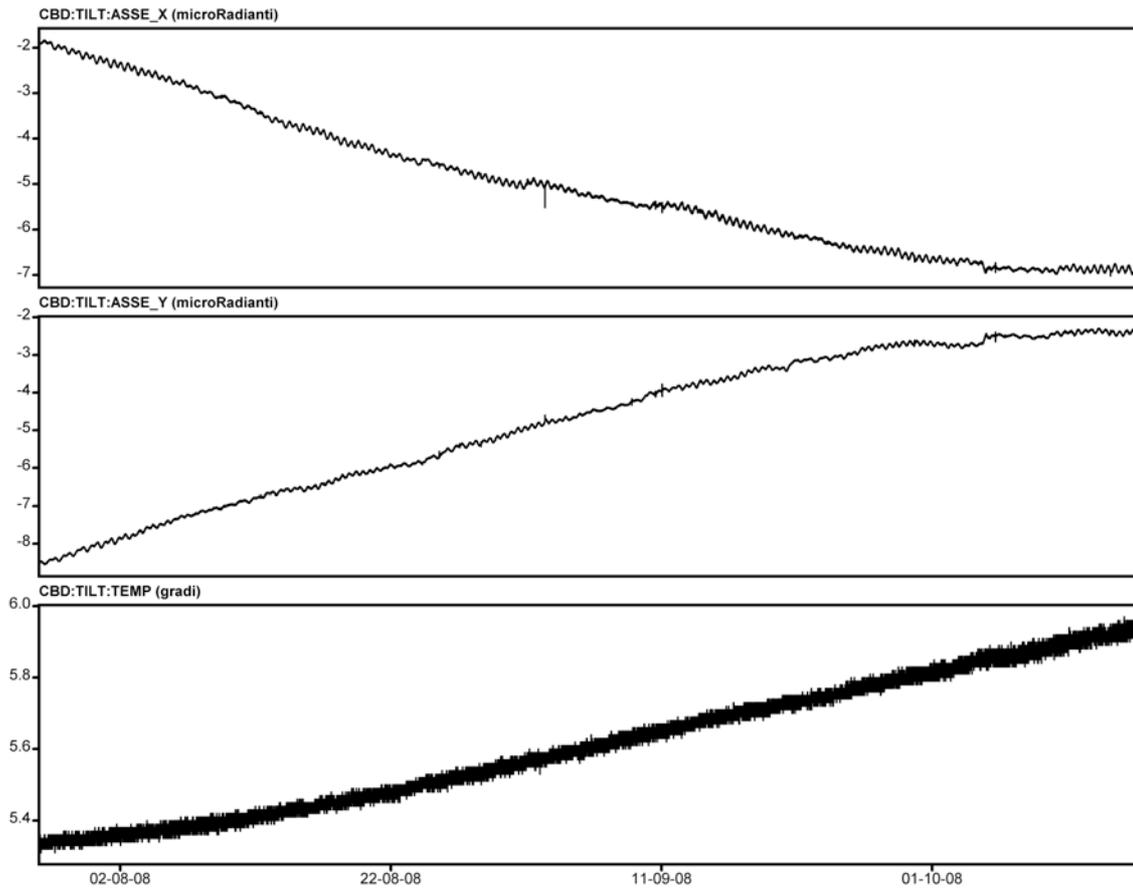


Figura 8 Segnale clinometrico e di temperatura della stazione di Case Bada (CBD).

1^a finestra : valore in microRadiani dell'asse x.

2^a finestra: valore in microRadiani dell'asse y.

3^a finestra: valore in gradi centigradi della temperatura del clinometro.

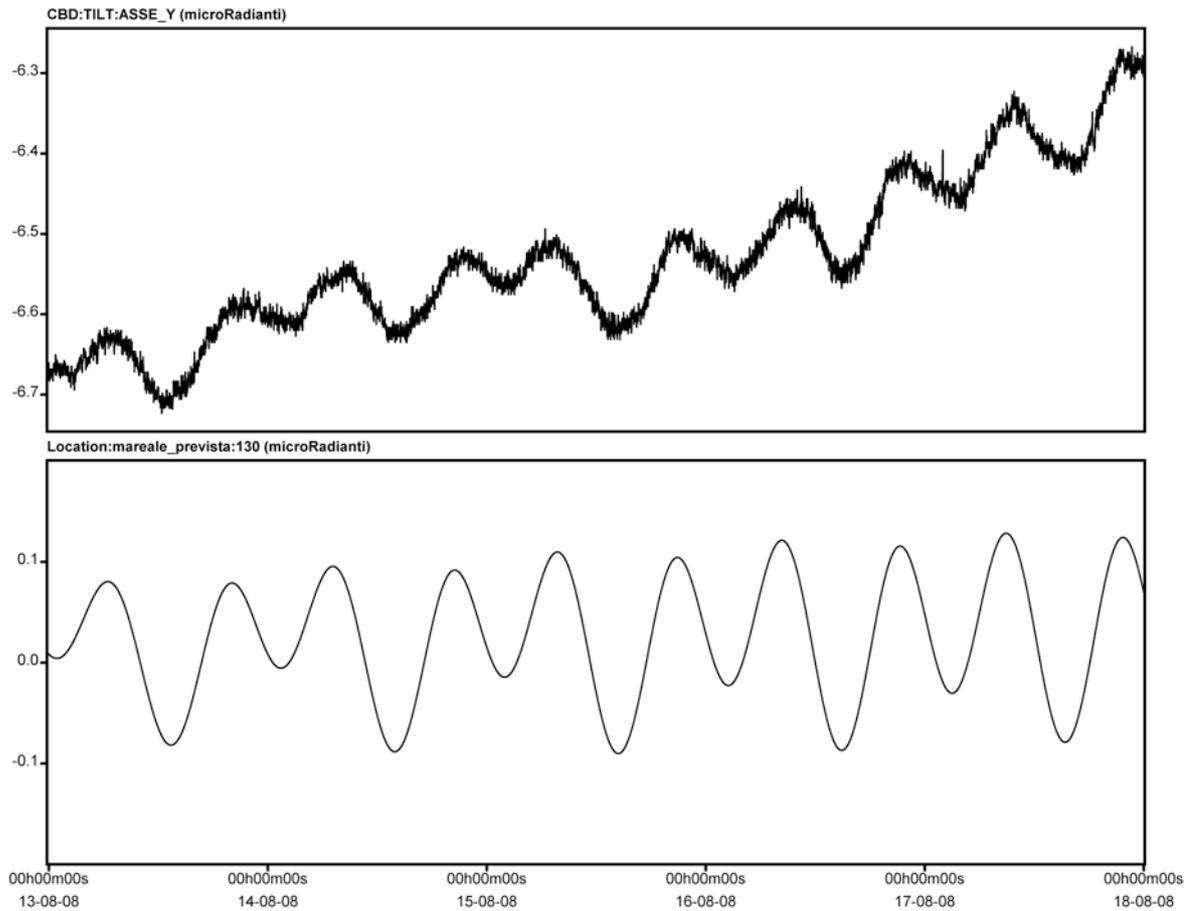


Figura 9 Confronto tra l'asse y dell'asse clinometrico e la componente di marea terrestre prevista relativa a 130 gradi di azimuth NORD.

1^a finestra: valore in microRadianti dell'asse y del clinometro.

