



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Osservatorio Vesuviano**

**MOVIMENTI VERTICALI DEL SUOLO AI CAMPI FLEGREI:  
RISULTATI DELLA LIVELLAZIONE GEOMETRICA DI  
PRECISIONE ESEGUITA NEL PERIODO DICEMBRE 2006-  
GENNAIO 2007**

*C. Del Gaudio, I. Aquino, C. Ricco, C. Serio*



*Pozzuoli Serapeo 1982*

**Open File Report n° 3 - 2007**

Osservatorio Vesuviano  
Via Diocleziano 328, 80124 Napoli (Italia)  
Tel: +39 0816108306 – Fax :+39 0816108351

## INDICE

1	Introduzione	pag. 3
2	Analisi e rappresentazione dei dati	pag. 6
3	Conclusioni	pag. 10
4	Bibliografia	pag. 10

# MOVIMENTI VERTICALI DEL SUOLO AI CAMPI FLEGREI: RISULTATI DELLA LIVELLAZIONE GEOMETRICA DI PRECISIONE ESEGUITA NEL PERIODO DICEMBRE 2006- GENNAIO 2007

*C. Del Gaudio, I. Aquino, C. Ricco, C. Serio*

INGV-OV, Unità funzionale di Geodesia, Via Diocleziano 328, 80124 Napoli. e-mail: delgaudio@ov.ingv.it

## 1 Introduzione

La rete altimetrica di precisione dei Campi Flegrei, istituita dall'Istituto Geografico Militare (IGM) nel 1905, dal 1975 è gestita dall'Osservatorio Vesuviano, Sezione di Napoli dell'I.N.G.V.

Dopo vari interventi di ampliamento, eseguiti soprattutto durante la crisi bradisismica del 1982-1984 (Berrino et al., 1984), la rete fu completamente ristrutturata nel 1987 e poi ulteriormente ampliata negli anni successivi.

Attualmente la rete è costituita da circa 340 capisaldi distribuiti su circa 135 km di linea con interdistanza media di 400 m e strutturata in quattordici circuiti concatenati che coprono un'area di oltre 160 km<sup>2</sup> (fig. 1) compresi i tratti Napoli Mergellina - Mareografo Molo Carmine e Quarto Flegreo - Qualiano.

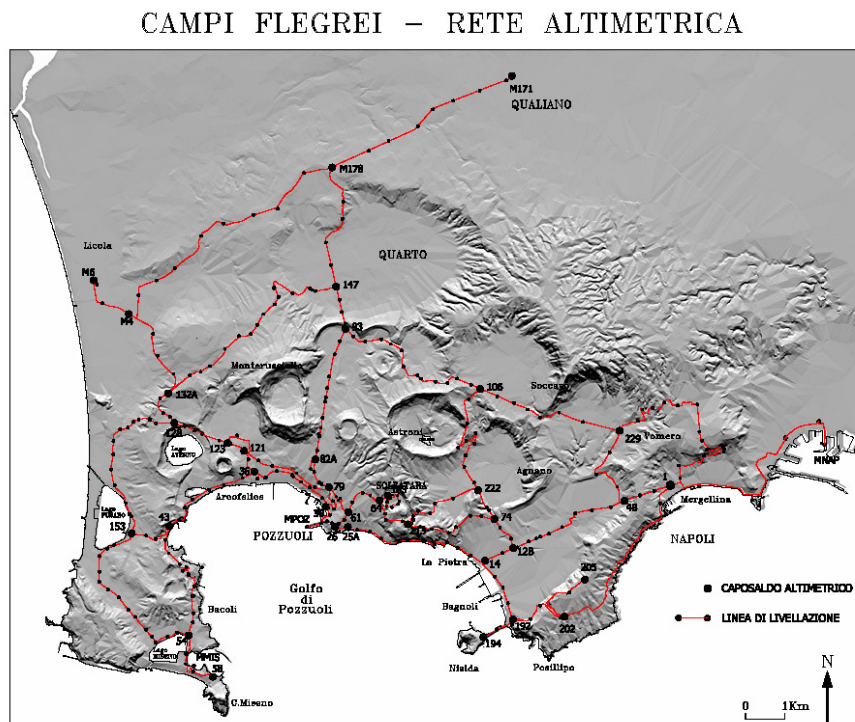


Fig. 1  
Rete altimetrica dei Campi Flegrei.

