CNR IIV Open File Report, 3/94, 8 pp., 1994.

Variazioni di gravità osservate all'Etna nel 1994 lungo il profilo Adrano - Sapienza - Zafferana

Gravity changes along the Adrano - Sapienza - Zafferana profile (Mt Etna) during 1994

G. Budetta, D. Carbone & R. Napoli

Istituto Internazionale di Vulcanologia, C.N.R., piazza Roma n° 2 - 95123 Catania

Riassunto

Allo scopo di controllare mediante misure periodiche le variazioni del campo di gravità in corrispondenza del settore meridionale superiore dell'Etna, nel quale, negli ultimi anni, si è sviluppata una frequente attività intrusiva, è stato istituito un profilo ad andamento E-O, lungo circa 25 km e costituito da 20 stazioni, a integrazione della rete gravimetrica già esistente. Vengono qui illustrati gli aspetti inerenti la scelta e la realizzazione dei punti stazione, oltre ai dati relativi a 5 campagne di misure condotte fra aprile e ottobre 1994. Il confronto tra le diverse campagne ha messo in evidenza la presenza di consistenti variazioni di gravità centrate sulla zona del rifugio Sapienza (SA), con lunghezza d'onda confrontabile con le dimensioni del profilo. In particolare sono state osservate variazioni di circa 75 μgal nel periodo aprile-giugno, di circa -50 μgal tra agosto e settembre e di circa -50 μgal tra settembre e ottobre. Nonostante che l'esperienza acquisita mediante la rete gravimetrica dell'Etna abbia dimostrato che il versante meridionale sia interessato da consistenti variazioni stagionali di gravità (fino a 50 μgal picco-picco) legate alle oscillazioni della falda freatica, esistono validi elementi per ritenere che le variazioni osservate lungo il profilo E-O siano in larga misura legate a sorgenti di tipo magmatico.

Abstract

With the aim of monitoring the variations in the gravity field in the upper southern slope of Etna by periodic measurements, in which a frequent intrusive activity occurred during the last few years, a profile having an E-W axis was set up with a length of about 25 km and made up of 20 stations integrated with the existing gravimetric network. We show the aspects concerning the choice and positioning of the stations and we discuss the data relative to 5 sets of measurement carried out between April and October 1994. The comparison of the data from these periods has shown the presence of substantial variations of gravity centred on the Sapienza (SA) area and with a wave length comparable to the dimensions of the profile. In particular, variations of about 75 μgal were observed between April and June, ca. -50 μgal between August and September, and of about -50 μgal between September and October. Notwithstanding the fact that our experience gained with the gravimetric network on Etna has demonstrated that the southern slope is affected by substantial seasonal variations of gravity (up to 50 μgal peak-to-peak) linked to the oscillations of the water table, there exist valid elements to make us believe that the variations observed along the E-W profile are largely linked to magma sources.

Introduzione

L'apparato vulcanico etneo è interessato da numerose strutture tettoniche e vulcano-tettoniche recenti ed attive. Le faglie principali presentano uno sviluppo lineare di alcuni chilometri e

dislocazioni dell'ordine delle decine o centinaia di metri e sono concentrate nel versante orientale e meridionale (Ferrari, 1991). Di particolare interesse risultano il sistema delle Timpe, situato sulla prosecuzione settentrionale della Scarpata Ibleo-Maltese (Ben-Avraham & Grasso, 1990), il sistema di Ragalna, che sembra marcare in superficie la prosecuzione settentrionale del limite degli affioramenti della Catena Appennini-co-Magrebide (Ferrari, 1991) e il sistema Mascalucia-Trecastagni (Lo Giudice et al., 1982). Quest'ultimo, costituito da due strutture principali subparallele che si trovano sul basso versante sudorientale dell'Etna, si sviluppa sulla prosecuzione meridionale della direttrice strutturale di NW-SE (Frazzetta & Villari, 1981; Lo Giudice et al., 1982) laddove questo termina (Ferrari, 1991). Negli ultimi anni proprio il settore meridionale si è dimostrato particolarmente attivo: lungo il "rift" di SE si è infatti sviluppato il sistema di fratture non eruttivo del 1989 (Bertagnini et al. 1990) e l'eruzione del 1991-93, la più importante degli ultimi trecento anni.