2^a finestra: valore in microRadianti della componente di marea terrestre.

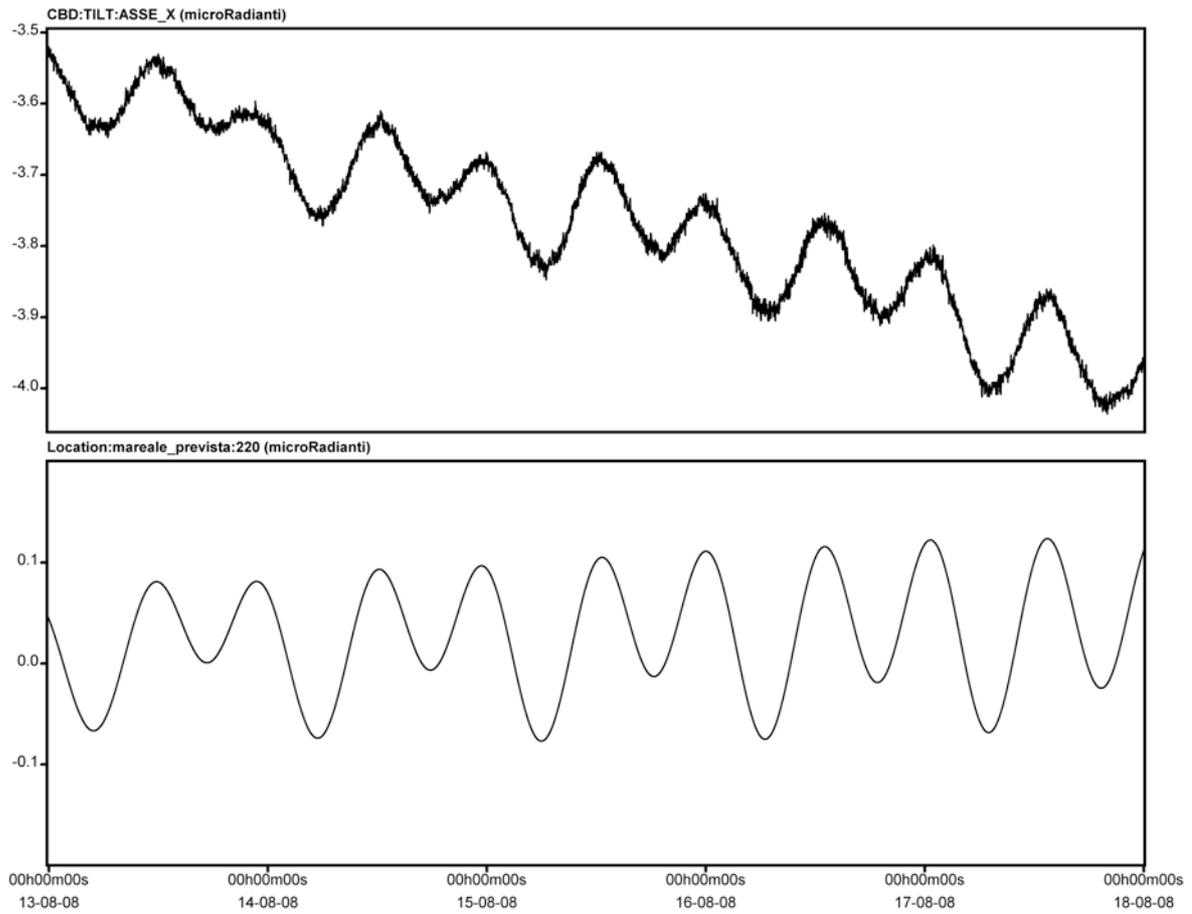


Figura 10 Confronto tra l'asse x dell'asse clinometrico e la componente di marea terrestre prevista relativa a 220 gradi (130 + 90 gradi) di azimuth NORD.

1^a finestra: il valore in microRadianti dell'asse y del clinometro.

2^a finestra: il valore in microRadianti della componente di marea terrestre prevista

2. L'hardware della stazione

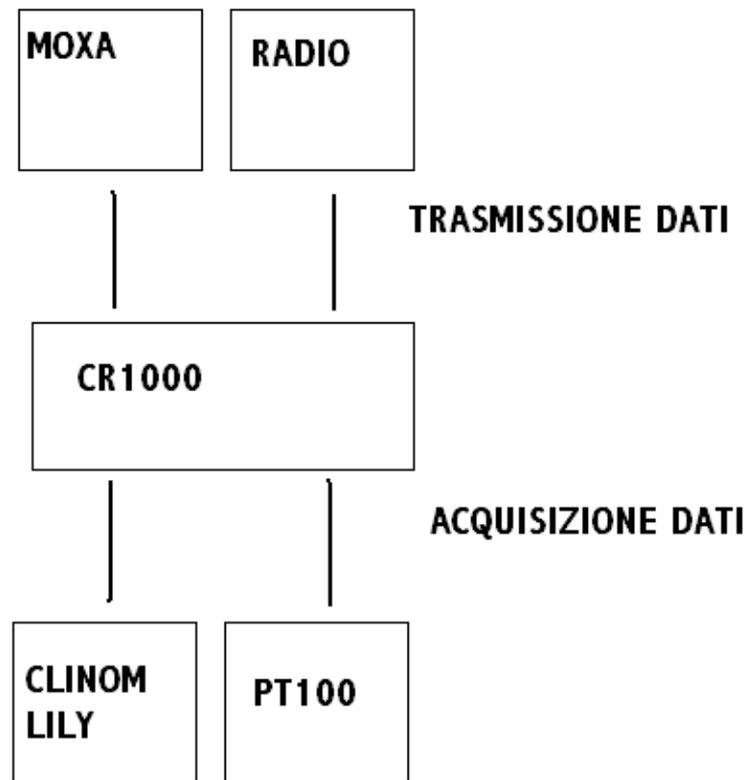


Figura 11 Schema a blocchi dell'hardware costruttivo della stazione CBD.

Il dispositivo di acquisizione e memorizzazione dati della stazione di **CBD** è un datalogger **CR1000** della *Campbell*: ad esso, tramite una porta seriale di I/O, è collegato il sensore clinometrico LILY. Le PT100, utilizzate per misurare la temperatura del foro clinometrico a diverse profondità e costituite da un substrato di platino (pt) la cui resistenza elettrica varia in funzione della temperatura a cui sono sottoposte, consentono di determinare con una buona approssimazione il profilo termico del foro.

Anche il clinometro contiene a bordo un sensore di temperatura con caratteristiche superiori rispetto alle PT100 in termini di linearità e rumorosità intrinseca.

Le due uscite di controllo del datalogger sono collegate ad un sistema di trasmissione dati di tipo ridondante con trasmissione dati via radio in banda VHF e WI-FI -802.11b.

Il sistema *master* è rappresentato dalla connessione wi-fi che è sempre attiva e presenta una velocità di trasmissione di 1Mb/s verso la sede INGV di Catania. In caso di caduta del link wireless, viene attivata da Catania in maniera manuale la modalità *slave*.

Purtroppo il sistema *slave* non permette trasferimenti dati maggiori di 2400 baud a causa della banda radio VHF limitata da vincoli di legge ed in base a direttive Comunitarie a 12.5KHz e dal tipo di modulazione FSK utilizzata dal radio-modem.