Nell'ambito del programma di sorveglianza geodetica dei Campi Flegrei, fra Dicembre 2006 e Gennaio 2007 l'INGV-OV ha eseguito una campagna di misure altimetriche che ha interessato l'intera area flegrea.

Prima dei rilievi di campagna, come di consueto, è stato eseguito un sopralluogo su tutti i punti di misurazione per il controllo e/o il ripristino dei capisaldi andati distrutti per varie cause.

E' stato inoltre effettuato un piccolo ampliamento della rete grazie all'istituzione di un nuovo tratto di linea lungo circa 700 m che, partendo dal cs. 18 (localizzato lungo Via Napoli in località La Pietra), si sviluppa parallelamente alla linea altimetrica costiera ma 20 m più a N, collegando la stazione tiltmetrica OLB installata circa 150 m all'interno della galleria, ormai dismessa dalla ferrovia SEPSA di Monte Olibano (Aquino et al., 2006; Ricco e. al., 2007). Il nuovo tratto è costituito da 13 capisaldi (olb1-olb13) che all'interno della galleria sono stati posizionati ad una interdistanza di circa 20 m (fig. 2).

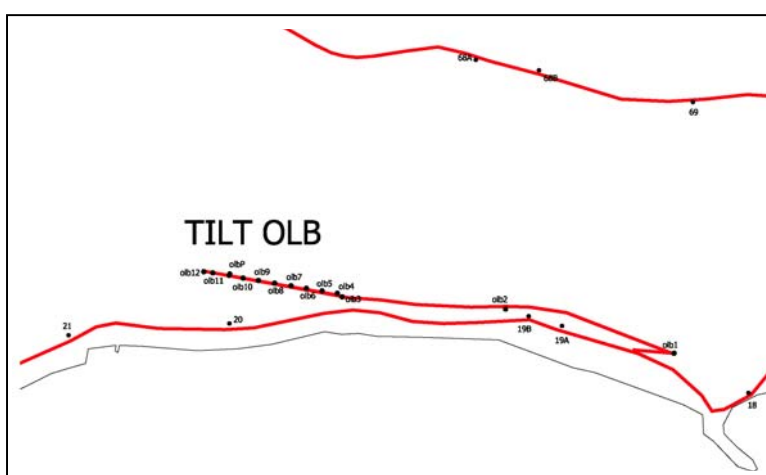


Fig. 2

Nuovo tratto della Rete altimetrica dei Campi Flegrei che collega la stazione tiltmetrica "OLB" alla rete flegrea.

Si è ritenuto opportuno tale infittimento di punti di misurazione per ottenere in futuro una maggiore definizione dell'andamento della componente verticale del campo di deformazione in prossimità del tratto di linea Costiera compreso tra i cs. 19 e 20, interessato dall'Estate dello scorso anno da una variazione tiltmetrica rilevante misurata alla stazione OLB (Ricco et al., 2007).

La campagna di livellazione, iniziata nella seconda settimana del mese di Dicembre 2006, si è conclusa nella seconda settimana di Gennaio 2007.

Le misurazioni sono state eseguite attraverso livellazione geometrica di precisione utilizzando sia livelli ottici "Wild" mod. Na2 con micrometri a lamina piano-parallela sia digitali "Leica" DNA03.

Successivamente si è proceduto alla verifica delle chiusure dei vari circuiti risultate inferiori alla tolleranza imposta dal metodo ( $T_{Max} = \pm 2\sqrt{L}$  dove L è la lunghezza del circuito in km).

In tabella 1 sono riportati i circuiti considerati con i relativi errori di chiusura.

TABELLA 1

POLIGONO	L (km)	Err. (mm)	Err. max (mm)	Err/Err max %
FA: CIRCUITO SOLFATARA	12.03	-4.2	6.9	60.5
FB: CIRCUITO STARZA	7.27	-1.1	5.4	20.4
FC: CIRCUITO AVERNO-FUSARO	11.49	0.6	6.8	8.8
FD: CIRCUITO MISENO	9.82	0.9	6.3	14.9
FE: CIRCUITO MONTERUSCIELLO	17.8	6.9	8.4	81.7
FF: CIRCUITO ASTRONI	22.1	2.30	9.4	24.5
FG: CIRCUITO AGNANO	16.4	-0.7	8.1	8.6
FH: CIRCUITO VOMERO	11.35	0.1	6.7	84.6
FI: CIRCUITO POSILLIPO	14.9	2.5	7.7	32.3
FL: CIRCUITO PISCIARELLI	6	1.2	4.9	24.6
FM: CIRCUITO POZZUOLI	3.8	3	3.9	77.0
FN: CIRCUITO INT. SOLFATARA	1.3	-1.1	2.2	49.0
FO: CIRCUITO LICOLA	20.3	-1.4	9.0	15.5
FT: CIRCUITO TOIANO	1.8	-0.4	2.7	14.9