Sulla base di queste premesse si è ritenuta di grande interesse la possibilità di controllare gravimetricamente questo settore. Pertanto è stato istituito un profilo ad andamento E-O, che attraversa perpendicolarmente le suddette strutture e si snoda per 25 km circa, prevalentemente lungo la strada provinciale che collega Zafferana ad Adrano passando per il Rifugio Sapienza (Fig. 1). Le 20 stazioni che costituiscono il profilo

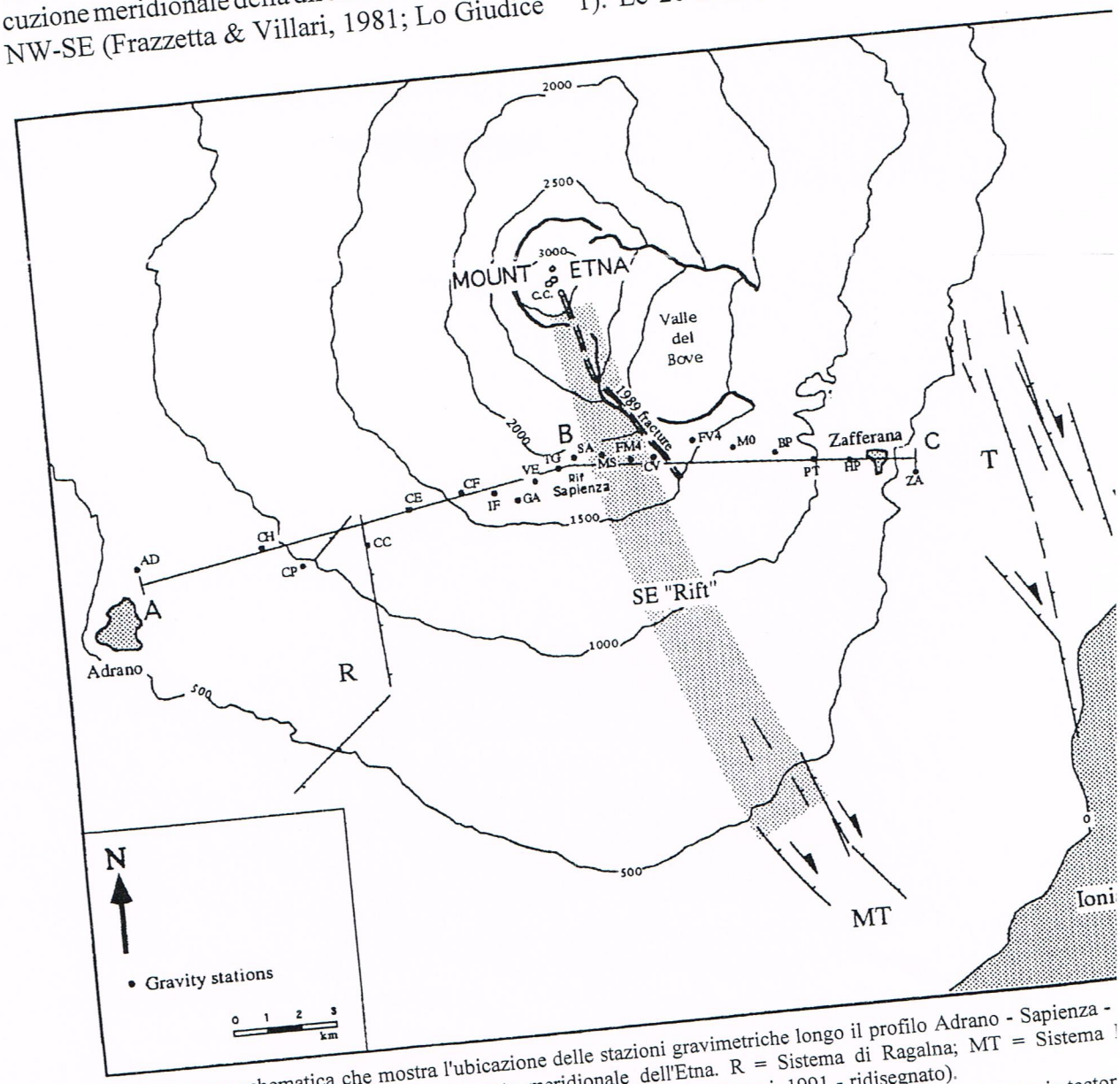

Fig 1 - Mappa schematica che mostra l'ubicazione delle stazioni gravimetriche longo il profilo Adrano - Sapienza - le principali strutture tettoniche del versante meridionale dell'Etna. R = Sistema di Ragalna; MT = Sistema Trecastagni; T = Sistema delle Timpe. (Da Lo Giudice et al., 1982 e Ferrari, 1991 - ridisegnato).