La stazione, nonostante il link wireless sia sempre attivo, ha un consumo di corrente medio di 250mA e necessita solamente di un pannello fotovoltaico da 80Wp con annessa batteria da 12V a 100Ah.

2.1 Il software residente nel clinometro e nel datalogger

Il clinometro digitale LILY è stato programmato in modo da mediare 8000 campioni al secondo in entrambi i canali (asse x e y) in modo da eliminare i transitori veloci generati dai terremoti locali. I dati formattati vengono spediti all'uscita dello strumento a cadenza di un secondo in formato ASCII.

Il datalogger CR1000 è programmato per leggere il suddetto flusso dati creando un'ulteriore media su 60 campioni. I dati acquisiti sono organizzati in tre array indipendenti dove sono memorizzate le informazioni campionate al minuto ed al quarto d'ora, nel seguente modo:

2.2 1° array

l'array è memorizzato all'interno del datalogger in una memoria circolare in grado di contenere 2 mesi di dati e contemporaneamente trasmesso ogni minuto presso la sede INGV di Catania in modalità wi-fi (802.11b) dove viene "appeso" in un file contenente i dati della stazione campionati al minuto. A causa della modalità di memorizzazione il file residente nel server cresce di circa 5.5Mb/mese.

TIMESTAMP	RECORD	TILTX	TILTY	TEMP
TS	RN	MEDIA	MEDIA	MEDIA
		Avg	Avg	Avg
29/05/2008 03:55	11260	2.5872	-12.316	5.39
29/05/2008 03:56	11261	2.5988	-12.30125	5.38
29/05/2008 03:57	11262	2.5931	-12.30788	5.39
29/05/2008 03:58	11263	2.593	-12.33062	5.37
29/05/2008 03:59	11264	2.5989	-12.30838	5.39
29/05/2008 04:00	11265	2.599	-12.308	5.37
29/05/2008 04:01	11266	2.599	-12.308	5.38
29/05/2008 04:02	11267	2.6049	-12.30112	5.39
29/05/2008 04:03	11268	2.5991	-12.31575	5.38
29/05/2008 04:04	11269	2.5931	-12.32288	5.38
29/05/2008 04:05	11270	2.6048	-12.30825	5.38
29/05/2008 04:06	11271	2.5991	-12.31587	5.38
29/05/2008 04:07	11272	2.599	-12.30813	5.36
29/05/2008 04:08	11273	2.6049	-12.308	5.37
29/05/2008 04:09	11274	2.605	-12.308	5.36
29/05/2008 04:10	11275	2.611883	-12.31587	5.38

Tabella 1

2.3 2° array

l'array è memorizzato all'interno del datalogger in una memoria circolare limitata a 20 dati e viene trasmesso ogni minuto alla sede INGV di Catania in standard wi-fi (802.11b): è utilizzato per la segnalazione di allerta via SMS/email.

TIMESTAMP TS	RECORD RN	TILTX MEDIA Avg	TILTY MEDIA Avg	TEMP MEDIA Avg
29/05/2008 03:55	11260	2.5872	-12.316	5.39
29/05/2008 03:56	11261	2.5988	-12.30125	5.38
29/05/2008 03:57	11262	2.5931	-12.30788	5.39
29/05/2008 03:58	11263	2.593	-12.33062	5.37
29/05/2008 03:59	11264	2.5989	-12.30838	5.39
29/05/2008 04:00	11265	2.599	-12.308	5.37
29/05/2008 04:01	11266	2.599	-12.308	5.38
29/05/2008 04:02	11267	2.6049	-12.30112	5.39
29/05/2008 04:03	11268	2.5991	-12.31575	5.38
29/05/2008 04:04	11269	2.5931	-12.32288	5.38
29/05/2008 04:05	11270	2.6048	-12.30825	5.38
29/05/2008 04:06	11271	2.5991	-12.31587	5.38
29/05/2008 04:07	11272	2.599	-12.30813	5.36
29/05/2008 04:08	11273	2.6049	-12.308	5.37
29/05/2008 04:09	11274	2.605	-12.308	5.36
29/05/2008 04:10	11275	2.611883	-12.31587	5.38

Tabella 2

2.4 3° array

L'array è memorizzato all'interno del datalogger in una memoria circolare in grado di contenere 2 mesi di dati e trasmesso presso la sede INGV di Catania in caso di caduta del link wireless 802.11 attivando la trasmissione dati in banda radio VHF.

Purtroppo a causa del basso flusso dati di trasmissione (2400 baud) il sample rate è limitato a 15 minuti. Valori superiori di campionamento richiedono un utilizzo intensivo del canale radio con conseguente sollecitazione delle batterie delle stazioni, inoltre poichè il canale radio è strutturato a divisione di tempo (condiviso con le altre stazioni della rete clinometrica Etna), il suo utilizzo intensivo porterebbe ad un blocco totale della trasmissione/ricezione dei dati dalle altre stazioni della rete.

TIMESTAMP TS	REC. RN	TEN BATT	TEMP CR10	BARO- METRO	ALLAR. FURTO	TEMP SUP	TEMP INFER.	TILTX MEDIA	TILTY MEDIA	TEMP MEDIA
		Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Avg	Avg	Avg
21/05/2008 08:15	0	12.86	14.75	846	0	2.731	3.64	0	0	0
21/05/2008 08:30	1	12.83	14.78	846	0	2.813	3.599	2.948955	-12.3582	5.38
21/05/2008 08:45	2	12.85	14.78	846	0	2.976	3.517	2.960058	-12.4142	5.404
21/05/2008 09:00	3	12.82	14.73	848	0	2.976	3.355	2.965316	-12.4123	5.41
21/05/2008 09:15	4	13.03	14.68	847	0	2.813	3.518	2.969466	-12.4148	5.409
21/05/2008 09:30	5	13.13	14.66	847	0	3.098	3.355	2.971666	-12.4201	5.406
21/05/2008 09:45	6	13.35	14.64	847	0	3.016	3.355	2.973342	-12.4229	5.41
21/05/2008 10:00	7	13.72	14.66	848	0	2.976	3.274	2.984706	-12.4173	5.416
21/05/2008 10:15	8	13.99	14.73	847	0	2.935	3.355	2.991667	-12.4193	5.413
21/05/2008 10:30	9	14.31	14.9	846	0	3.098	3.315	3.002209	-12.4261	5.404
21/05/2008 10:45	10	13.54	15.07	846	0	3.018	3.274	3.009716	-12.4302	5.415
21/05/2008 11:00	11	13.75	15.29	848	0	2.976	3.275	3.010591	-12.4302	5.411
21/05/2008 11:15	12	13.83	15.48	847	0	3.098	3.478	3.018275	-12.4343	5.411
21/05/2008 11:30	13	13.63	15.68	846	0	3.098	3.397	3.023031	-12.4401	5.407
21/05/2008 11:45	14	13.33	15.82	847	0	2.936	3.437	3.028409	-12.4458	5.409
21/05/2008 12:00	15	13.25	15.95	848	0	3.058	3.356	3.031742	-12.4472	5.406
21/05/2008 12:15	16	13.31	16.02	847	0	2.97	3.39	3.039773	-12.4603	5.411
21/05/2008 12:30	17	13.23	16.02	847	0	3.05	3.347	3.035524	-12.4595	5.411

Tabella 3

3. Il software che gestisce le chiamate dalla Sala Operativa dell'INGV di Catania

Ogni minuto, il programma LOGGERNET installato in un PC ubicato presso la sede INGV di Catania effettua un collegamento wireless TCP-IP, seguendo il percorso:

sala operativa CT – CUAD – Monte Pomiciato – Monte Veneretta – Case Bada

e successivamente esegue il download dei dati memorizzati nel datalogger.