## 2 Analisi e rappresentazione dei dati

I dati rilevati in campagna sono stati compensati ai minimi quadrati riscontrando, a conferma della buona qualità delle osservazioni, una deviazione standard per unità di peso  $\sigma_0 = 0.81$  mm; la quota di riferimento utilizzata appartiene al cs. 1 localizzato a Napoli Mergellina ( $Q_0 = 2.7540$  m s.l.m.).

Nelle figg. 3, 4 e 5 sono riportati i grafici delle variazioni di quota dei capisaldi appartenenti rispettivamente alle linee Napoli - Pozzuoli - Miseno (linea costiera), Napoli-Solfatara-Averno e Pozzuoli - Quarto - Qualiano relative al periodo Marzo 2006 - Dicembre 2006.

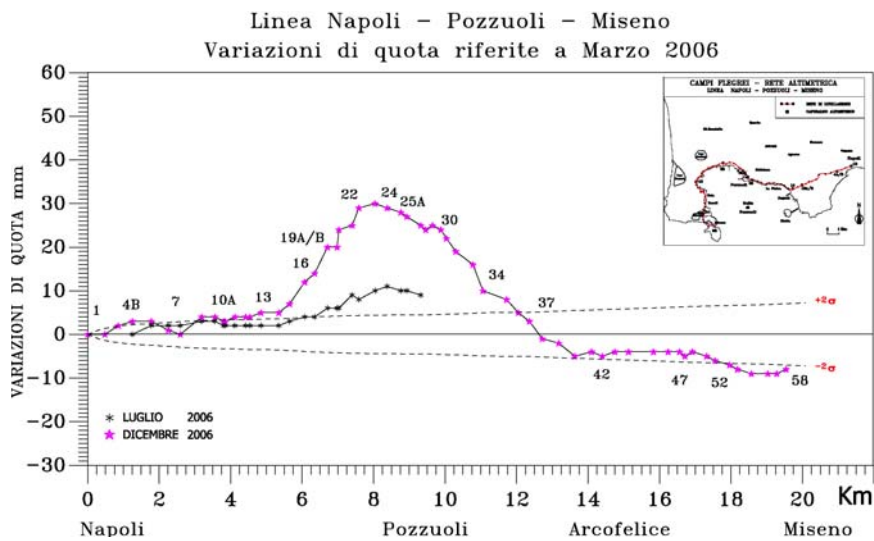
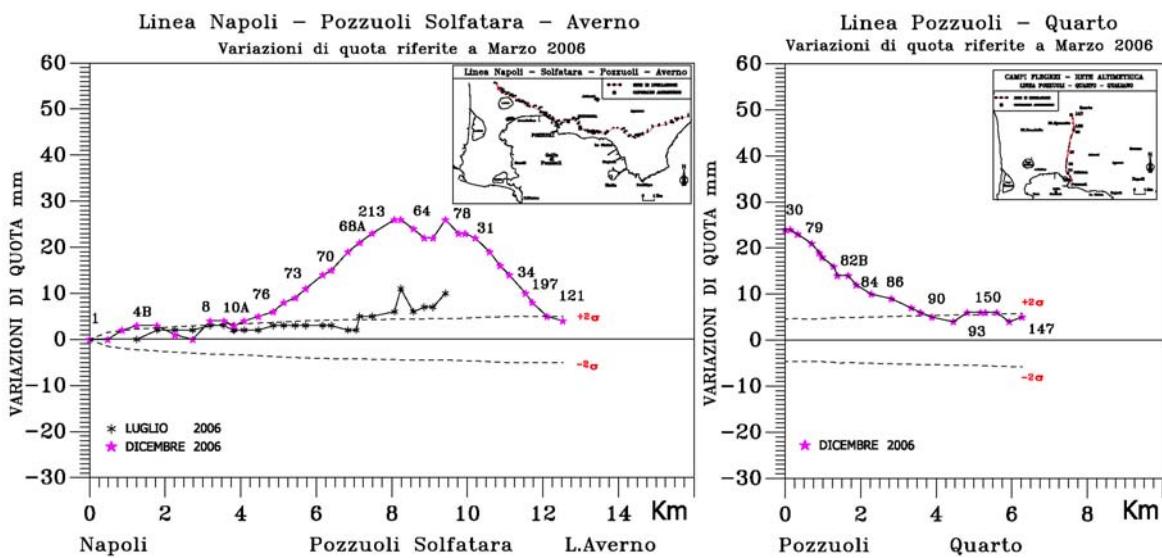


