



HAL
open science

Deformazioni del suolo: dati G.P.S. della rete clinometrica dell'I.P.G.P.

Pierre Briole, Giuseppe Nunnari, Giuseppe Puglisi

► **To cite this version:**

Pierre Briole, Giuseppe Nunnari, Giuseppe Puglisi. Deformazioni del suolo: dati G.P.S. della rete clinometrica dell'I.P.G.P.. Bolletino del Gruppo Nazionale di Vulcanologia, 1989. hal-04298911

HAL Id: hal-04298911

<https://hal.science/hal-04298911v1>

Submitted on 21 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N. N

DEFORMAZIONI DEL SUOLO: DATI G.P.S. E DELLA RETE CLINOMETRICA DELL'I.P.G.P.

P. Briole (1), G. Nunnari (2), G. Puglisi (2)

1) *Institute de Physique du Globe, Parigi*

2) *Istituto Internazionale di Vulcanologia, Catania*

1. Introduzione

Durante il biennio 1986-88 sono state condotte alcune iniziative concernenti l'applicazione di nuove tecnologie allo studio delle deformazioni lente del suolo all'Etna. Particolare attenzione è stata rivolta alle possibili applicazioni del Sistema G.P.S., attualmente in fase di avanzata sperimentazione anche in altri centri di ricerca, ed alle tecnologie di misura del tilt con sensori a pendolo orizzontale. A margine di quest'ultima attività, si è inoltre proceduto, in alcuni siti, all'installazione e misurazione di piccole reti geodetiche, misurate con tecniche congiunte di trilaterazione e triangolazione, che si sono mostrate particolarmente utili nel 1989, anche al di fuori dell'ambito del semplice controllo del tilt (scopo per il quale queste erano state inizialmente realizzate).

Nel corso dell'ultimo anno è stata effettuata la misura di una parte della rete G.P.S. già misurata nel 1988 e la prevista manutenzione della rete clinometrica installata nel 1986-87, a cui si è associata la ripetizione delle misure di alcune delle reti geodetiche di cui si è detto sopra. In questo rapporto si presenteranno i risultati dell'attività del 1989, con particolare riferimento agli eventi eruttivi verificatisi durante il settembre-ottobre.

2. G.P.S.

Nel maggio 1988 era stata realizzata una rete geodetica, misurata con la tecnica G.P.S. (Global Positioning System; G.P.S.) (Fig.1). I risultati di quella prima esperienza sono stati presentati in BRIOLE P. et al. (1988 a,b), nei quali sono stati inoltre illustrati i vantaggi dell'uso di questo tipo di tecnica nello studio delle deformazioni lente del suolo in aree vulcaniche attive.

Sulla base degli incoraggianti risultati ottenuti, particolarmente in termini di precisione del metodo, si è proceduto, nell'agosto-settembre 1989, alla ripetizione delle misure della rete. Purtroppo, la disponibilità di due soli ricevitori (in luogo dei tre utilizzati durante la campagna del 1988), e l'impossibilità di poter occupare, con un ricevitore, più di un sito durante una giornata, ha comportato la riduzione del numero di lati da misurare. Si è quindi deciso di procedere alla determinazione delle linee basi facenti parte della porzione più settentrionale della rete, per un totale di 10 lati (rispetto ai 17 misurati nell'88). Inoltre, a differenza della precedente esperienza del 1988, durante la quale sono stati utilizzati dei TR52 della SÉRCÉL, nella recente campagna è stato possibile sperimentare una coppia di TRIMBLE 4000 SL, monofrequenza.

Le misure sono state eseguite in dieci giorni, tra il 21 agosto e l'1 settembre. In questo periodo dell'anno, la migliore visibilità dei satelliti si aveva mediamente tra le 05:30 e le 09:30 GMT. Infatti, solo durante questa fascia oraria erano visibili contemporaneamente un numero di satelliti variabile da 3 a 5, come è possibile vedere ad esempio in Tab.1, nella quale è stata riportata la previsione della visibilità dei satelliti

il 21 agosto. Le sessioni di misura sono state in genere 4 (Tab 2) organizzate in modo da seguire i satelliti il più possibile nel loro percorso. Anche se, come noto, nel posizionamento statico i migliori risultati si raggiungono utilizzando cinque satelliti, si è voluta verificare la possibilità di utilizzarne quattro o addirittura tre, variando opportunamente la frequenza di sincronizzazione e la durata delle sessioni (ad esempio vedi le sessioni 3 e 4; Tab.2). Inoltre, nella programmazione delle varie sessioni di misura, si è anche tenuto conto del parametro PDOP (Position Dilution of Precision) che fornisce una stima "a priori" del potenziale errore di posizionamento, sulla base della geometria del sistema satelliti-ricevitori. Una determinata configurazione è ritenuta tanto migliore quanto più basso è il valore di tale parametro. In ultimo, al fine di verificare l'esistenza di eventuali ostacoli nella visibilità dei satelliti, sulla base di dati tipo quelli di Tab.1, sono stati realizzati appropriati diagrammi polari del tipo mostrato in Fig. 2.

TAB.2 : Programmazione delle sessioni di misura (S)

DUR. = Durata in ore e minuti

N = Numero di satelliti utilizzati

F = Frequenza di acquisizione in secondi

SESSIONI NOME DELLA LINEA BASE	S. 1			S. 2			S. 3			S. 4		
	DUR.	N	F	DUR.	N	F	DUR.	N	F	DUR.	N	F
R.CA BELLIA - M.GNA GRANDE	1:00	5	5	1:00	5	5	1:00	5	5	*****	*	*
R.CA BELLIA - G.TA DEI LAMPONI	1:00	5	5	1:00	5	5	1:00	4	2	1:00	3	2
G.TA LAMPONI - M.GNA GRANDE	1:00	5	5	1:00	5	5	1:00	4	2	1:00	3	2
G.TA DEI LAMPONI - RIF. CITELLI	1:00	5	5	1:15	5	5	0:45	4	2	1:00	3	2
M.GNA GRANDE - RIF. CITELLI	1:00	5	5	1:15	5	5	0:45	4	2	1:00	3	2
OSSERVATORIO - M.GNA GRANDE	1:00	5	5	1:15	5	5	0:55	4	2	1:05	3	2
R.CA BELLIA - OSSERVATORIO	1:00	5	5	1:15	5	5	0:50	4	2	1:10	3	2
OSSERVATORIO - G.TA DEI LAMPONI	1:00	5	5	1:15	5	5	1:00	4	2	1:00	3	2
OSSERVATORIO - RIF. CITELLI	1:00	5	5	1:30	5	5	1:45	3	5	*****	*	*

L'elaborazione delle sessioni di misura è stata effettuata utilizzando un software (TRM640) distribuito dalla TRIMBLE. I dettagli circa i criteri adottati nell'elaborazione e nella scelta tra i risultati ottenuti dalle varie sessioni, sono riportati in NUNNARI e PUGLISI (1989). In Tab. 3 vengono pertanto riportati i risultati finali, unitamente ai valori delle stesse distanze determinate durante la campagna del maggio 1988. Le differenze tra le due campagne (in cm ed in ppm) sono riportate nelle ultime due colonne della stessa Tab. 3.

TAB.3 : Confronto tra le distanze del 1988 e quelle del 1989

NOME DELLA LINEA BASE	DIST. '88 (m)	DIST. '89 (m)	DIFF. (m)	DIFF. ppm
ROCCA BELLIA - M.GNA GRANDE	24672.944 ± .022	24672.947 ± .050	-.003	- 0.1
ROCCA BELLIA - G.TA DEI LAMPONI	13048.179 ± .019	13048.264 ± .027	+0.085	+ 6.5
G.TA DEI LAMPONI - M.GNA GRANDE	20628.196 ± .020	20628.093 ± .042	-.103	- 5.0
G.TA DEI LAMPONI - RIF. CITELLI	7384.751 ± .014	7384.839 ± .016	+0.088	+ 11.9
M.GNA GRANDE - RIF. CITELLI	22880.402 ± .019	22880.259 ± .047	-.143	- 6.2
OSSERVATORIO - M.GNA GRANDE	24725.212 ± .020	24725.147 ± .050	-.065	- 2.6
ROCCA BELLIA - OSSERVATORIO	17793.113 ± .020	17793.173 ± .037	+0.060	+ 3.4
OSSERVATORIO - G.TA DEI LAMPONI	5807.368 ± .013	5807.392 ± .013	+0.024	+ 4.1
OSSERVATORIO - RIF. CITELLI	4052.878 ± .005	4052.921 ± .009	+0.043	+ 10.6

I confronti '88-'89 sono inoltre riportati sulla carta della rete di Fig. 3. Da questa, e dalla stessa Tab. 3, è possibile fare le seguenti considerazioni:

- a) Le variazioni osservate sulla distanza Rocca Bellia - Montagna Grande sono ampiamente entro l'errore di misura e pertanto tale distanza è da ritenere invariata;

- b) I lati che collegano tra loro i tre caposaldi ubicati sull'alto fianco nord-orientale del vulcano sono tutti in allungamento;
- c) I lati che collegano i caposaldi ubicati sul vulcano con il riferimento di Montagna Grande sono tutti in accorciamento;
- d) I lati che collegano i caposaldi ubicati sul vulcano con il riferimento di Rocca Bellia sono tutti in allungamento;

Ciò porta a concludere che l'area sommitale ha subito una dilatazione tra il maggio '88 e l'agosto '89, unitamente ad un movimento verso Nord-Est. Tali considerazioni saranno riprese oltre anche sulla base degli altri dati forniti dalle reti clinometriche.