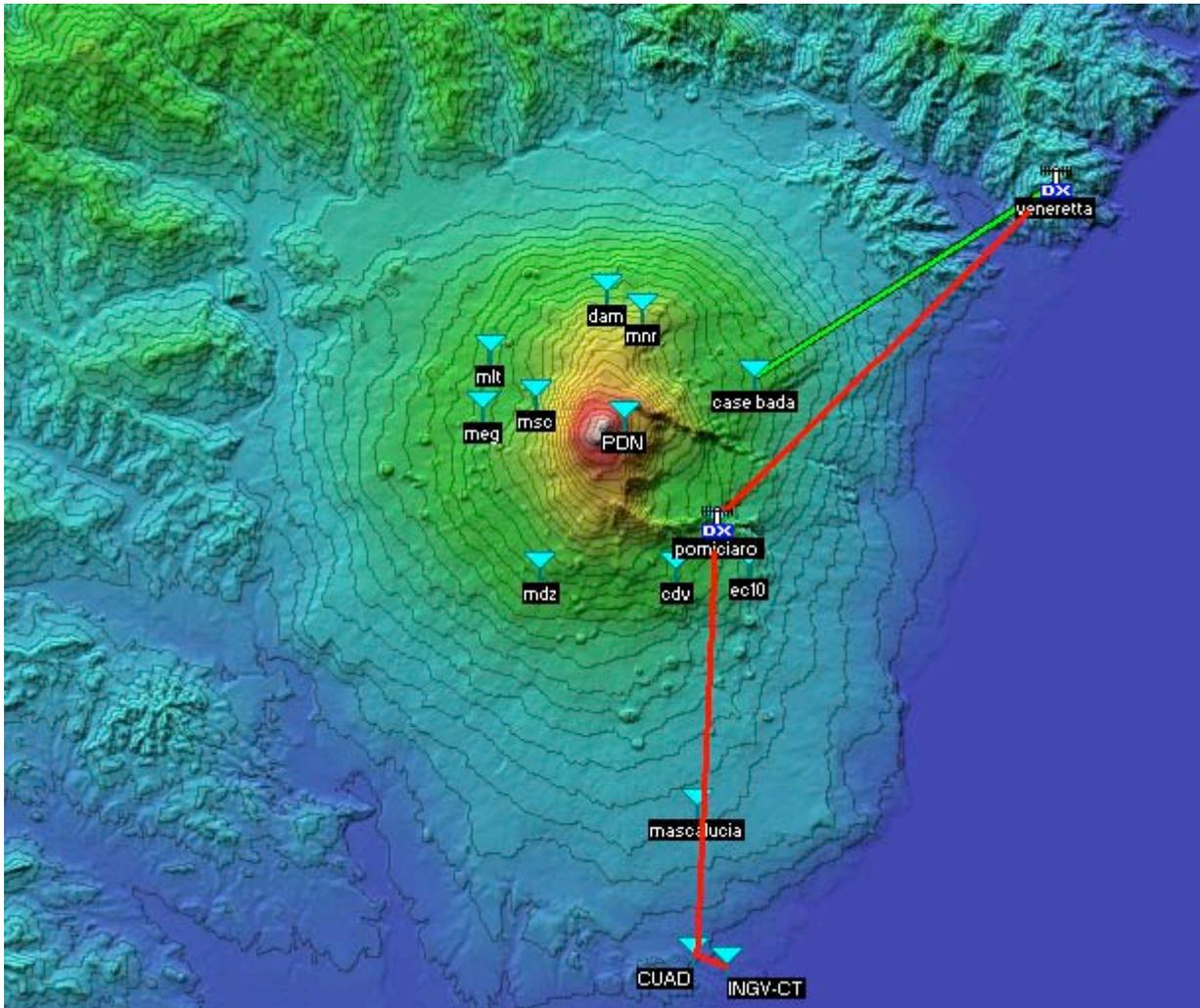


Figura 12 La rete clinometrica Etna gestita dall'INGV-CT.

In riferimento alla fig. 12, il link radio TCP-IP da Catania fino a Monte Veneretta (evidenziato in rosso) è assicurato dalla rete wireless gestita dal gruppo “wireless” dell'INGV di Catania, la tratta radio tra Monte Veneretta e Case Bada (evidenziata in verde) è gestita dal *gruppo deformazioni lente del suolo* della sede INGV di Catania ed è realizzata da un Access Point ORINOCO (Monte Veneretta) ed un client MOXA nport w2250 (Case Bada) utilizzando lo standard 802.11b caratterizzato da un minore velocità d'accesso rispetto al 802.11g ma in grado di garantire collegamenti stabili anche con bassi valori di rapporto S/N.

Il *client* configurato come convertitore seriale/ethernet con un proprio numero di IP è collegato direttamente ad una porta seriale di comunicazione del datalogger: il programma LOGGERNET residente nel PC della sala operativa instaurerà un collegamento chiamando semplicemente l'indirizzo IP del MOXA.

Per assicurare un link sempre stabile nel tempo è stato necessario installare nei siti su menzionati due antenne direttive ad alto guadagno da 18 e 24dB.

Nella fig. 13 è mostrato il profilo altimetrico, di ben 18Km che il segnale WI-FI 802.11b effettua nella tratta gestita dal gruppo deformazioni.