Fig. 3  
Variazioni di quota lungo la linea costiera da Marzo a Dicembre 2006  
Le linee tratteggiate rappresentano i limiti di confidenza al 95%.



Figg. 4 e 5  
Variazioni di quota lungo la linea Napoli-Solfatara-Averno e Pozzuoli-Quarto da Marzo a Dicembre 2006

Il confronto dei dati rilevati a Dicembre 2006 con quelli di Marzo 2006 mostra che l'area flegrea continua ad essere interessata da sollevamento il cui valore massimo, relativo al periodo considerato, è di 30 mm al cs. 23. Le variazioni di quota di segno positivo risultano significative lungo la linea E-W (cs. 10A ÷ 37) (fig. 3) nonché lungo la linea S-N Pozzuoli-Quarto (cs. 30 ÷ 90) (fig. 5).

Sempre lungo la linea inizia invece una leggera subsidenza a partire dal cs. 42 che però diventa statisticamente significativa solo lungo il tratto finale (cs. 52 ÷ 58) (fig. 3).

Le variazioni di quota calcolate lungo la linea Napoli-Solfatara-Averno confermano il sollevamento dell'area (fig. 4).

Nelle figure 6, 7 e 8 sono state rappresentate le variazioni di quota relative al periodo Novembre 2004 – Dicembre 2006 lungo le linee suddette.

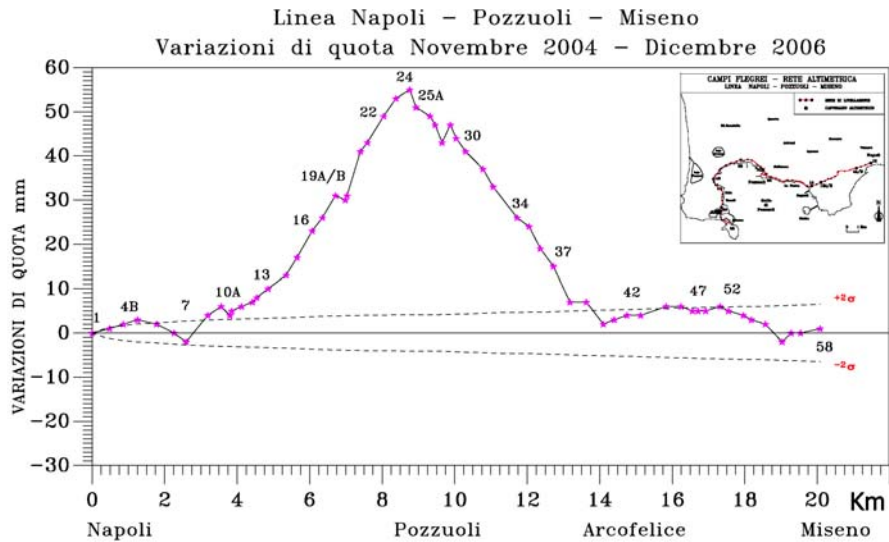
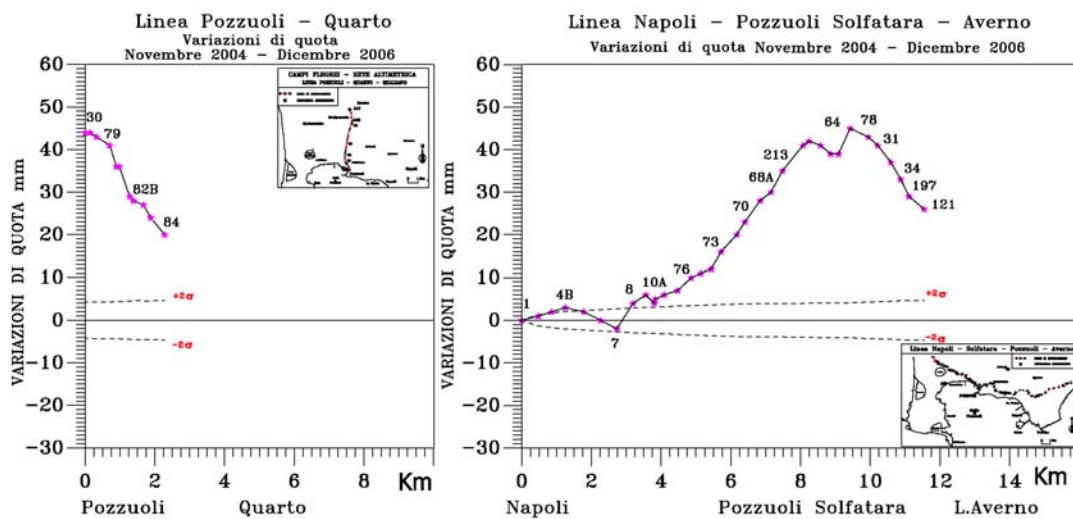