Sketch map showing the position of the Adrano-Sapienza-Zafferana profile gravity stations and the main tector of the Etna's southern flank. R = Ragalna System; MT = Mascalucia-Trecastagni System; T = Timpe System. (From et al., 1982 and Ferrari, 1991 - redrawn).

sono distanziate tra 1 e 2 km circa, e ubicate a quote comprese tra 450 e 1900 m s.l.m. circa, in modo tale che la differenza massima di gravità tra le stazioni (circa 300 mgal) risulta contenuta all'interno del range di misura (circa 340 mgal) proprio del gravimetro utilizzato nelle prime due campagne (L&R D-157). Questo ha consentito di evitare operazioni di "reset" dello strumento durante l'esecuzione delle misure.

Il profilo attraversa il sistema di fratture orientato N 140° E che si è sviluppato durante l'eruzione del 1989, incorporando le 7 stazioni già esistenti ed allestite proprio in occasione di quella eruzione (Budetta et al., 1990).

Le stazioni sono state materializzate in siti che presentano le seguenti caratteristiche:

i) basso livello di rumore;

ii) assenza di fenomeni franosi in atto o di condizioni che possano agevolare il rapido deterioramento da parte degli agenti esogeni.

iii) facilitá di accesso.

In generale sono stati scelti affioramenti di lava in posto o muretti in calcestruzzo. Le stazioni sono state ubicate su carte alla scala 1:10.000 (ove disponibili) o 1:25.000. E' stata inoltre realizzata una dettagliata documentazione fotografica per consentire un facile ritrovamento delle stazioni. In tabella 1 vengono riportate, per ciascuna stazione, il nome, la sigla, la quota, le coordinate geografiche e la distanza riferita alla stazione di Adrano (AD).

Le stazioni di Adrano (AD) e di Zafferana (ZA) ubicate alle estremità del profilo, insieme con le altre due stazioni di Belpasso (BEL) e Linguaglossa (LIN), tutte situate ai margini dell'edificio vulcanico e quindi ragionevolmente non interessate in modo significativo da variazioni di gravità di origine vulcanica, costituiscono la rete gravimetrica basale di riferimento a cui sono collegate tutte le stazioni della rete gravimetrica dell'Etna. Grazie ai supposti requisiti di stabilità, la rete basale viene battuta non più di una volta l'anno. In essa le misure rispondono a standard qualitativi decisamente superiori e vengono compensate separatamente dalle altre stazioni della rete etnea. La stazione AD, infine, è collegata con la stazione di gravità assoluta di Centuripe CNT (Lat. 37°37'19"; Long

Nomi stazioni	Sigle	Latitudine N	Longitudine E	Quota (m s.l.m.)	Distanza (km)
Villa Zafferana	ZA	37°41.1	15°06.9	470	23.635
Hotel Primavera	HP	37°41.5	15°05.7	680	21.835
Poligono Tiro	PT	37°41.5	15°05.05	980	20.785
Bivio Pomiciaro	BP	37°41.7	15°04.2	1140	19.660
Monte Monaco	M0	37°41.9	15°03.3	1350	18.360
	FV4	37°41.08	15°02.5	1550	17.185
Casa del Vescovo	CV (FM3)	37°41.9	15°01.6	1690	15.885
	FM4	37°41.9	15°01.3	1750	15.260
Monti Silvestri	MS	37°42.06	15°00.5	1860	14.385
Rifugio Sapienza	SA	37°42.00	14°59.9	1890	13.510
Timpa Grassorelli	TG	37°41.9	14°59.6	1860	12.960
Bivio Vetore	VE	37°41.7	14°59.1	1740	12.210
Grande Albergo	GA	37°41.4	14°58.7	1700	11.585
Ingresso Forestale	IF	37°41.5	14°58.5	1660	10.960
Cancello Forestale	CF	37°41.6	14°57.4	1560	9.910
Casa dell'Erba	CE	37°41.3	14°56.3	1320	8.360
Casa Ciancio	CC	37°40.8	14°55.4	1130	6.860
Contrada Paratore	CP	37°40.8	14°54.3	1040	5.435
Casa Chiavaro	CH	37°41.01	14°53.2	910	3.875
Adrano	AD	37°40.6	14°50.6	590	0

Tab 1 - Stazioni ubicate lungo il profilo Adrano - Sapienza - Zafferana. Le distanze si riferiscono alla proiezione delle stazioni lungo il profilo a partire dalla stazione AD.