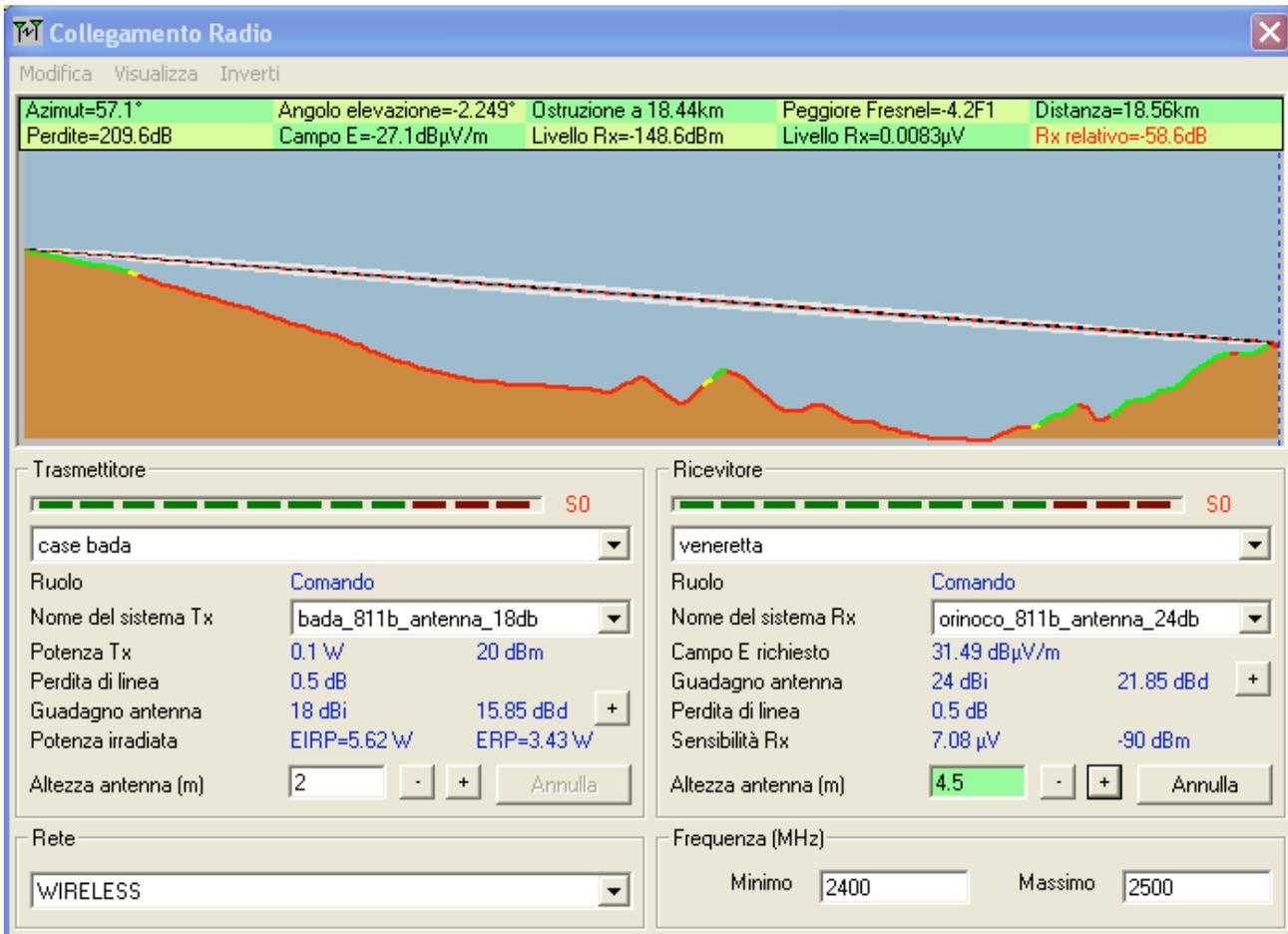


Figura 13 Profilo altimetrico della tratta Case Bada – Monte Veneretta.

4. Gestione dei dati acquisiti in Sala Operativa

Il download dei dati, gestito dal programma LOGGERNET, è realizzato in modo che gli array 1 e 3 siano memorizzati in un file in modalità “append”, mentre l’array 2 è memorizzato in un file in modalità “overwrite”.

Al termine della ricezione dell’array 2, una routine scritta in visual basic analizza il valore numerico del segnale clinometrico calcolando la media degli ultimi 10 minuti (STA) e 20 minuti (LTA) di dati ricevuti ed eseguendone il rapporto STA/LTA: in caso di superamento di una soglia preimpostata su uno o entrambi dei canali viene generato il messaggio di allerta.

La trasmissione ridondante degli array 1 e 2 è dovuta al fatto che l’elaborazione del file append dell’array 1 avrebbe richiesto un uso intensivo della CPU a causa delle enormi dimensioni che esso assume nel tempo (circa 5,5Mb al mese), l’analisi invece dell’array 2 (in modalità overwrite ha dimensioni costanti di 2Kb) è immediata e la sua trasmissione alla sede di Catania non compromette la durata delle batterie nè limita la larghezza di banda dato che il link wireless è sempre attivo e l’informazione trasmessa ogni minuto ha dimensioni irrisorie.

4.1 Invio della segnalazione di allerta

L'invio della segnalazione può avvenire tramite email oppure messaggio SMS sfruttando la possibilità offerta dall'operatore di inviare messaggi SMS tramite EMAIL .

Eseguita la registrazione al provider del servizio sms, sarà sufficiente spedire una email dall'indirizzo di appoggio ad un numero omnitel utilizzando la sintassi 34xxxxxxxx@sms.omnitel.it ed il destinatario del numero di telefono riceverà una sms contenente il testo dell'email (troncato a 160 caratteri).

Il sistema, poiché a costo zero, ha una limitazione sul numero di SMS da inviare giornalmente che deve essere inferiore a 10.

4.2 Il testo trasmesso

Un esempio di testo inviato all'utente in caso di superamento della soglia sui due canali è il seguente:

2008-11-28 16:07:00 CBD - STA/LTA_X:1.3 - STA/LTA_Y: 1.05: - time=2 ore

dove:

2008-11-28 16:07:00 rappresenta l'ora di trigger.

CBD: il nome della stazione

STA/LTA_X: valore di STA/LTA dell'asse X per il quale il trigger è scattato

STA/LTA_Y: valore di STA/LTA dell'asse Y per il quale il trigger è scattato

Time : tempo di oscuramento segnalazione.

L'ultimo parametro è utilizzato in modo da neutralizzare l'invio di continue segnalazioni di superamento soglia in caso di eventi caratterizzati da durata notevole o da deformazioni reali ma temporalmente vicine tra esse.

5. Verifica della funzionalità del programma

Nella figura sottostante è riportato l'andamento del segnale clinometrico per il periodo 28/04/2008 - 21/05/2008 ricadente all'interno della fase parossistica avvenuta sull'Etna il 10 Maggio 2008 caratterizzata da fontane di lava non visibile a occhio nudo da Catania a causa di condizioni meteo avverse e copertura nuvolosa consistente.