Fig. 6

Variations of elevation along the coastal line from November 2004 to December 2006



Figg. 7 e 8

Variations of elevation along the line Pozzuoli-Quarto and Napoli-Solfatara-Averno from November 2004 to December 2006

Il massimo sollevamento che ha interessato i Campi Flegrei durante la fase di inversione bradisismica iniziata nell'2004 è stato di 55 mm in corrispondenza del cs. 24 (Del Gaudio et al., 2005).

La figura 6 chiarisce che la deformazione è strettamente confinata al centro della caldera flegrea ed è delimitata, lungo la linea costiera, dai cs. 10A e 40 ma il suo massimo valore risulta però spostato di circa 260 m verso ESE rispetto all'area in cui storicamente veniva localizzato (cs.25A e 60) (fig.9).

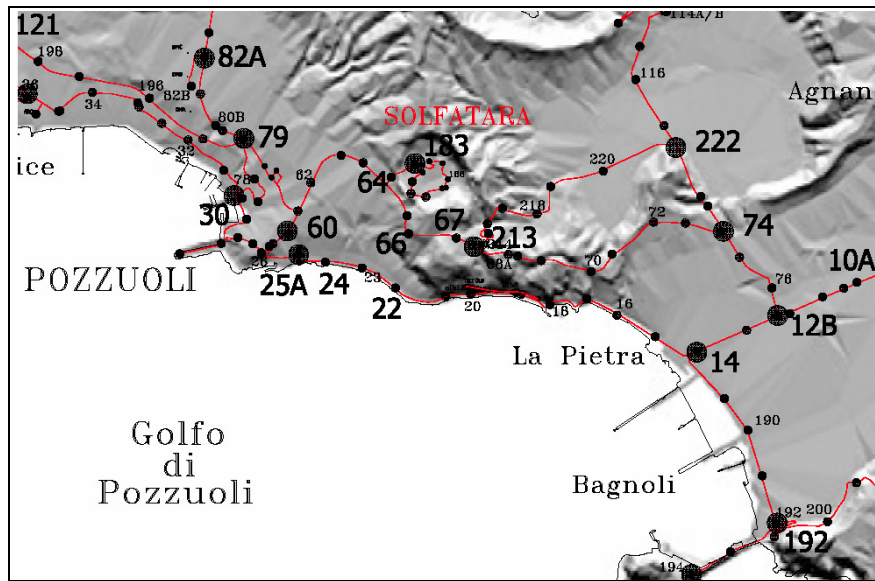


Fig. 9

Particolare della rete altimetrica dove si riscontrano i massimi valori della componente verticale del campo di deformazione.

Confrontando con la campagna di livellazione eseguita lungo tutta la rete altimetrica nel Maggio 2004, viene confermata una significativa deformazione del suolo compresa tra i cs. 10A e 40 lungo la linea (fig. 10), tra i cs. 30 e 90 lungo la linea Pozzuoli-Qualiano (fig. 11) e tra i cs. 10A e 126 lungo la linea Napoli-Solfatara–Averno (fig. 12) con un valore massimo di uplift di 47 mm al cs. 24.