3. Dati Clinometrici e Geodetici

Tra l'ottobre 1986 ed il maggio 1987 sono state installate nove stazioni per il rilevamento automatico del tilt, basate su una tecnologia ideata da P.A. Blum (BLUM, 1963) che utilizza come sensori dei pendoli orizzontali di silicio, artigianalmente costruiti presso i laboratori dell'I.P.G.P. Le stazioni, ubicate laddove possibile entro grotte vulcaniche, coprono una fascia altimetrica compresa tra gli 800 ed i 2950 m s.l.m., anche se la maggior parte di queste (sei) si trovano a quote comprese tra i 1400 ed i 1800 m (Fig.1). Dopo tre anni di sperimentazione, è possibile affermare che i risultati fin qui ottenuti sono soddisfacenti, sia dal punto di vista tecnico (cfr. ad esempio BRIOLE et al., 1989 a), sia per quanto concerne le informazioni utili alla ricerca vulcanologica, come è stato possibile verificare anche durante la recente attività eruttiva del settembre-ottobre 1989 (BRIOLE et al., 1989c). Va tuttavia precisato che tre stazioni (LIN, TDL ed SLN), proprio durante l'ultimo anno, hanno attraversato vicissitudini tali da averne pregiudicato la continuità delle registrazioni. Nella prima va segnalato un guasto al sensore di una delle due componenti, verificatosi in marzo dell'89. TDL durante l'anno ha presentato diversi problemi al sistema di trasmissione non eliminati prima della sua definitiva disinstallazione, nel settembre '89, determinata dall'attività del Cratere di SE. La stazione di SLN, come già anticipato in BRIOLE et al. (1989b), è stata riposizionata altrove (Grotta degli Archi: ARC), il 23 maggio. Purtroppo anche questo luogo è stato oggetto di atti di vandalismo che ne hanno sconsigliato l'uso per qualche tempo. In definitiva, nel presente rapporto verranno presentati i segnali relativi a sei delle nove stazioni della rete (Figg. 4÷9).

Nell'ottobre 1987, in corrispondenza di tre siti della rete (TRE, NUN, LAM), sono state installate e misurate delle piccole reti geodetiche con una geometria approssimativamente a croce, aventi i bracci di circa 2 km (Fig. 1). Le reti sono state misurate con tecniche congiunte di trilaterazione e triangolazione e, al fine di fornire una determinazione delle quote sufficientemente precisa, è stata utilizzata la tecnica della livellazione trigonometrica di precisione. Al centro di ogni croce, ed anche all'estremità dei bracci a NUN, sono stati inoltre materializzati dei tradizionali "anelli" di livellazione per la misura del "dry-tilt" su un'area di pochi mq. Nel complesso, l'insieme di queste reti avrebbe dovuto fornire un controllo del tilt misurato da ciascuna stazione (BRIOLE et al., 1988a). In occasione del recente evento eruttivo del settembre-ottobre '89 si è avuta la fortunata coincidenza che la frattura apertasi sul fianco meridionale ha attraversato la rete di TRE. Ciò ha fatto sì che tali reti abbiano fornito anche delle preziose informazioni sul campo di deformazione del "near field" della frattura, che sono state presentate e commentate in BRIOLE et al. (1989c,d).

In Tab.4 sono riportati gli spostamenti dei caposaldi delle reti di TRE e NUN. In entrambi i casi questi sono stati calcolati relativamente ad un punto e ad una direzione ipotizzati come stabili, rispettivamente il caposaldo 41 e la direzione 41-21, per TRE, e 31, 31-12, per NUN.

4. Attività del settembre-ottobre

Di seguito si presenteranno alcune considerazioni relative all'evento di fratturazione che ha interessato il fianco sud-orientale del vulcano, sulla base di quelli che sono i dati fin qui presentati. Si farà particolare riferimento alla porzione della frattura ubicata a

quote più basse. Per maggiori dettagli sulle analisi che seguiranno si rinvia ai lavori specifici (BRIOLE et al. 1989 c,d).

Tab. 4: Spostamenti (in cm) misurati nelle due reti grandi di dry-tilt, tra il novembre 1987 e l'ottobre 1988

CAPOS.	SPOSTAMENTI MISURATI		
	dx	dy	dz
TRE 41	-----	-----	-----
21	2.3	2.3	- 1.1
11	- 23.7	- 21.0	2.8
33	56.3	27.1	14.9
52	- 7.6	- 4.8	2.4
NUN 31	-----	-----	-----
12	0.0	0.0	0.1
22	1.6	0.0	1.1
41	- 0.3	0.3	- 0.1
51	- 1.1	0.4	0.9

Pur con la necessaria cautela, dettata dal fatto che i dati che vengono riportati in Tab.4 si riferiscono a "reti libere", è tuttavia interessante osservare che le maggiori deformazioni nella rete di TRE sono a carico dei due caposaldi (11 e 33) più prossimi alla fascia di fratturazione osservata al suolo, mentre in quelli più lontani le variazioni delle coordinate, particolarmente quelle planimetriche, sono da cinque a sette volte più piccole. In definitiva sembrerebbe che, su distanze dell'ordine delle centinaia di metri (500 ÷ 1000) il campo di deformazione, nell'area della frattura meridionale, si attenui di un fattore cinque. Questo forte gradiente induce a ritenere una profondità limitata della sorgente che ha determinato il campo.

Una prima conferma a tale considerazione si evince dai risultati dell'applicazione di un modello di dislocazione formulato da OKADA (1985), utilizzando i dati di Tab.4. Questo indica una profondità della frattura di circa 300 m, calcolata in corrispondenza di un punto baricentrico avente coordinate UTM 502.60, 4173.00 e quota 1800 m s.l.m. (BRIOLE et al. 1989). L'inversione dei dati fornisce inoltre la semilunghezza, la direzione e l'inclinazione della frattura, che rappresentano gli altri parametri del problema, e che risultano rispettivamente 1 Km, 153° e 90°.

Evidentemente, tale modello non fornisce un'interpretazione dell'intero campo di frattura che, come noto, inizia in prossimità del Cratere di SE (quota 3000 c.a) e termina a 1400 m s.l.m., ma solo degli ultimi due Km, posti alle quote più basse. D'altra parte, questo tratto di frattura, compresa tra l'orlo meridionale della Valle del Bove (cresta Schiena dell'Asino - Serra del Salfizio) e Piano della Lepre, sembra aver presentato caratteristiche e forse condizioni strutturali di apertura differenti da quella posta alle quote superiori (BRIOLE et al., 1989c; BONAFEDE e GRESTA, 1989) e quindi legittimerebbe una sua analisi in qualche modo svincolata da quella relativa alla frattura di Piano del Lago ed alta Valle del Bove. Tuttavia, il modello non consente, al momento, di giungere a conclusioni definitive sull'origine del campo di stress che ha dato luogo alla frattura, poichè l'analisi effettuata prende in considerazione solo i parametri cinematici (spostamenti) del problema e non quelli dinamici (forze). Ulteriori approfondimenti in tale direzione sono tuttora in atto.

Oltre ai dati di carattere geodetico, sono particolarmente interessanti le informazioni fornite dalla registrazione del tilt alla stazione di TRE, anche se la precisione temporale di tali dati non può scendere al di sotto delle tre ore determinate dalla frequenza di campionamento della stazione. Questa si trova circa 300 m ad est dell'asse della frattura. Osservando il grafico relativo al periodo 26 settembre - 11 ottobre (Fig. 11), che comprenda quindi l'apertura della frattura, e procedendo al calcolo dei corrispondenti vettori di tilt (Fig. 12), si osserva che l'evoluzione della frattura è stata caratterizzata da almeno tre fasi:

- a) tra le 23:30 dell'1 ottobre e le 02:30 del giorno successivo si inizia a registrare una brusca variazione del tilt avente un vettore di 38 μ rad, orientato secondo NE-SW, con sollevamento a NE (vettore n. 1).
- b) tra le 02:30 e le 14:30 del 2 ottobre, i vettori di tilt variano nel tempo la propria orientazione, muovendosi in senso orario, di quasi 180°, e con moduli relativamente contenuti (8 ÷ 40 μ rad).
- 4 c) tra le 17:30 del 2 ottobre e le 08:30 del giorno successivo i vettori di tilt invertono il loro senso di movimento, che diventa così antiorario, ruotando di 90° a NW, ma con moduli da 2.5 a 18 volte più elevati di quelli registrati in precedenza.

Questo comportamento potrebbe trovare una sua spiegazione nel fatto che alle fasi a) e b) corrispondono tappe in cui il fronte di fratturazione non aveva ancora del tutto attraversato il mezzo alla quota in cui si trova la stazione, mentre la fase c) sarebbe relativa ad istanti in cui il fronte viene a trovarsi a valle di tale punto e durante i quali, quindi, il mezzo, completamente fratturato, subirebbe gran parte delle deformazioni, non più in campo elastico. Le considerazioni deducibili dai dati clinometrici trovano riscontro nelle osservazioni effettuate sul terreno, in concomitanza all'apertura delle fratture al suolo. In particolare da tali osservazioni risulta evidente la transizione tra le fasi b) e c).