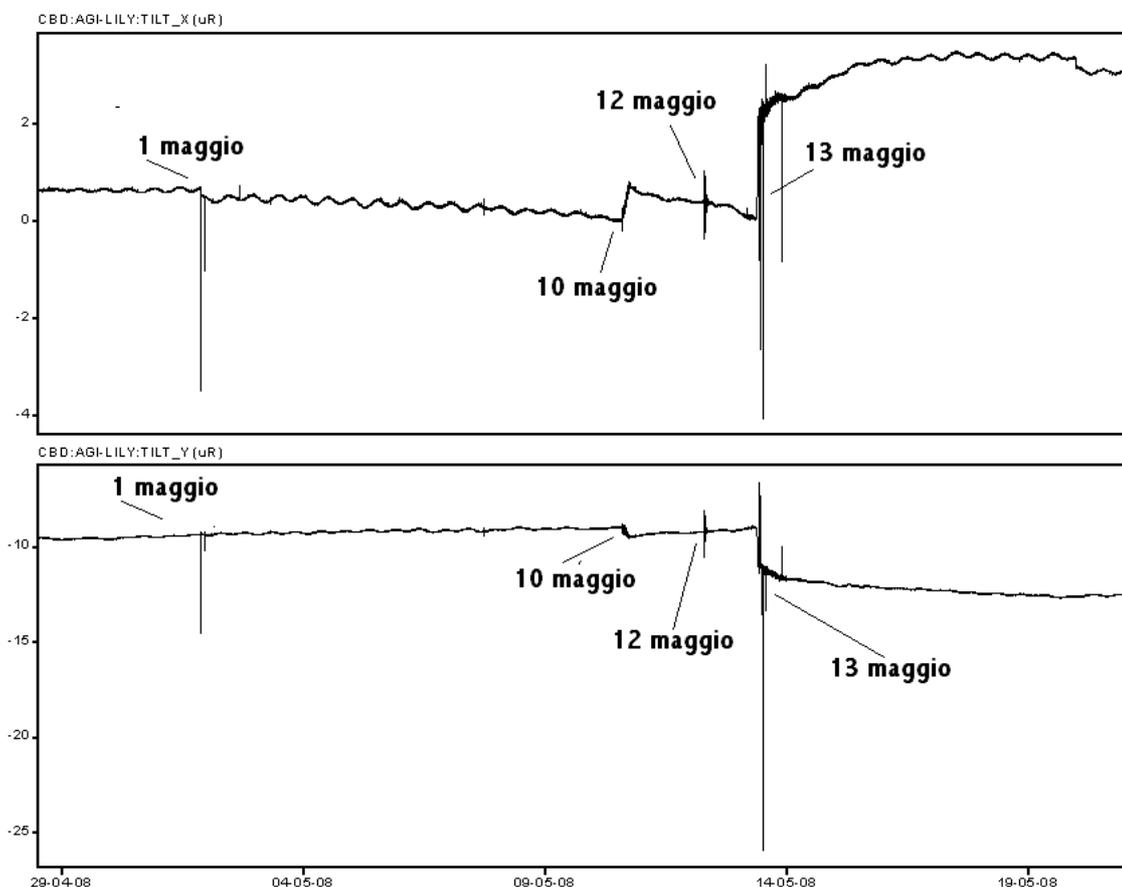


Figura 14 Segnale clinometrico di CBD per il periodo 28/04 – 21/05/2008.

1^a finestra: valore in microRadianti dell'asse X del clinometro.

2^a finestra: valore in microRadianti dell'asse Y del clinometro

Durante questo periodo sono state notificate correttamente gli eventi deformativi accorsi sull'Etna, inviando in tempo reale le segnalazioni di allerta via email ed SMS.

L'evento deformativo cosismico del primo maggio 2008 è relativo all'effetto dello sciame di oltre 80 eventi sismici localizzato a 6-9 Km a sud-ovest di Linguaglossa nell'area di Piano Provenzana lungo la Faglia della Pernicana. Di questo sciame l'evento di maggiore magnitudine ha prodotto la variazione più visibile nel grafico [Gambino et al.2008].

L'evento del 10 maggio rappresenta l'inizio della nuova eruzione parossistica al Cratere di SE (CSE) dell'Etna caratterizzata da alte fontane di lava. Purtroppo a causa della consistente presenza di nubi non fu possibile effettuare osservazioni visive attendibili dalle telecamere di sorveglianza dell'INGV presenti sul luogo. L'evento fu preceduto da un innalzamento del tremore vulcanico registrato dalla rete sismica etnea. [Andronico et al.2008]. In questo caso, grazie alla immediata allerta che il sistema generò, venne rilevato immediatamente l'evento deformativo in atto.

L'evento deformativo del 12 maggio è stato causato dalla scossa di terremoto di magnitudo 7,8 gradi della scala Richter che ha colpito la regione dello Sichuan, nel sud-ovest della Cina.

L'evento deformativo del 13 maggio 2008 è relativo ad uno sciame sismico localizzato presso i crateri centrali dell'Etna (Valle del Leone). L'analisi successiva dei vettori spostamento e delle variazioni di inclinazione del suolo rivelate dalla rete GPS e clinometrica hanno mostrato che la deformazione fu dovuta una intrusione localizzata in area sommitale [Puglisi et al.2008].

Nella fig. 15 sono rappresentati i rapporti STA/LTA relativi ai due assi clinometrici. Dal confronto tra i grafici si nota il differente valore di fondoscala del rapporto STA/LTA causato dalla posizione geografica della sorgente deformativa che influenza in maniera differente gli assi clinometrici disposti in maniera ortogonale (vedi fig. 1) tra di loro.

Dal grafico si nota anche una oscillazione nel periodo 1-10 maggio visibile in maniera più netta sull'asse X: l'analisi spettrale evidenzia la presenza di una componente *semidiurna* principale localizzata a circa $2.238E-5$ Hz = 1.93 cycle per day (vedi fig. 16, 1^a fin.) che si attenua notevolmente in altri periodi (vedi fig. 16, 2^a fin.): tuttavia l'analisi spettrale del segnale di origine di fig. 15 non mostra, negli stessi periodi, variazioni significative d'ampiezza del picco (vedi fig. 17).

Reiterate elaborazioni effettuate su differenti campioni di STA/LTA (4minuti/20minuti, 15 minuti/60 minuti, 1 minuto/60 minuti) ad intervalli costanti di 4 giorni non modificano la posizione in frequenza del picco, dovuta probabilmente alla modalità di calcolo effettuata sul segnale clinometrico (rapporti delle medie a corto e lungo periodo).

Il programma esegue un controllo del superamento del valore di soglia STA/LTA, e se se la condizione:

$$|(STA/LTA-1)| > 0.1$$

è vera su uno dei due canali, viene generato il messaggio di allerta.

Nel grafico di fig. 15, 1^a fin. si nota che nell'asse X clinometrico in concomitanza con gli eventi deformativi (compresi i terremoti) la condizione $|(STA/LTA-1)| > 0.1$ sia sempre soddisfatta.

Con periodi di osservazioni più lunghi è possibile comunque affinare la soglia di trigger, per rendere il sistema più o meno sensibile alle variazioni repentine di segnale.