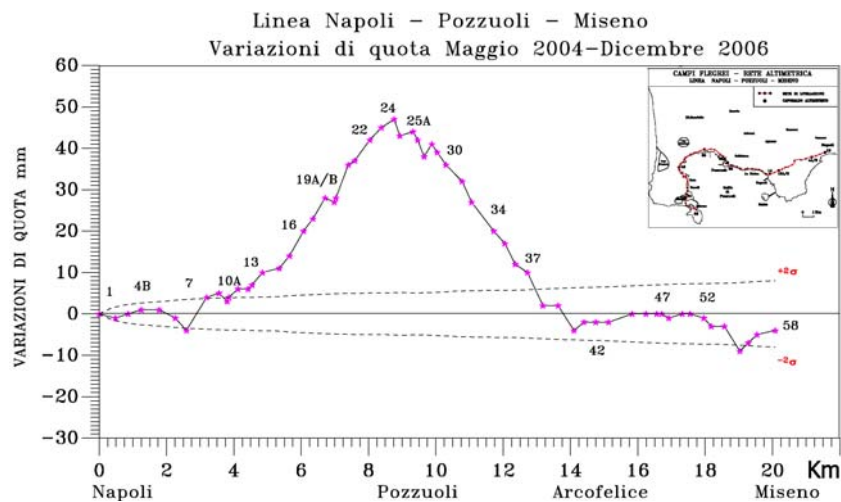


Fig. 10

Variazioni di quota lungo la linea costiera da Maggio 2004 a Dicembre 2006



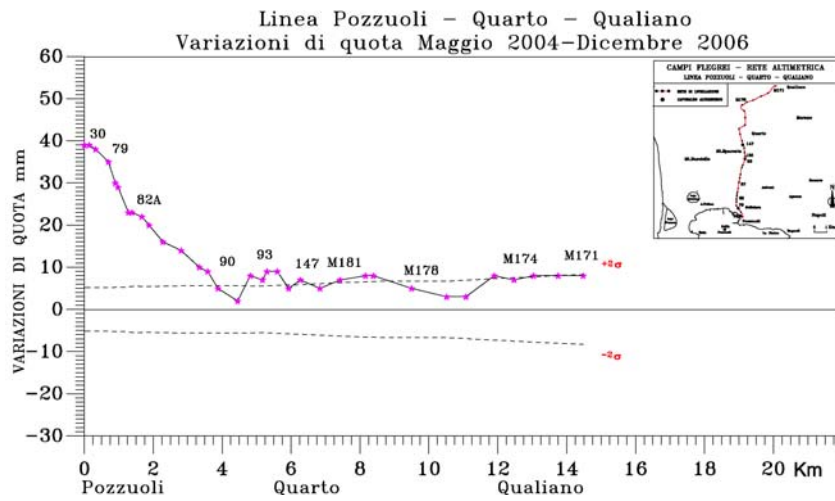


Fig. 11

Variazioni di quota lungo la linea Pozzuoli-Quarto-Qualiano da Maggio 2004 a Dicembre 2006

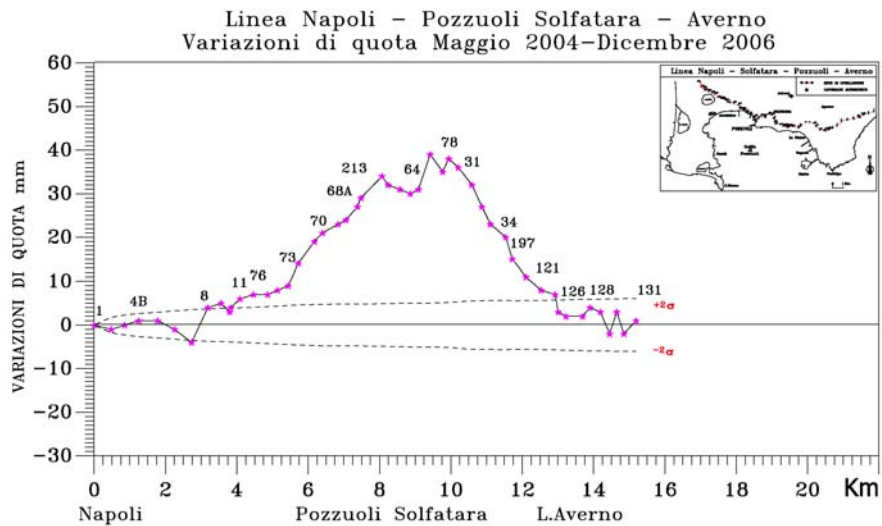


Fig. 12

Variazioni di quota lungo la linea Napoli-Solfatara-Averno da Maggio 2004 a Dicembre 2006

### 3 Conclusioni

Dopo il sollevamento avvenuto nel 2000, è iniziata una fase di subsidenza del suolo con velocità di abbassamento iniziale di circa 5 mm/mese, tale velocità è andata diminuendo fino al 2003 quando ha raggiunto valori prossimi allo zero (fig. 13).