Relativamente ai dati clinometrici registrati nel 1989, va sottolineato che altre stazioni, oltre a quella di TRE, indicano un sollevamento dell'area sommitale. L'entità e l'inizio delle variazioni riscontrate verranno comunque precisati in un prossimo lavoro, in quanto l'elaborazione dei dati è ancora in corso. Tale sollevamento, confermato per altro anche da misure di dry-tilt, potrebbe essere collegato ad un aumento di volume e/o di pressione del magma nei condotti di alimentazione dei crateri sommitali, a profondità non inferiori ai 2 Km, data l'estensione del campo di deformazione (BRIOLE et al. 1989d).

A tale fenomeno, inoltre andrebbero collegate le osservazioni effettuate sull'attività dei crateri sommitali, che sembrerebbero presentare una variazione in intensità dei fenomeni a partire dalla tarda primavera (SEAN Bull.), ed i dati forniti dalle misure GPS, sopra riportate, che confermerebbero l'esistenza, tra il maggio '88 e l'agosto '89, di un rigonfiamento delle parti sommitali del vulcano.

5. Conclusioni

Nel presente rapporto sono stati riportati i risultati dell'attività svolta durante il 1989. Questi confermerebbero la validità delle tecnologie sperimentate durante l'ultimo triennio, nello studio delle deformazioni lente del suolo.

In particolare, l'attività eruttiva presentata dal vulcano durante quest'ultimo anno ha fornito l'occasione di sottoporre tali tecnologie ad una verifica sperimentale.

L'insieme dei risultati raccolti, che sono stati presentati e brevemente commentati in questo rapporto, concorre a formulare un unico quadro dei fenomeni deformativi verificatisi sul vulcano, qui di seguito riassunto.

Durante la primavera, ha avuto inizio un fenomeno di rigonfiamento dell'edificio vulcanico, a cui sareebbero da attribuire le variazioni dei lati della rete GPS ed il sollevamento indicato dai dati tiltmetrici. Al momento non è possibile definire con maggiore esattezza i tempi, l'entità e l'estensione areale di tale fenomeno. Una risposta a questi punti sarà data dopo un'attenta analisi dei segnali clinometrici (BRIOLE et al. 1989 a,c), integrata dalle informazioni geodetiche, particolarmente quelle relative ai dry-tilt ed alla rete GPS (BRIOLE et al. 1989c; NUNNARI e PUGLISI, 1989). Tale rigonfiamento sembra essere culminato con l'attività del settembre-ottobre, caratterizzata

da fasi eruttive ai crateri sommitali e sull'alto fianco nord-orientale, accompagnati da importanti fenomeni di fratturazione. Particolarmente questi ultimi potrebbero così rappresentare la risposta locale ad un campo di stress applicato invece all'intera struttura vulcanica, sin dalla primavera. Quest'ultima considerazione ben si accorderebbe con alcuni modelli proposti all'interpretazione di tale fenomeni da BONAFEDE e GRESTA (1989).

Bibliografia

BLUM P.A. (1963). Contribution à l'étude des variations de la pesanteur en un lieu. *Ann. Geophys.*, 19, 3, 215-243.

BONAFEDE M., GRESTA S. (1989). Modelli interpretativi degli eventi di frattura all'Etna durante l'eruzione del 1989. *Boll. GNV-CNR*, in stampa.

BRIOLE P., GAULON R., NUNNARI G., PUGLISI G., RUEGG J.C. (1988a). Measurement of ground movement on Mt. Etna, Sicily: A systematic plan to record different temporal and spatial component of ground movement associated with volcanism; *Proc. in Volcanol.*, vol.3, in stampa.

BRIOLE P., NUNNARI G., PUGLISI G., RUEGG J.C. (1988b). Misure GPS sul Mt. Etna: risultati della prima campagna. *Atti del 7° Conv. GNGTS*, in stampa.

BRIOLE P., FORTUNA L., NUNNARI G., PUGLISI G. (1989a). Misure clinometriche con pendoli orizzontali (Etna): risultati dei primi tre anni di attività. *Boll. GNV-CNR*, in stampa.

BRIOLE P., GAULON R., NUNNARI G., PUGLISI G., RUEGG J.C. (1989b). Dati GPS, clinometrici (reti IPG) e di livellazione. I.I.V.-C.N.R., *Boll. Attività Etna 1988*, Catania.

BRIOLE P., NUNNARI G., PUGLISI G. (1989c). Attività dell'Etna del settembre-ottobre 1989: dati di clinometria e triangolazione. *Boll. GNV-CNR*, in stampa.

BRIOLE P., NUNNARI G., PUGLISI G., MURRAY J.B. (1989d). The 1989 September-October eruption of Mt. Etna (Italy) - Some quantitative information obtained by geodesy and tiltmetry. *C. R. Ac. Sc. Paris*, in stampa.

NUNNARI G. e PUGLISI G. (1989). Misure GPS nell'area etnea: risultati della campagna 1989. *Boll. GNV-CNR*, in stampa.

OKADA Y. (1985). Surface deformations due to shear and tensile faults in half-space. *Bull Seism. Am.*, n.75, 1135-1154.

S.E.A.N. Bulletin, vol.14, n.10, 16÷26.

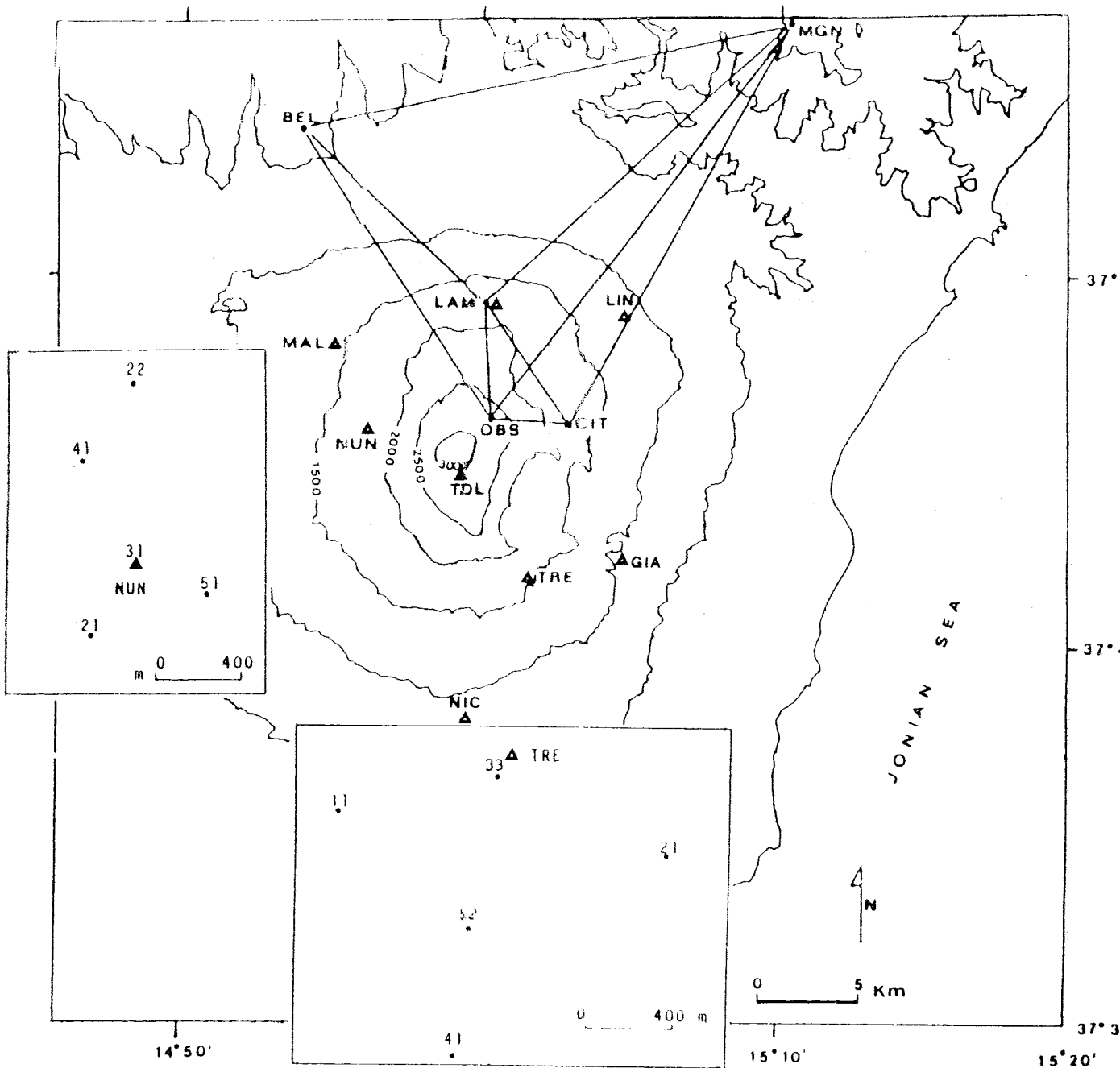


Fig. 1: Carta dell'area etnea con l'ubicazione delle stazioni clinometriche, della rete GPS rimisurata nell'agosto '89 e della geometria di due reti grandi di dry-tilt, localizzate in corrispondenza delle stazioni di TRE e NUN.