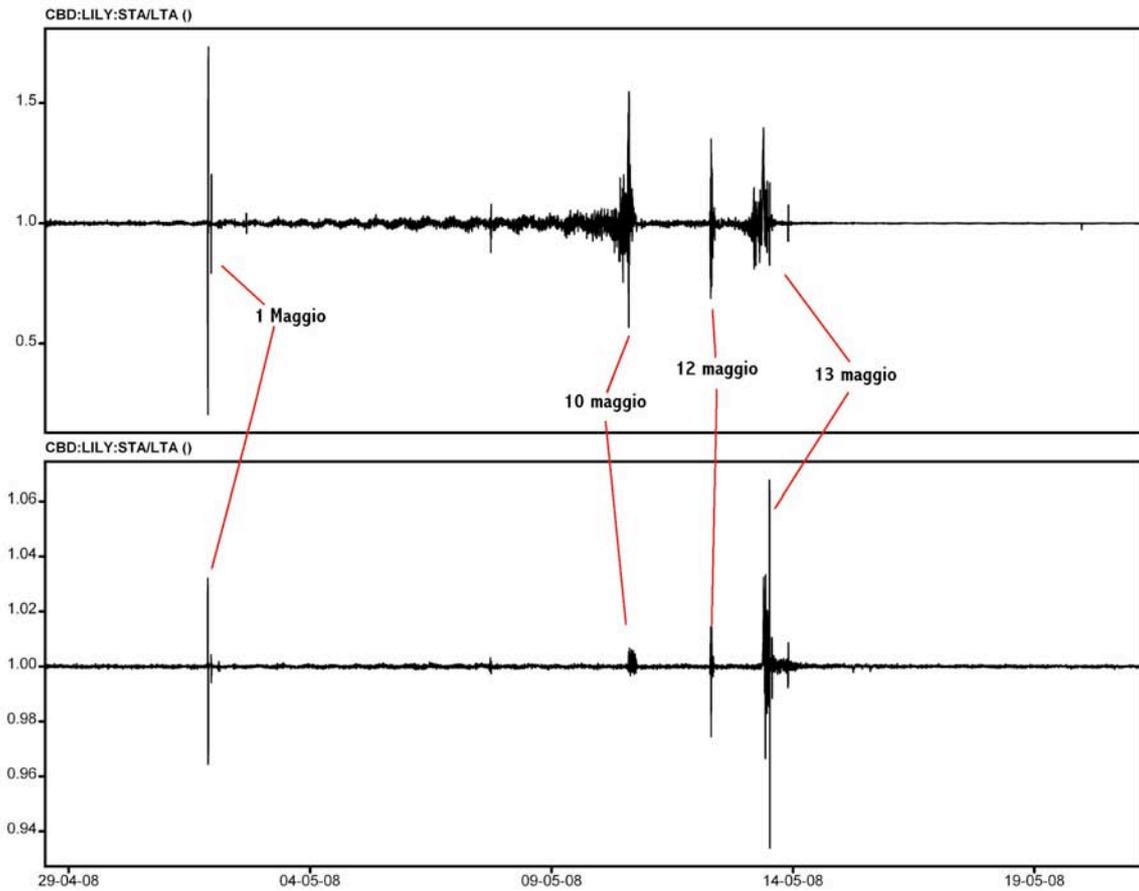


Figura 15 Andamento del rapporto STA/LTA (10 minuti/20 minuti) sui segnali di fig. 14.
 1^a finestra: asse x
 2^a finestra: asse y

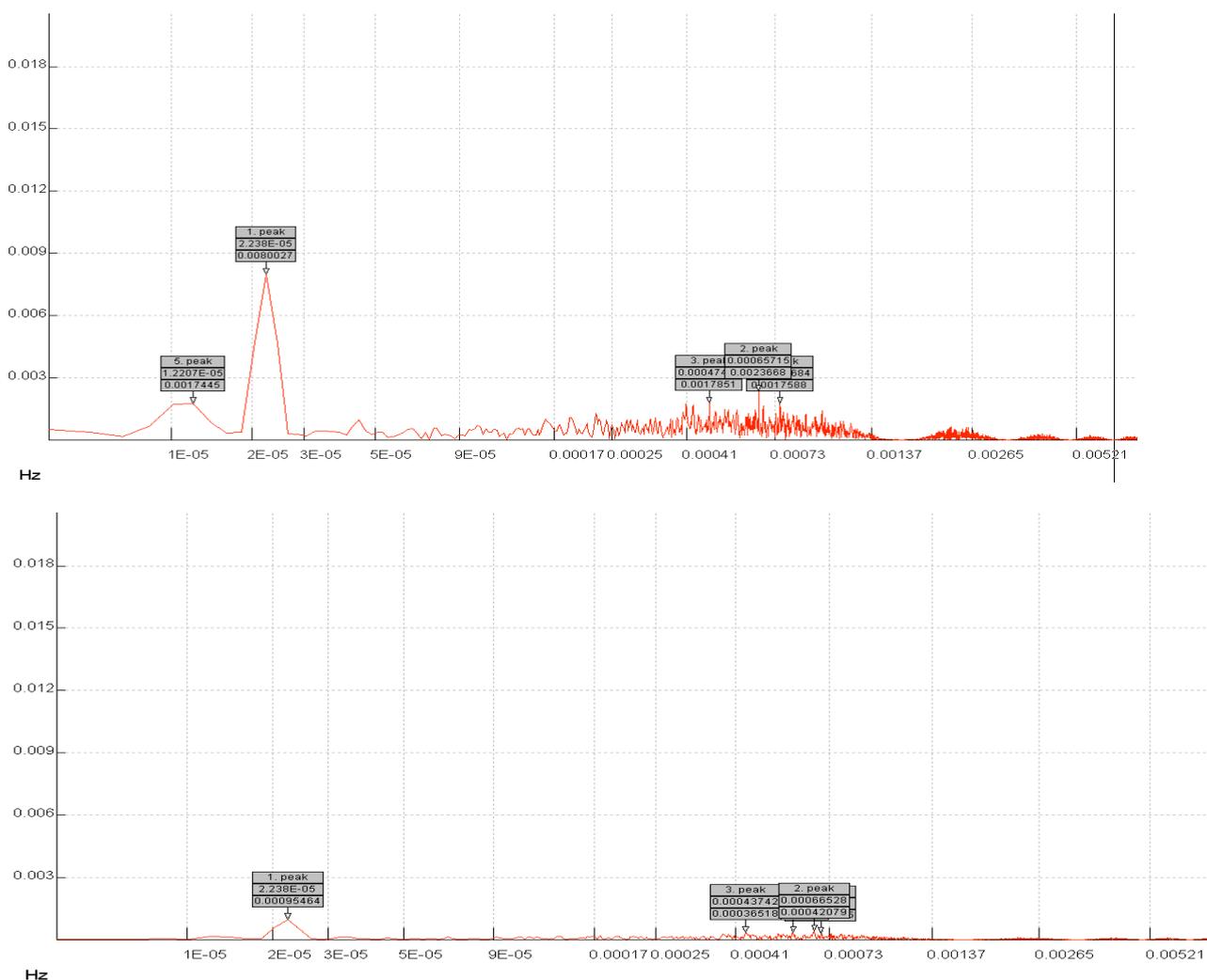


Figura 16 Analisi spettrale del segnale di fig. 15 differenti finestre temporali.

Ascisse : valori in Hz visualizzati in formato logaritmico.

Ordinate: Magnitudine intesa come $\sqrt{R^2 + I^2}$. Valori di fondoscala identici.

1^a finestra: periodo 3-7 maggio (4 giorni).

2^a finestra: periodo 13-17 maggio (4 giorni).