The stations of the Adrano - Sapienza - Zafferana profile. The distances refer to the projection of the station on the profile, and are measured from the AD station.

14°44'30"), istituita nel 1992 nell'ambito del progetto CEE Science , in cui il valore di gravità misurato risulta di 979 823 087 ±3 μgal (Berrino, 1993). La fig. 2 mostra lo schema delle stazioni della rete basale, per ciascuna delle quali vengono riportati i valori di gravità assoluta. Le misure sono state eseguite mediante il gravimetro Scintrex CG-3M (Scintrex Limited, 1992).

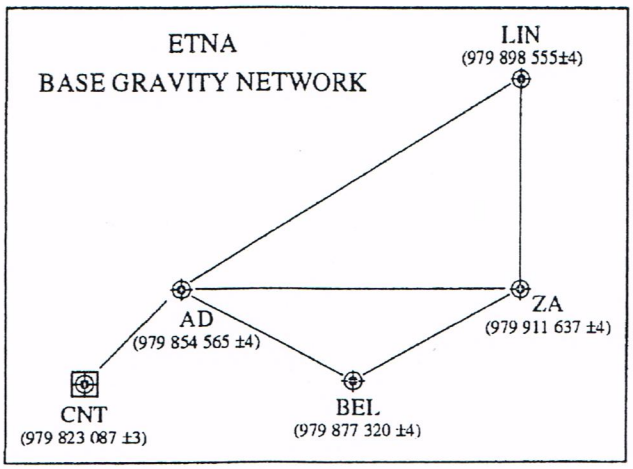

Fig 2 - Schema delle stazioni della rete gravimetrica basale di riferimento collegata con la stazione di gravitá assoluta di Centuripe.

Diagram of the stations of the base gravity network of reference connected to the station of absolute gravity at Centuripe.

Acquisizione dei dati

Le prime due campagne di misura (aprile e giugno) sono state eseguite mediante il gravimetro LaCoste & Romberg D-157 (range di misura esteso a 340 mgal, accuratezza di 5 μgal) (La Coste & Romberg, 1989). Le misure successive sono state eseguite mediante il gravimetro Scintrex CG-3M (range di misura di 7000 mgal; lettura digitale; risoluzione di 1 μgal; accuratezza 5 μgal; correzione automatica di marea e di deriva) assumendo come valore in ciascuna stazione quello mediato automaticamente su 120 osservazioni intervallate di un secondo. L'esperienza di campagna ha dimostrato che il gravimetro Scintrex consente di ottenere standard di misura confrontabili con quelli del LaCoste & Romberg o addirittura migliori, con l'ulteriore vantaggio di un uso molto più agile e di una maggiore stabilità in condizioni operative disagevoli. Ovviamente l'estesissimo range di misura consente anche, a differenza dei gravimetri L&R mod. D, il collegamento diretto tra stazioni con dislivelli elevatissimi (come, per esempio, tra i Crateri sommitali dell'Etna e le stazioni della rete basale).

Non è stato possibile effettuare un'adeguata intercalibrazione tra i due gravimetri, dato che il secondo è risultato disponibile quando il primo aveva già problemi di malfunzionamento. Questo impedisce di fornire oggi il confronto dei dati acquisiti con i due diversi strumenti.

Le operazioni di campagna (conversione delle letture in μgal, correzione mareale, differenze di gravità tra le stazioni ecc.) sono state controllate in tempo reale da una procedura software appositamente messa a punto e implementata su un PC portatile (Budetta e Del Negro, 1990).