ETNA (Cratere Centrale)
 Latitude: N 37 45 .00 longitude: E 15 0 .00
 DATE & TIME(GMT)

	prn 2		prn 3		prn 6		prn 8		prn 9		prn 11		prn 12		prn 13	
	AZ	ELEV	AZ	ELEV	AZ	ELEV	AZ	ELEV	AZ	ELEV	AZ	ELEV	AZ	ELEV	AZ	ELEV
89-08-21 00:00	129.8	20.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 00:31	118.4	39.1	.0	.0	207.4	18.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 01:01	104.1	37.7	.0	.0	215.3	31.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 01:31	86.4	41.4	.0	.0	227.2	44.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 02:01	68.4	39.8	.0	.0	245.6	56.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 02:31	54.2	33.3	.0	.0	274.9	64.4	.0	.0	240.2	21.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 03:01	45.4	23.6	.0	.0	314.3	66.3	.0	.0	253.6	30.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 03:31	.0	.0	.0	.0	349.2	61.6	.0	.0	270.0	39.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 04:01	.0	.0	.0	.0	14.1	54.0	96.2	18.0	289.9	46.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 04:31	.0	.0	.0	.0	33.3	45.8	82.4	25.5	313.1	52.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 05:01	.0	.0	.0	.0	49.7	37.6	66.2	29.3	339.2	55.2	123.9	20.3	274.9	21.0	.0	.0
89-08-21 05:31	.0	.0	.0	.0	64.8	29.8	50.0	27.8	6.6	55.8	98.0	40.6	303.5	36.4	153.8	21.5
89-08-21 06:01	.0	.0	.0	.0	78.8	22.1	36.7	21.6	33.3	54.0	78.2	45.2	319.5	44.1	147.6	35.7
89-08-21 06:31	.0	.0	176.8	16.3	.0	.0	.0	.0	57.7	50.0	57.7	43.2	337.5	51.9	137.7	50.1
89-08-21 07:01	.0	.0	176.5	30.8	.0	.0	.0	.0	79.0	44.0	42.6	35.4	359.7	59.4	117.4	62.2
89-08-21 07:31	.0	.0	177.1	46.3	.0	.0	.0	.0	97.1	26.4	34.3	24.5	29.7	65.1	80.3	66.2
89-08-21 08:01	.0	.0	177.6	62.7	.0	.0	.0	.0	112.1	27.6	.0	.0	.0	67.6	66.1	50.0
89-08-21 08:31	.0	.0	172.7	79.4	.0	.0	.0	.0	124.3	17.8	.0	.0	.0	101.3	60.6	45.7
89-08-21 09:01	.0	.0	32.9	83.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	123.8	50.6	32.2
89-08-21 09:31	.0	.0	23.0	67.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	138.4	38.5	19.3
89-08-21 10:01	.0	.0	26.8	52.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	148.1	25.5	.0
89-08-21 10:31	.0	.0	33.2	38.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 11:01	.0	.0	41.0	26.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 11:31	.0	.0	49.9	15.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 12:01	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 12:31	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 13:01	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 13:31	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 14:01	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 14:31	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 15:01	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 15:31	314.9	20.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 16:01	304.5	28.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89-08-21 16:31	290.0	32.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

Tabella I

Esempio di scheda di previsione di visibilità dei satelliti (prm), in corrispondenza dell'area etnea, relativo al 21 agosto 1989. Con S1, S2, S3, sono indicate le tre sessioni di misura. Sono state inoltre riquadrate le coordinate (azimut ed elevazione) dei satelliti utilizzati in ciascuna sessione.

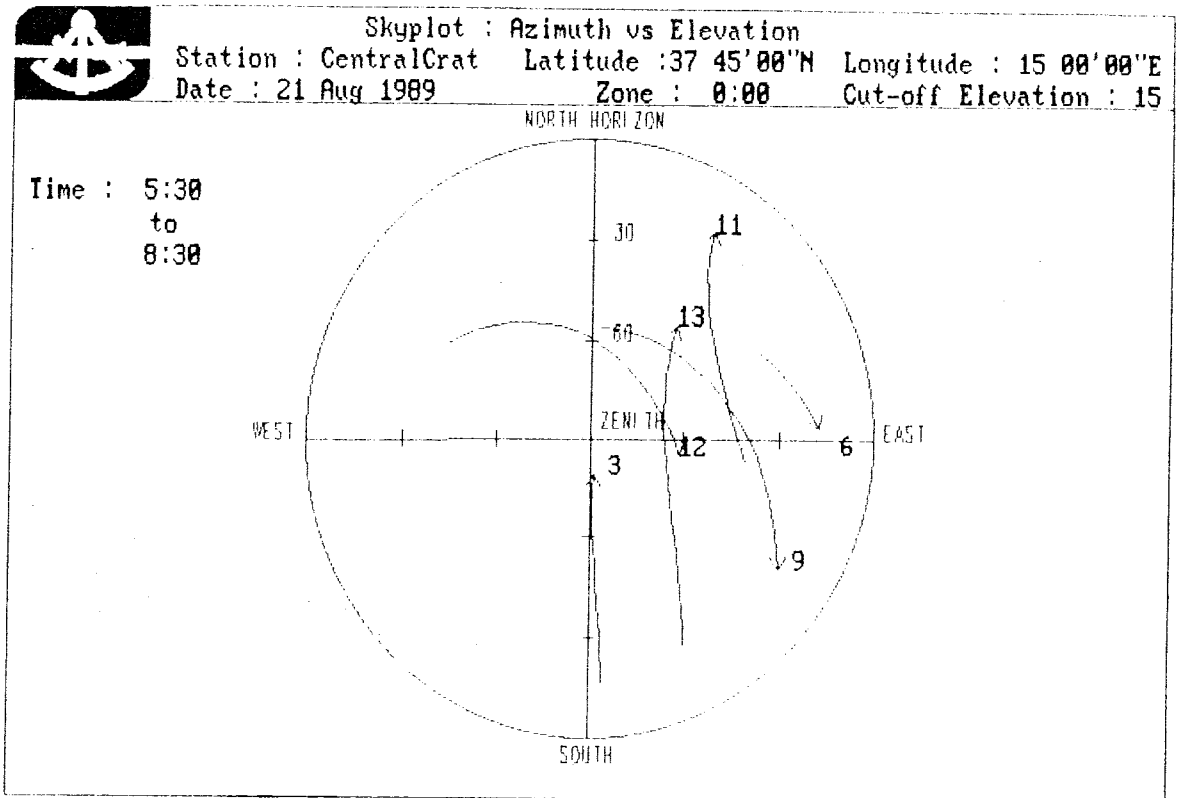


Fig. 2: Esempio di diagramma polare relativo all'area etnea, sul quale sono riportate le tracce delle orbite dei satelliti sulla volta celeste tra le 05:30 e le 08:30 GMT del 21/08/89.

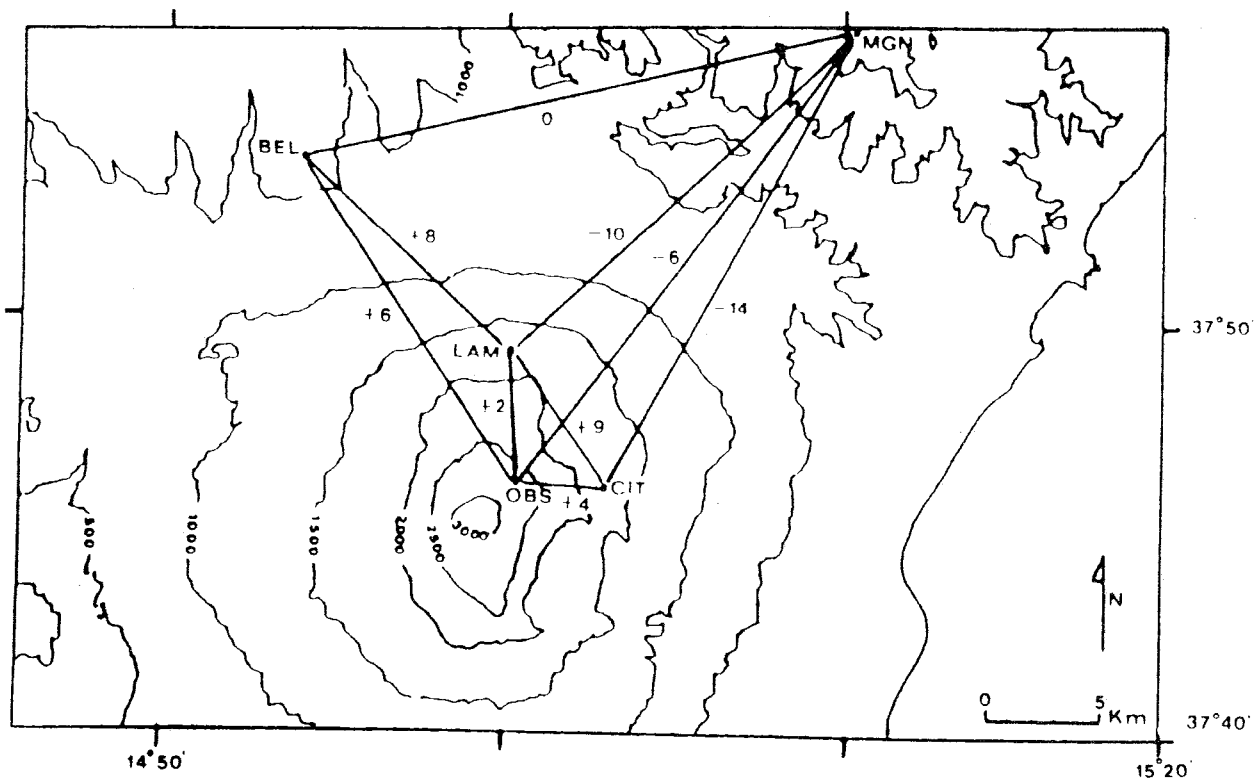


Fig. 3: Lati della rete GPS misurati nell'agosto-settembre 1989 e relative variazioni (in cm), rispetto al maggio 1988.