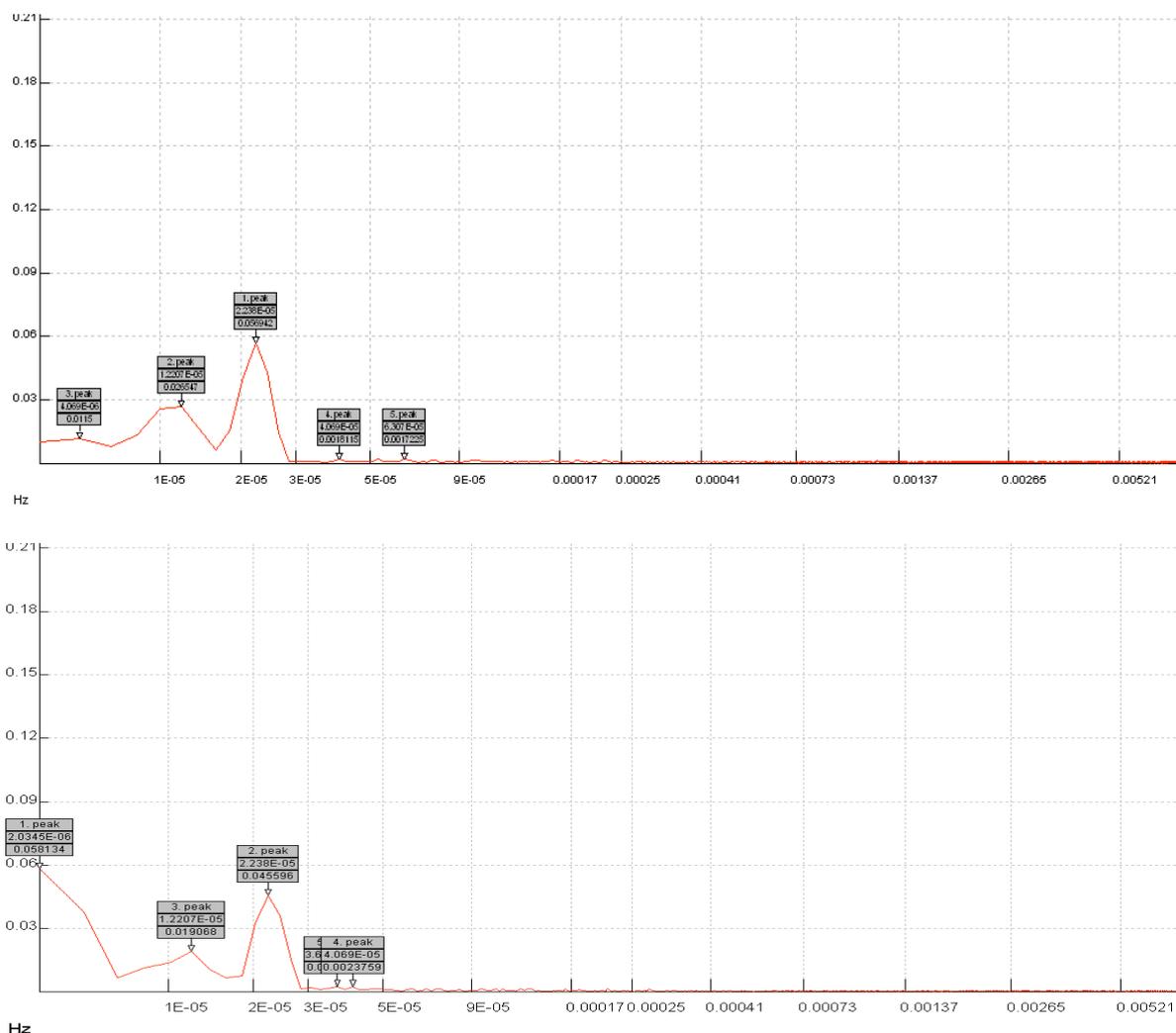


Figura 17 Analisi spettrale del segnale di fig. 14 su differenti finestre temporali.

Ascisse : valori in Hz visualizzati in formato logaritmico.

Ordinate: Magnitudine intesa come $\sqrt{R^2 + I^2}$. Valori di fondoscala identici.

1^a finestra: periodo 3-7 maggio (4 giorni).

2^a finestra: periodo 13-17 maggio (4 giorni).

Conclusioni

Come accennato sopra, questo metodo di rilievo e notifica delle deformazioni del suolo può essere implementato unicamente sui segnali delle stazioni di nuova generazione installate a profondità maggiori di 10 m e grazie alla semplicità intrinseca del segnale clinometrico che non necessita di complesse operazioni matematiche di trattamento off-line, il sistema ha delle notevoli potenzialità di attendibilità e velocità di notifica.

Implementando la verifica di superamento soglia STA/LTA su segnali di sensori installati a quota più alta dell'edificio vulcanico, porterebbe alla immediata notifica di eventi deformativi in area sommatile dovuti ad intrusione di magma.

Associando la segnalazione deformativa con altri tipo di sistemi di allerta come quello degli eventi sismici e delle immagini provenienti dalle telecamere di monitoraggio dell'INGV, si otterrebbe un quadro più chiaro della situazione in atto sul vulcano in caso di crisi sismiche.

Grazie alla versatilità di invio, la segnalazione può essere notificata in un quadro sinottico, veicolata tramite email o direttamente nella casella postale degli interessati o via SMS sfruttando la rete GSM.

Un altro fattore importante è l'immediatezza della segnalazione di avvenuto superamento della soglia di trigger che nella peggior delle ipotesi è di circa venti minuti: la notifica successiva inviata via email è immediata mentre quella sul canale GSM può dipendere dall'intasamento della rete e dalla priorità che il gestore impone al servizio (gratuito).

Sin dalla sua prima implementazione, nel marzo 2008, il sistema ha sempre rivelato e notificato sia gli eventi lontani particolarmente energetici sia quelli locali dovuti ad intensa attività di deformazione del suolo.

Ringrazio il responsabile di settore Clinometria ed Estensometria Dr. **Salvatore Gambino** per il supporto morale datomi durante la stesura di questo rapporto e quanti hanno dato il loro contributo all'installazione del nuovo clinometro di Case Bada (O. Campisi, G. Falzone, G. Ludani, B. Saraceno).

Per l'invio del file sorgente o per ottenere ulteriori informazioni contattare l'autore del presente report all'indirizzo ferro@ct.ingv.it.

Bibliografia

Orazio Campisi, A. Carnazzo, Giuseppe Falzone, A. Ferro, Salvatore Gambino, Giuseppe Laudani, Benedetto Saraceno, (2008). Installazione nell'area etnea di un clinometro digitale in foro profondo 30 metri. Rapporto tecnico INGV, n 56.

Salvatore Gambino, Orazio Campisi, Giuseppe Falzone, Angelo Ferro, Giuseppe Laudani, Benedetto Saraceno, (2008). Deformazioni co-sismiche registrate dalla rete clinometrica durante la sciame del 1-2 maggio 2008 nell'area della Pernicana.. Comunicato INGV - Prot. int. n° UFDG/RA 2008/07.

Orazio Campisi, Giuseppe Falzone, Angelo Ferro, Salvatore Gambino, Giuseppe Laudani, Benedetto Saraceno (2008). Installazione a Stromboli di un clinometro LILY in foro profondo (-28 m). Rapporto interno UFDG - Prot. int. n° UFDG/RA 2008/14.

G. Puglisi, S. Gambino, M. Mattia, M. Alois,(2008). Monitoraggio Geodetico delle Deformazioni del suolo all'Aggiornamento 14 maggio 2008 – 09:00. Comunicato INGV - Prot. int. n° UFDG/RA 2008/08.

Daniele Andronico- Mauro Coltelli - Antonio Cristaldi – Deborah Lo Castro - Simona Scollo, (2008). - Il parossismo del 10 maggio 2008 al Cratere di SE: caratteristiche del deposito di caduta - Comunicato INGV - Prot. int. n° UFVG2008/043.

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Wenzel - Eterna 3.4 - earth tide data processing package eterna - Black Forest Observatory.

User's manual: "LILY Self-levelling Borehole-Tiltmeter" released by Applied Geomechanics.

User's manual: "Model 722 – Borehole tiltmeter" released by Applied Geomechanics.

Radio Mobile – versione 9.0.5 – Radio propagazione e mappatura virtuale freeware VE2BDE.

TSoft – ver. 2.1.2 – Royal Observatory of Belgium.

Van Camp, M. and Vauterin P., 2005: Tsoft: graphical and interactive software for the analysis of time series and Earth tides. Computers & Geosciences, 31, 631-640.

C. Braitenberg , B. Grillo, I. Nagy , S. Zidarich , A. Piccin (2007).La stazione geodetico-geofisica ipogea del bus de la genziana - pian consiglio. Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan". Vol 41, pag.105,120

www.vodafone.it

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2008 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