La prima campagna di misure (aprile 1994) è stata eseguita misurando in modo sequenziale tutte le stazioni del profilo e ripetendo l'operazione in andata e ritorno per ben 7 volte in quattro giorni. Tuttavia, la tecnica adottata, che per sua caratteristica consente una maggiore velocità di esecuzione delle misure, ma impedisce un controllo ottimale della deriva strumentale, non ha consentito l'ottenimento di risultati del tutto soddisfacenti per quanto concerne l'entità dell'errore, la cui stessa valutazione è risultata incerta.

Le campagne successive (giugno, agosto, settembre e ottobre 1994) sono state eseguite ricorrendo alla tecnica detta "del passo del pellegrino" secondo lo schema A-B-A-B-C-B... che sicuramente consente un migliore controllo della deriva e di eventuali comportamenti anomali del gravimetro.

I dati sono stati compensati nell'ambito di un circuito chiuso che comprende i Δg misurati tra le stazioni contigue in ciascuna campagna e il Δg AD-ZA tra le stazioni estreme, già disponibile dalla rete basale. Per quanto concerne la sola campagna di settembre '94, la compensazione è stata eseguita utilizzando i dati relativi a tutta la rete dell'Etna.

La tab. 2 riporta per ciascuna stazione e per le 5 campagne eseguite tra aprile e ottobre 1994, la gravità assoluta (a cui è stato sottratto il valore di 979 Gal) ottenuta a partire dal valore di gravità assoluta di CNT, e i relativi errori.

	L & R D 157				Scintrex CG3					
Sigle Staz.	04/94 g (mgal)	err (µgal)	06/94 g (mgal)	err (µgal)	08/94 g (mgal)	err (µgal)	09/94 g (mgal)	err (µgal)	10/94 g (mgal)	err (µgal)
ZA	329.246	0	329.246	0	911.637	0	911.637	0	911.637	0
HP			286.499	4	868.825	1			868.813	2
PT	226.306	17	226.349	10	808.651	2			808.626	3
BP	199.327	5	199.378	12	781.677	2	781.650	2	781.639	3
M0	156.368	6	156.435	12	738.683	4	738.653	2	738.630	3
FV4	114.612	8	114.680	14	696.878	5	696.850	4	696.814	3
CV	83.937	19	84.005	15	666.170	6	666.130	3	666.088	3
FM4	71.350	5	71.452	15	653.613	7	653.566	3	653.535	3
MS	37.928	14	38.039	15	620.198	7	620.153	3	620.108	3
SA	30.629	8	30.746	15	612.905	9	612.867	3	612.812	3
TG	31.687	21	31.762	14	613.921	9	613.880	3	613.841	3
VE	54.978	15	55.046	14	637.239	9	637.216	3	637.180	3
GA	60.115	11	60.208	14	642.380	9	642.348	3	642.316	3
IF	68.569	3	68.657	14	650.839	9	650.817	3	650.779	4
CF	84.499	19	84.563	14	666.770	9	666.752	3	666.713	4
CE	133.178	13	133.232	13	715.498	8	715.482	1	715.461	3
CC	174.893	4	174.952	12	757.264	8			757.246	3
CP	192.781	4	192.807	10	775.152	5				
CH	218.840	12	218.861	8	801.244	3			801.221	3
AD	272.167	3	272.167	7	854.565	0	854.565	0	854.565	0

Tab 2 - Dati gravimetrici acquisiti lungo le stazioni del profilo Adrano-Sapienza-Zafferana tra aprile e ottobre 1994.
Gravity data obtained at the stations of the Adrano-Sapienza-Zafferana profile between April and October 1994.

Analisi dei dati

Le variazioni di gravità osservate nel periodo aprile-giugno 1994 (fig. 3) raggiungono un valore massimo di circa 75 µgal e indicano la sovrapposizione di anomalie a diversa lunghezza d'on-