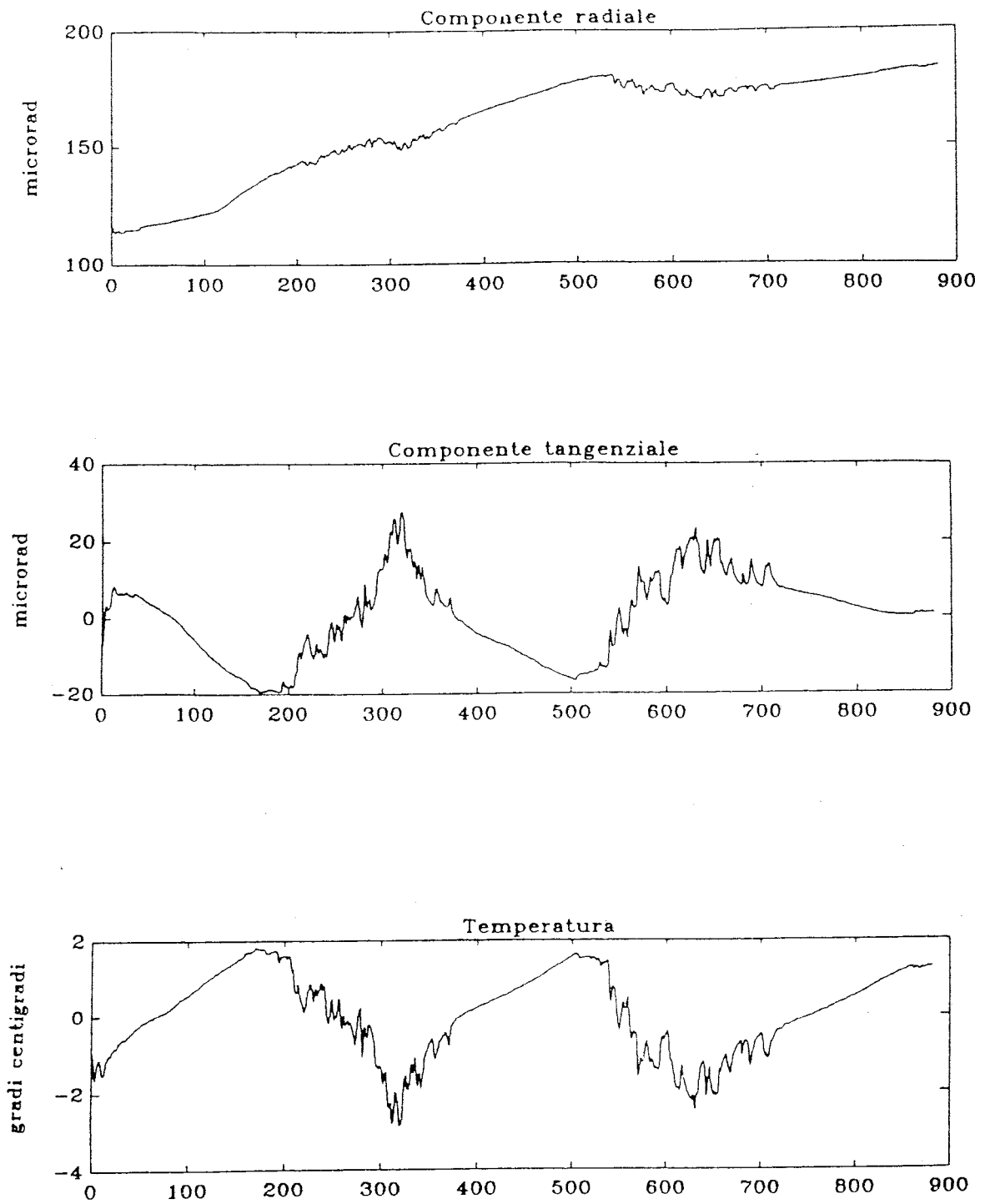


Fig. 4: Stazione di MAL; segnali relativi al periodo aprile '87 - settembre '89.

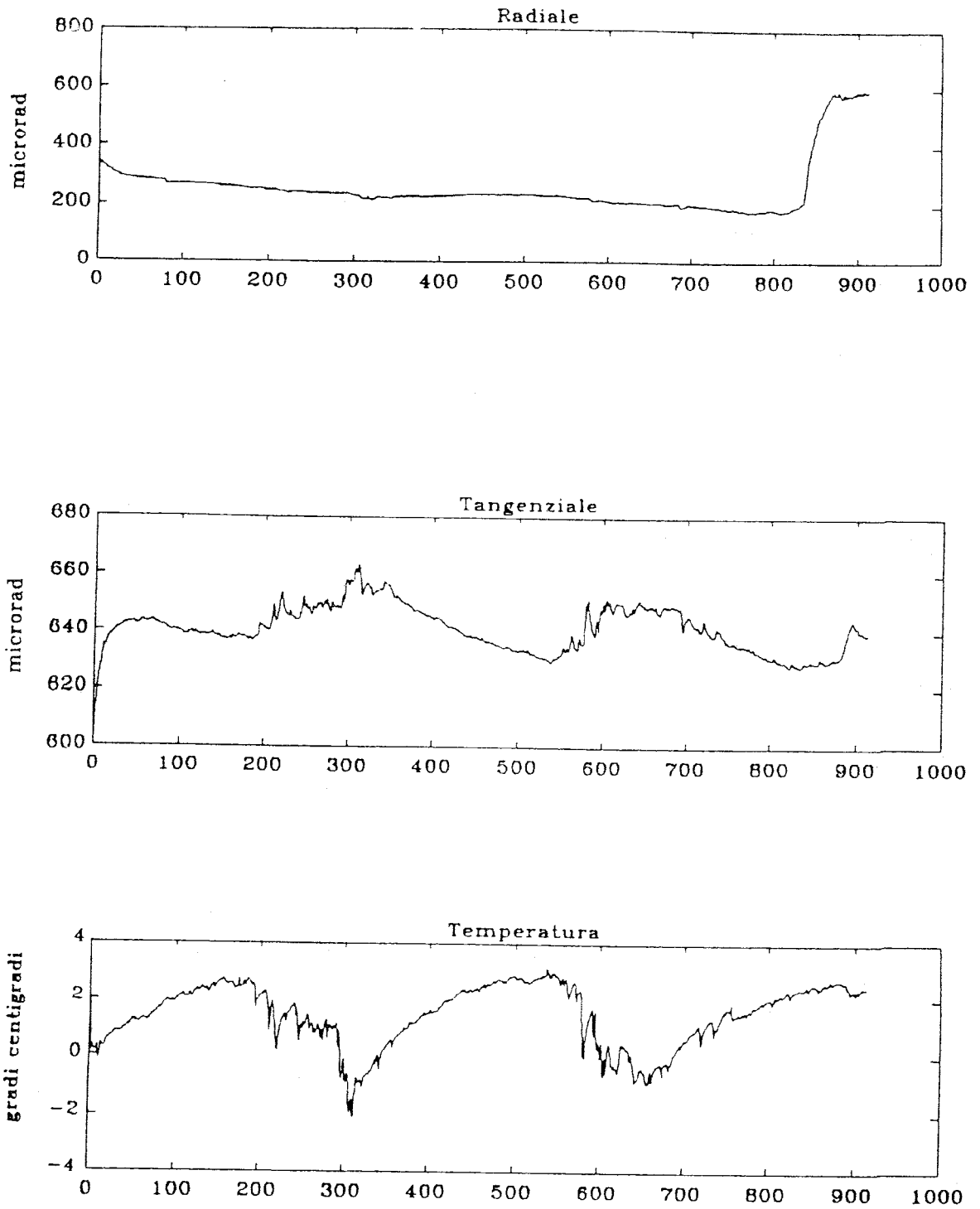


Fig. 5: Stazione di NUN; segnali relativi al periodo aprile '87 - ottobre '89.

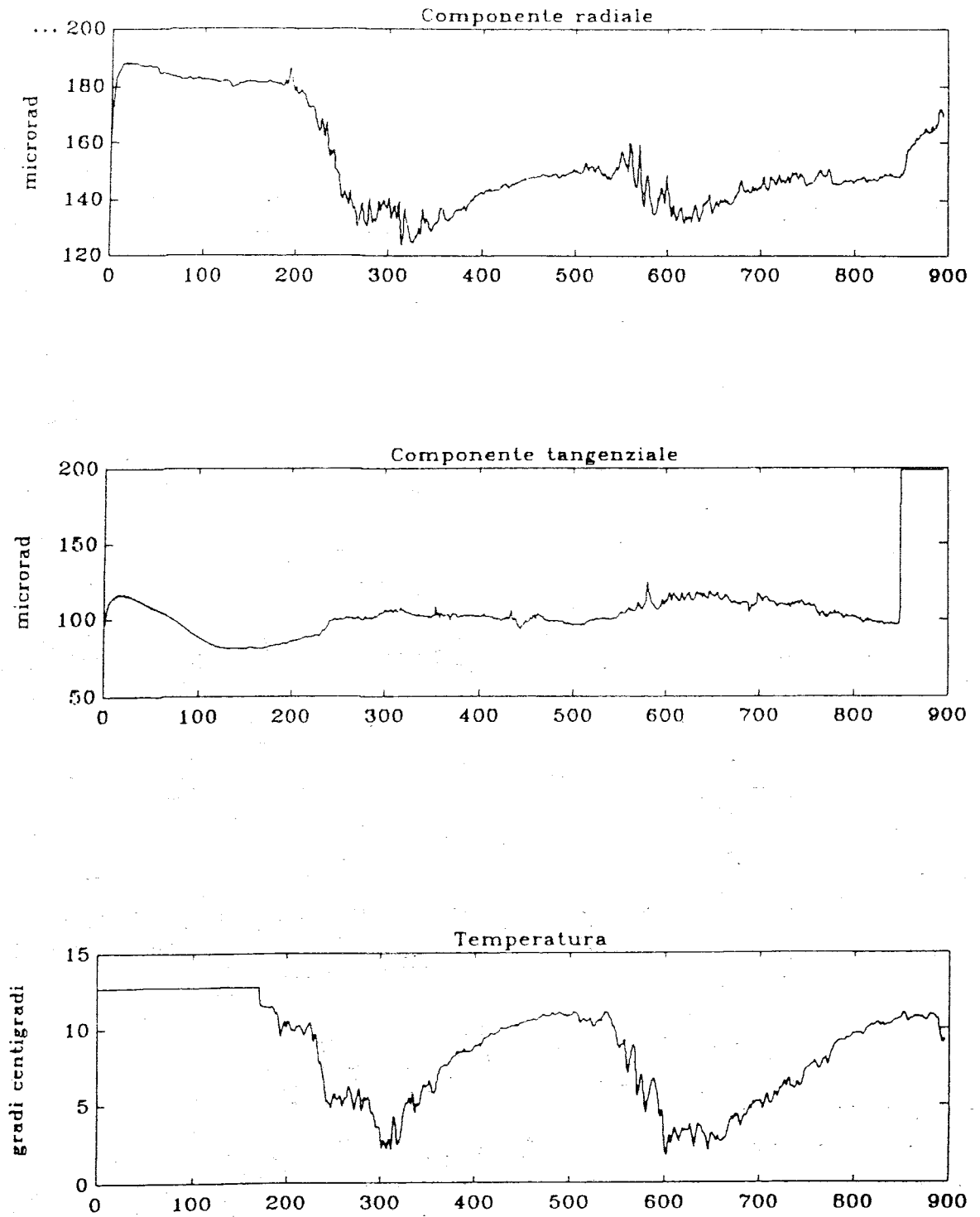


Fig. 6: Stazione di NIC; segnali relativi al periodo aprile '87 - ottobre '89.

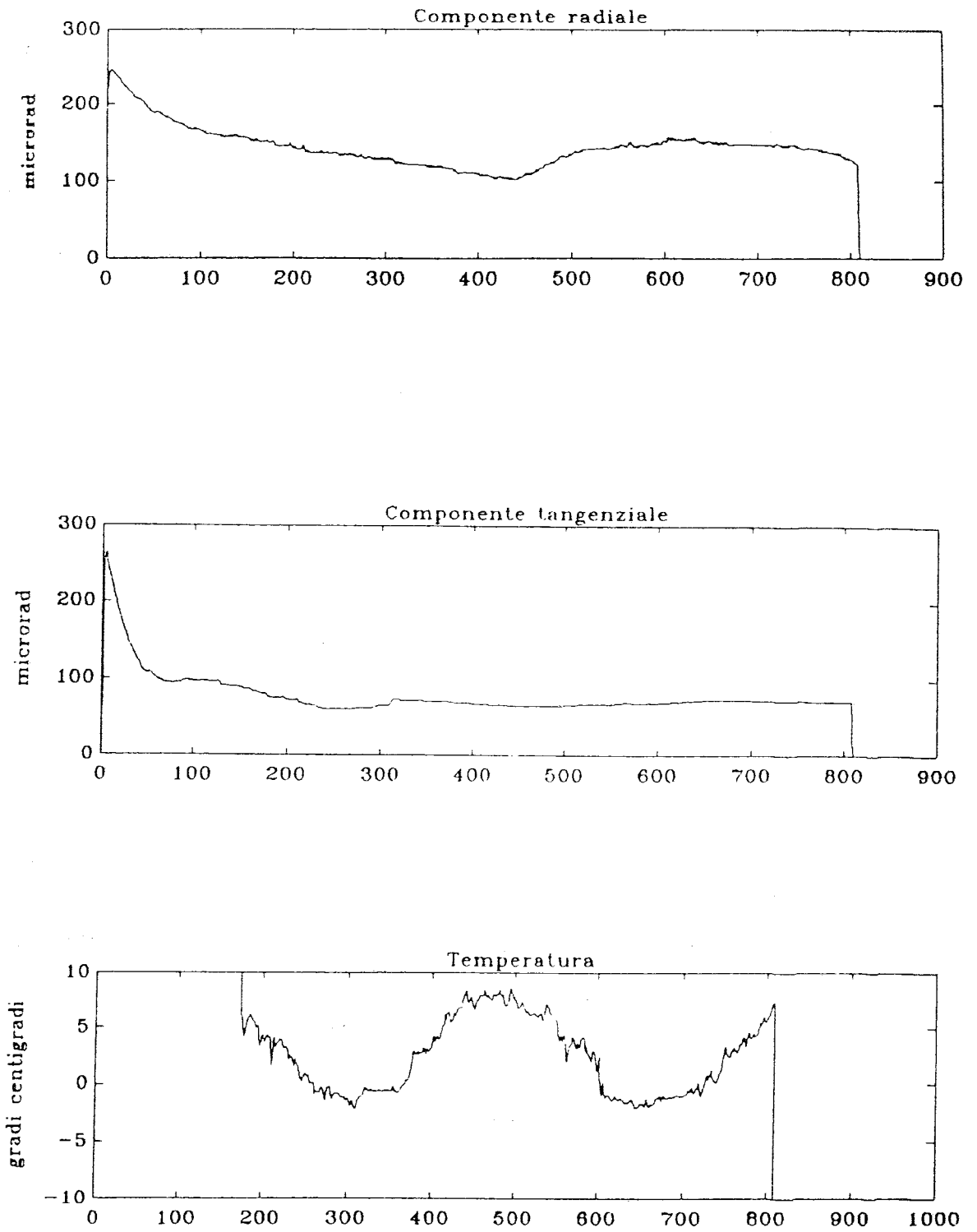


Fig. 7: Stazione di LAM; segnali relativi al periodo aprile '87 - ottobre '89.