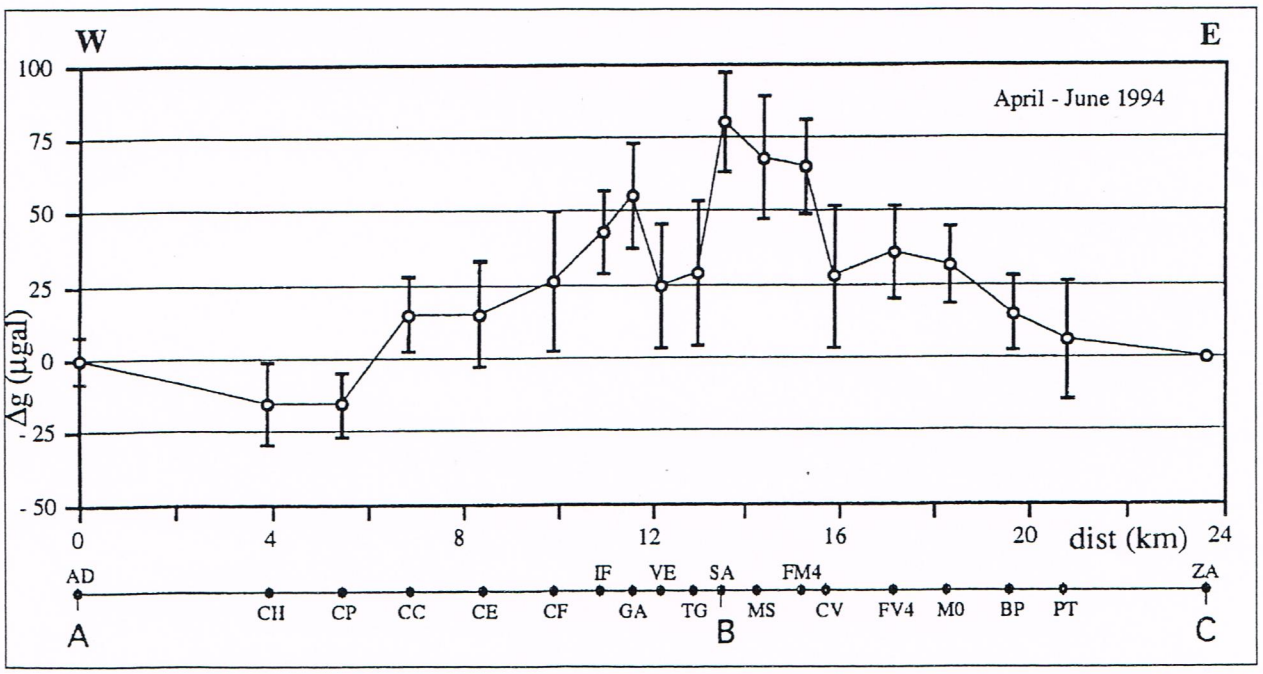

Fig 3 - Variazioni di gravitá osservate nel periodo aprile - giugno 1994 utilizzando il gravimetro La Coste & Romberg D 157.
Gravity changes observed in the April - June 1994 period using the La Coste & Romberg D 157 gravity meter

da. La principale, centrata sulla zona del Rifugio Sapienza, ha dimensioni confrontabili con quelle del profilo; le altre due, a carattere molto locale e di segno negativo sono ubicate l'una tra le stazioni GA e SA e l'altra in corrispondenza della stazione CV e sono probabilmente legate alla dinamica di sorgenti di anomalia locali, come ad esempio la frattura del 1989, interessata da un'attività gravimetrica molto marcata (Budetta et al., 1994).

Le campagne eseguite in agosto, settembre e ottobre 1994 permettono di valutare due differenze di gravitá temporali sequenziali (agosto-settembre e settembre-ottobre; figg. 4a e 4b) e di una cumulativa (agosto-ottobre; fig. 4c). Le variazioni si presentano ancora con una lunghezza d'onda confrontabile con le dimensioni del profilo, ma di segno negativo e con ampiezze comprese tra circa -50 µgal (agosto - settembre) a circa -100 µgal (agosto - ottobre).

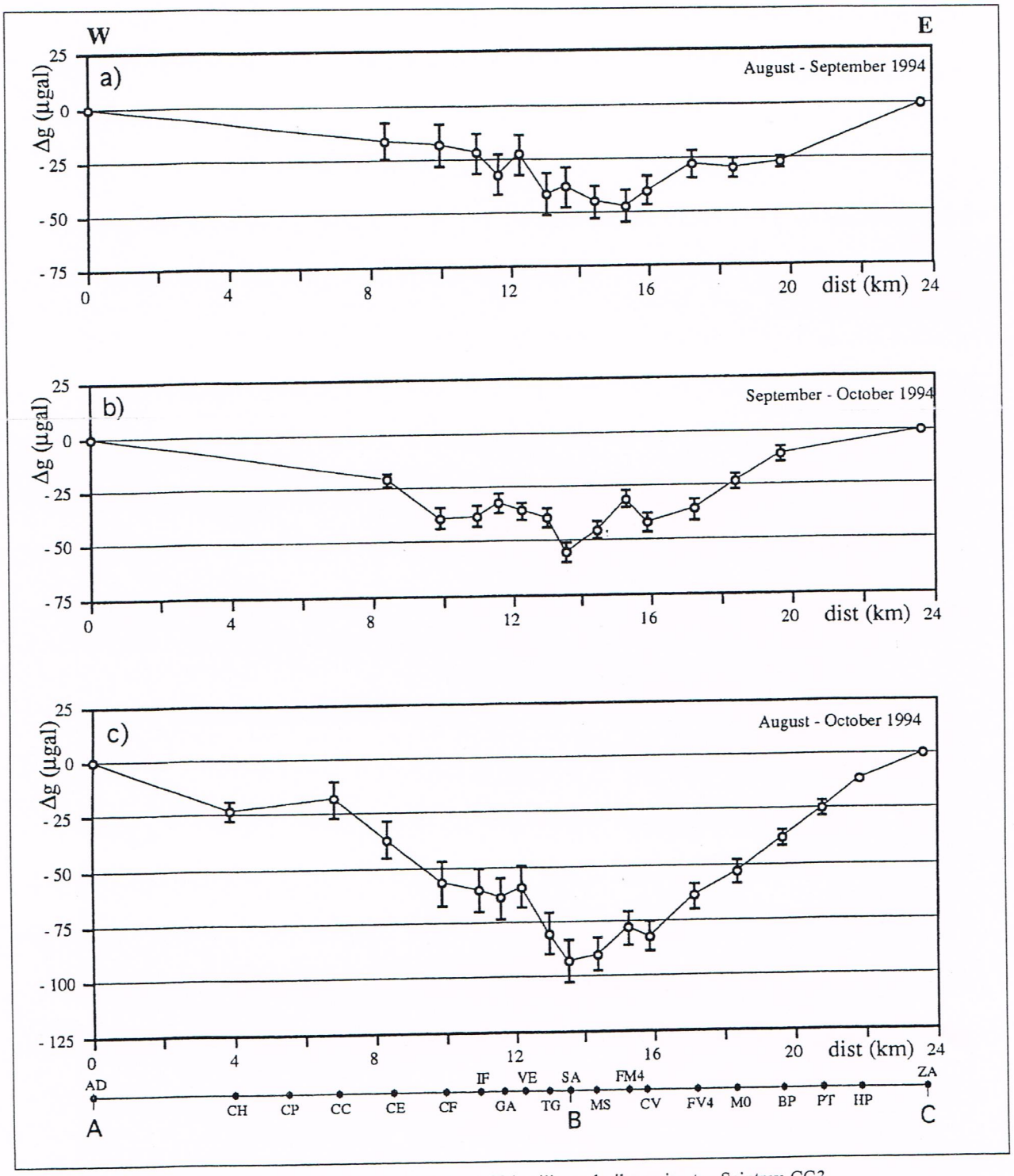

Fig 4 - Variazioni di gravitá osservate tra agosto e ottobre 1994 utilizzando il gravimetro Scintrex CG3.
Gravity changes observed between August and October 1994 using the Scintrex CG3 gravity meter.

Il fatto che il quadro delle variazioni di gravità osservate tra aprile e ottobre 1994 sia dominato da un'unica estesa anomalia che conserva nel tempo posizione e dimensioni fa ritenere che le variazioni di gravità siano in larga misura da ascrivere ad un'unica sorgente. Il segno delle variazioni, positive tra aprile e giugno e negative tra agosto e ottobre è compatibile con il segno delle eventuali oscillazione stagionali della falda freatica.

Alcune semplici considerazioni, però, inducono a respingere questa ipotesi. Le osservazioni sistematiche condotte nella rete gravimetrica dell'Etna dal 1987 (Budetta e Carbone, 1995), infatti, hanno evidenziato variazioni di gravità legate alla falda che raggiungono in modulo circa 50 μgal cioé circa 10 μgal/mese. Questi valori possono essere considerati una soglia difficilmente superabile, visto che modelli ragionevoli di oscillazione del livello della falda freatica basale all'Etna non riescono a giustificare più di qualche decina di microgal di variazione nell'arco di un semi-periodo stagionale. Le osservazioni lungo il profilo E-O mostrano variazioni di ben 50 μgal/mese che, estrapolate ad un semi-periodo stagionale di 4-6 mesi, porterebbero a valori di ben 200-300 μgal (corrispondenti a oscillazioni del livello della falda dell'ordine dei 100-200 m, assumendo il modello di Bouguer), assolutamente ingiustificabili.