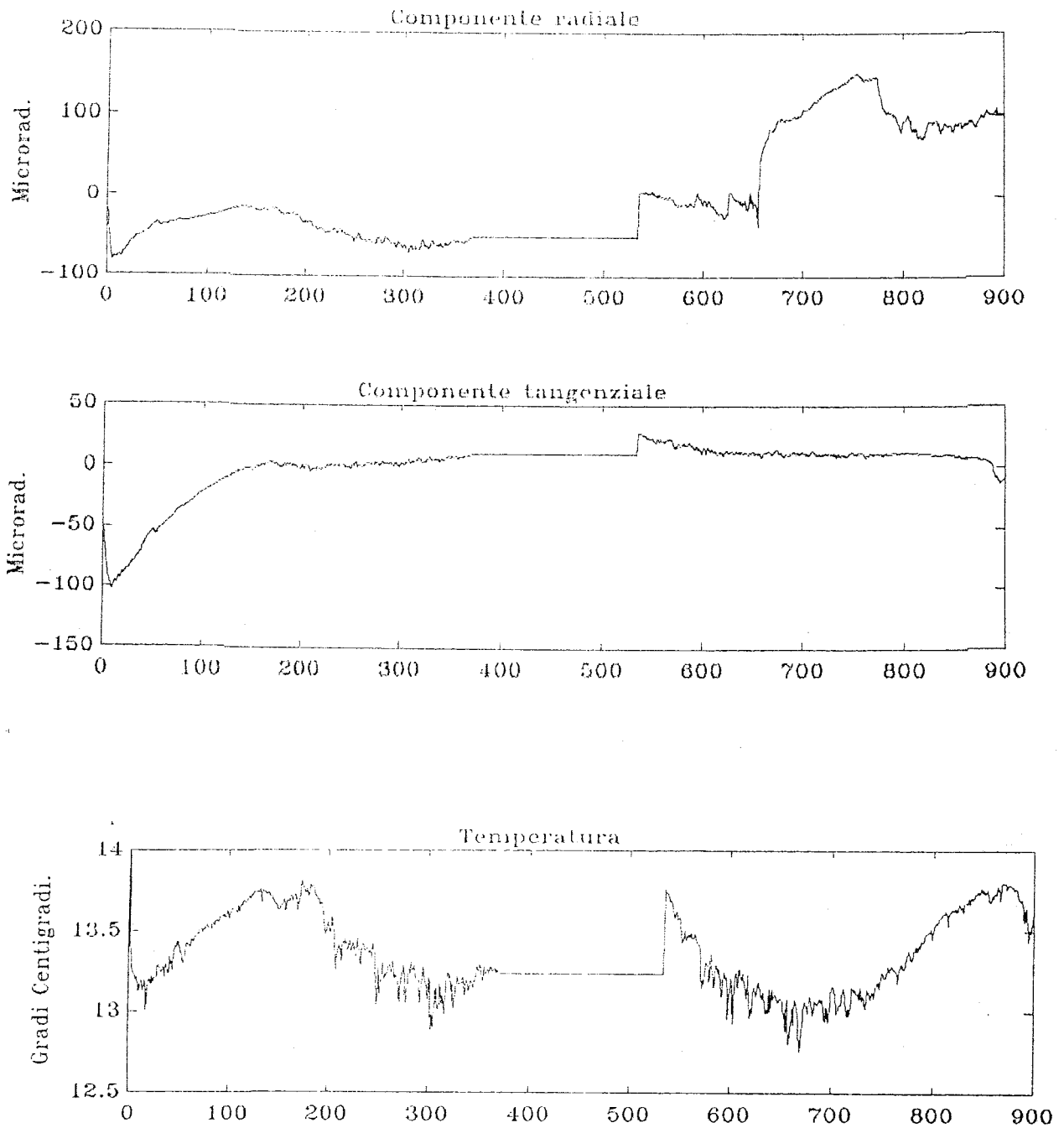


Fig. 8: Stazione di GIA; segnali relativi al periodo aprile '87 - ottobre '89.

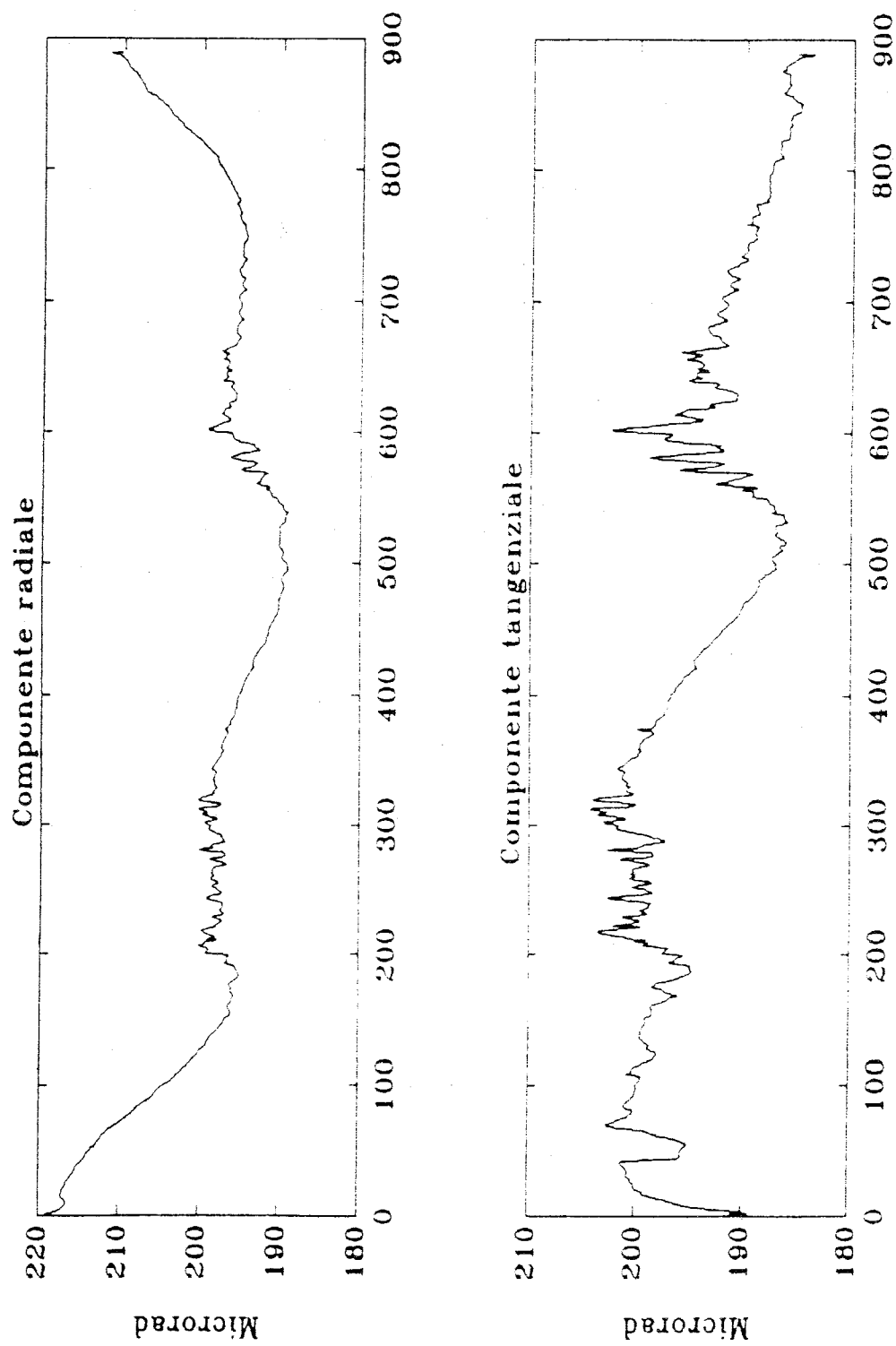


Fig. 9: Stazione di TRE; segnali relativi al periodo aprile 1987 - ottobre 1989.

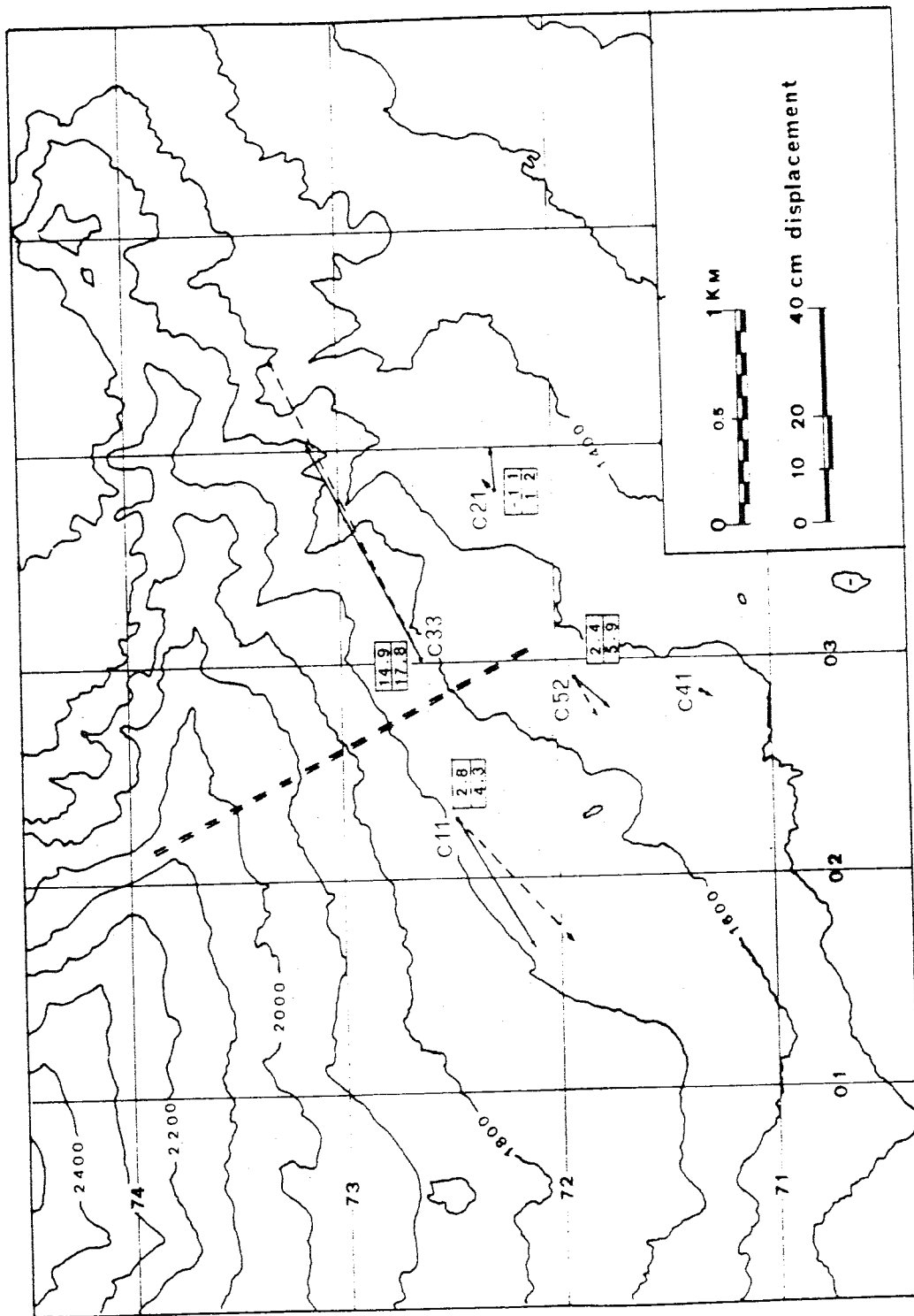


Fig. 10: Topografia dell'area interessata dalla parte meridionale della frattura N160E. Sono riportati i vettori spostamento calcolati (linee intere) in base al modello e quelli misurati (linee a tratti). I valori riportati accanto ai vertici della rete indicano rispettivamente gli spostamenti verticali (>0 se in sollevamento) misurati (in basso) e calcolati (in alto). Inoltre è riportata la traccia in superficie della frattura ottenuta dall'applicazione del modello.

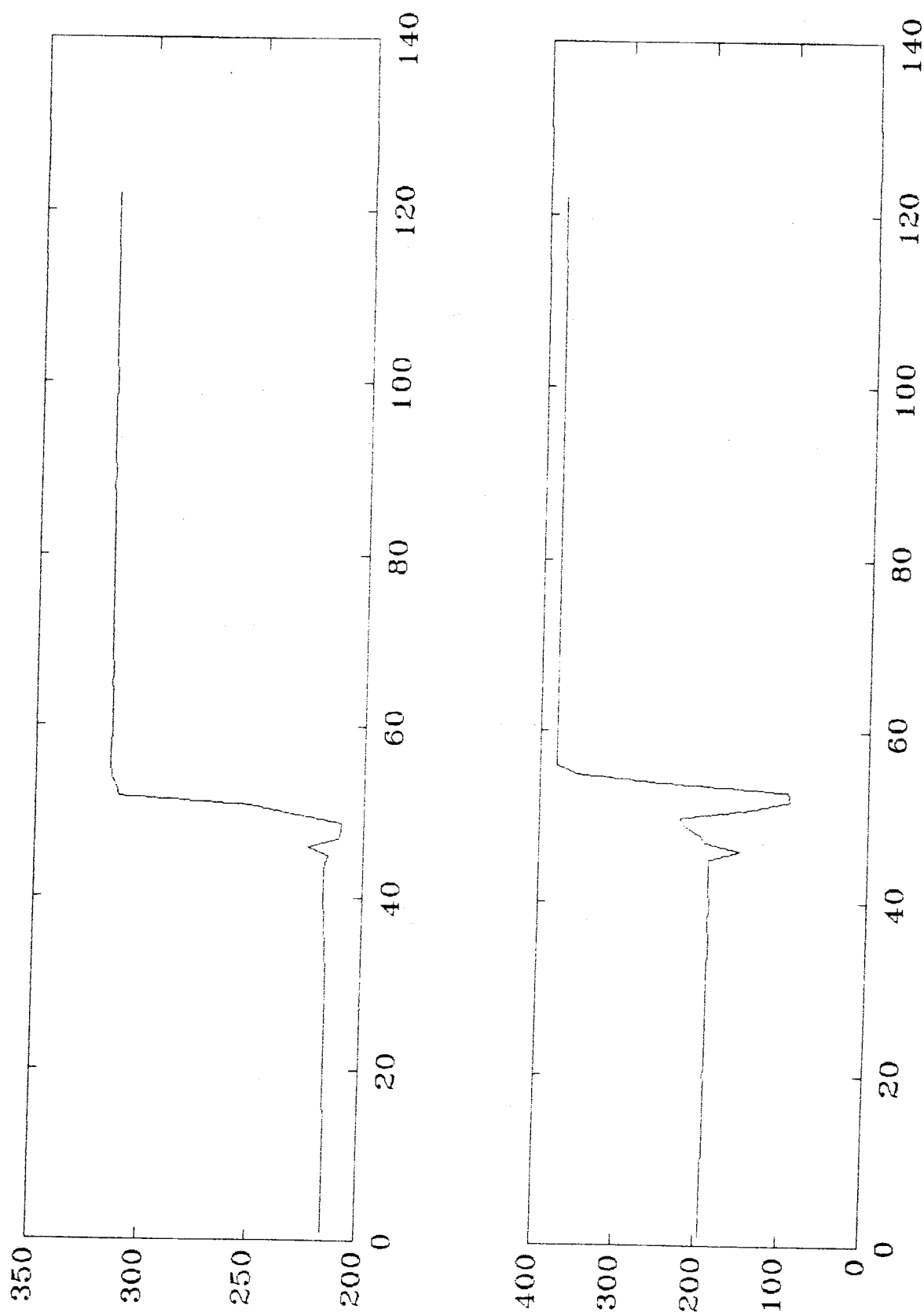


Fig. 11: Stazione di TRE; componente radiale (in alto) e tangenziale (in basso) relative al periodo 26 settembre - 11 ottobre 1989.

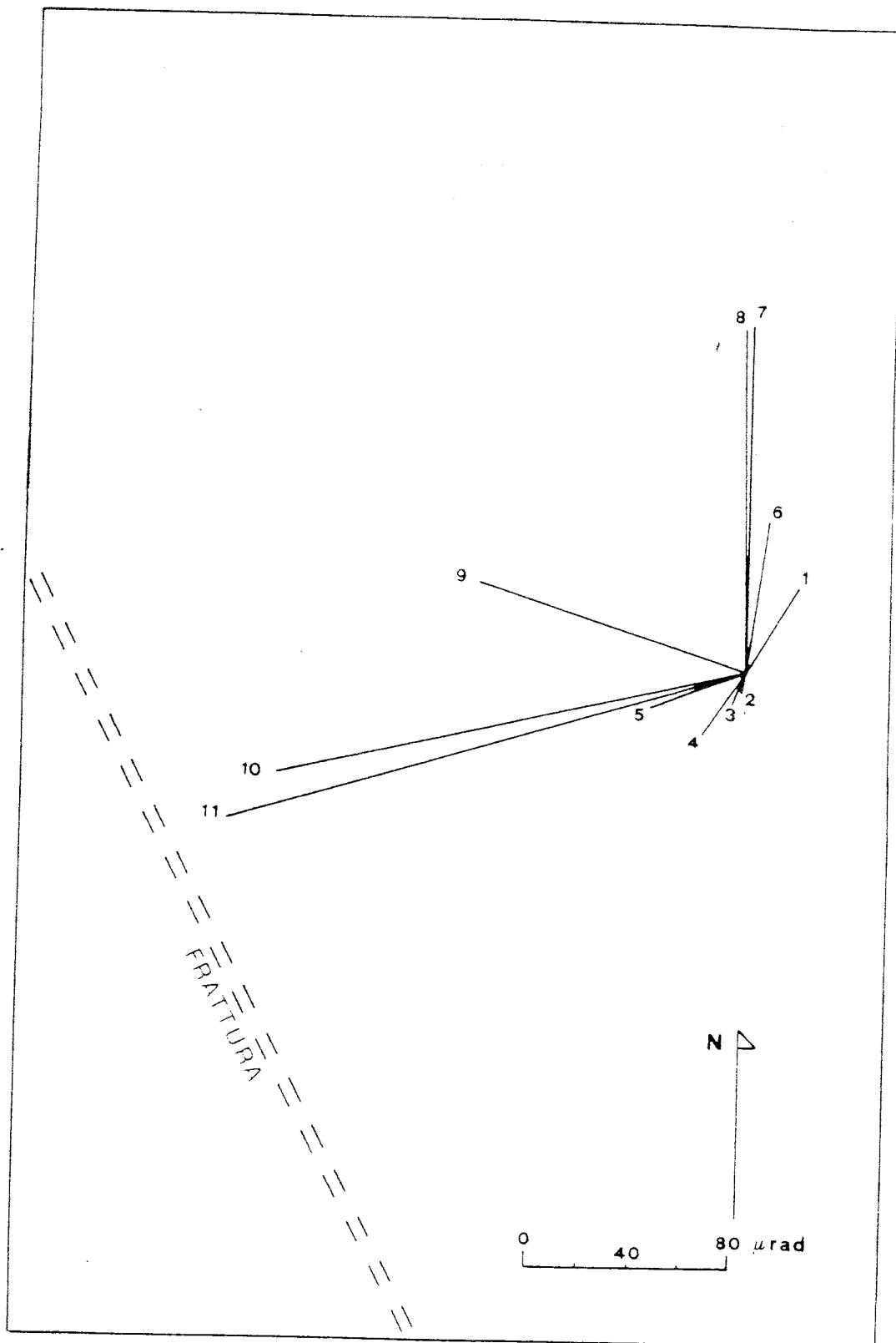


Fig. 12: Diagramma dei vettori tilt ottenuti dai dati registrati alla stazione di TRE tra le 23:30 dell'1 ottobre e le 08:30 del 3 ottobre. Il vertice del vettore indica la direzione di sollevamento