Escludendo, perciò, che le variazioni di gravità osservate possano essere legate prevalentemente alle oscillazioni della falda freatica, si può preliminarmente affermare che, sulla base dell'estensione delle anomalie osservate lungo il profilo, una eventuale sorgente di forma sferica risulterebbe sulla verticale della stazione SA e ad una profondità dal piano campagna dell'ordine di 5 km. Nell'ipotesi semplicistica di un modello deformativo di Mogi, in cui si assume una sorgente magmatica a densità costante, le variazioni di gravità positive tra aprile e giugno e negative tra agosto e ottobre denoterebbero il passaggio da una fase di decompressione (aprile-giugno) accompagnata da drenaggio di magma ad una fase compressiva (agosto-ottobre) associata ad iniezione di magma. La mancanza del controllo delle variazioni di quota nelle stazioni gravimetriche impedisce evidentemente di verificare la consistenza del modello proposto.

Per il futuro è prevista la ripetizione mensile delle misure gravimetriche lungo il profilo E-O, associata possibilmente a misure di quota con tecniche GPS. Ció consentirá di risolvere le ambiguità legate all'effetto della falda freatica e di affrontare con adeguata risoluzione spazio - temporale la modellazione delle sorgenti di anomalia legate all'attività vulcanica.

Bibliografia

Ben-Avraham, Z. & Grasso, M.(1990): Collisional zone segmentation in Sicily and surrounding areas in the central Mediterranean. Annales Tectonicae, 4, 2, 131-139.

Berrino, G. (1993): Science Plan: Volcanic deformation and tidal gravity effect at Mt Etna. I Annual Report, Project n. SCI*-CT91-0700 (TSTS)

Bertagnini, A., Calvari, S., Coltelli, M., Landi, P., Pompilio, M. & Scribano, V. (1990): The 1989 eruptive sequence. In "Mt. Etna: the 1989 eruption" Barberi. F., Bertagnini, A. & Landi, P.(Eds.). Giardini, Pisa, 7-22.

Budetta, G., Grimaldi, M. & Luongo, G. (1990): Gravity variations. In "Mt. Etna: the 1989 eruption" Barberi. F., Bertagnini, A. & Landi, P.(Eds.). Giardini, Pisa, 56-57.

Budetta, G. & Del Negro, C. (1990): MIGRA. procedura software per il controllo dei rilievi microgravimetrici. In. "2° Workshop Informatica e Scienze della Terra (Sarnano)", 47-51.

Budetta, G., Grimaldi, M. & Del Negro, C. (1994): Microgravity monitoring of the 1989 SSE Etna fracture. In "The 1991-1993 Etna eruption". L. Villari (Ed.) Acta Vulcanol. 4, 115-118.

Budetta, G. & Carbone, D. (1995): Temporal gravity investigations at Mt Etna (Italy) during the 1989 and 1991-1993 eruptions. In prep.

Ferrari, L. (1991): Evoluzione vulcanologica e strutturale del Monte Etna e i suoi rapporti con il vulcanismo ibleo. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra.

Frazzetta, G. & Villari, L. (1981): The feeding of the eruptive activity of Etna volcano. The

regional stress field as a constraint to magma uprising and eruption. Bull. Volcanol., 44-3, 269-282.

La Coste & Romberg (1989): Instruction Manual Model G & D Gravity Meter

Lo Giudice, E., Patané, G., Rasá, R. & Romano, R. (1982): The structural framework of Mount Etna. Mem. Soc. Geol. It., 23, 125-158.

Scintrex Limited, (1992): Autograv Operator Manual, Version 4.4.

Laboratorio Editoriale
Resp. Luigi Muni
Istituto Internazionale di Vulcanologia - C.N.R.
Piazza Roma, 2 - 95123 Catania - 14 febbraio 1995

Il logo I.I.V. a pag.1 è di L.Muni