Nel 2004 è iniziata una nuova fase di uplift con velocità media di 2.6 mm/mese e le misure altimetriche del Dicembre 2006 hanno confermato la persistenza del fenomeno.

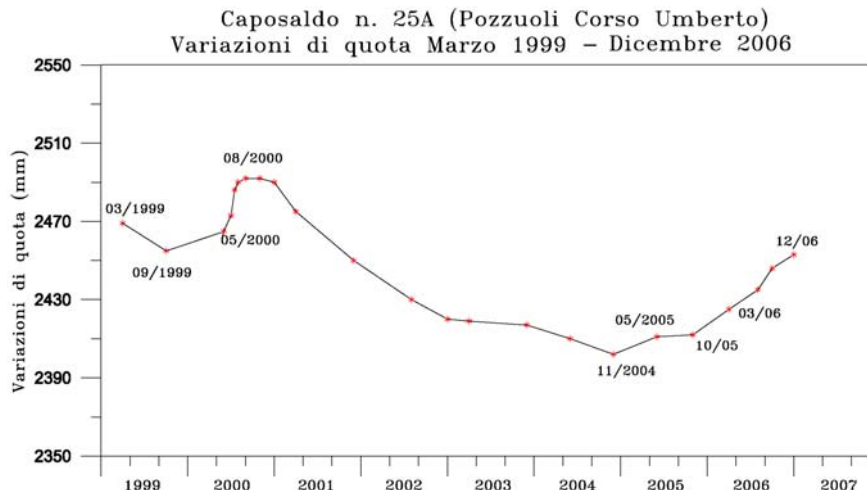


Fig. 13

Andamento della componente verticale della deformazione del suolo misurata al cs. 25A da Marzo 1999 a Dicembre 2006.

In particolare, nel periodo Luglio - Dicembre 2006, l'area è stata ancora interessata da un sollevamento il cui massimo oscilla tra 19 e 20 mm e si riscontra ai cs. 22, 23, 24, 66 e 67 (Fig. 9) a conferma, fino a questo momento, di una leggera migrazione dell'area di massima deformazione verticale verso ESE.

### Ringraziamenti

Giuseppe Brandi per la disponibilità e l'impegno che ha sempre dimostrato nella gestione della rete altimetrica dei Campi Flegrei;

Santa Malaspina per il contributo fornito nell'organizzazione della campagna di livellazione;

Folco Pingue per i dati di campagna delle misurazioni eseguite a Marzo 2006.

### 4 Bibliografia

Aquino I., Ricco C., Del Gaudio C. "La Rete Tiltmetrica dell'area napoletana". Open File Report Osservatorio Vesuviano, n. 4 (2006.)

Berardino P., Borgström S., Cecere G., Del Gaudio C., De Martino P., Fornaro G., Lanari R., Ricciardi G.P., Ricco C., Sansosti E., Sepe V., Siniscalchi V. "Un approccio multimetodologico per il controllo delle deformazioni nell'area flegrea". Atti della 6° Conferenza Nazionale dell'ASITA, Perugia 5-8 Novembre 2002, 1: 409-416.

- Berrino, G., Corrado, G., Luongo, G., Toro, B., (1984). *Ground deformation and gravity changes accompanying the Pozzuoli uplift*. Bulletin Volcanologique 47, 187–200.
- Borgström S., Aquino I., Del Gaudio C., De Martino P., Ricco C., Siniscalchi V., Solaro G., Tizzani P., Ricciardi G.P. "A new approach for ground deformation monitoring in volcanic areas: the case of the Phlegrean Fields (Naples, Italy)". Atti del 3° Workshop AIT sul Telerilevamento a Microonde, Napoli 25-26 Novembre 2004, Volume Speciale della Rivista Italiana di Telerilevamento, 2006, **35**: 7-19.
- Corrado, G., Palumbo, A., (1969) *Osservazioni sul bradisisma flegreo*. Boll. Soc. Nat., Napoli 78, 11-16
- Corrado, G., Guerra, I., Lo Bascio, A., Luongo, G., Rampoldi, F., 1977. *Inflation and microearthquake activity of Phlegraean Fields, Italy*. Bull. Volcanol. 40 (3), 169-188.
- Civetta, L. et al. (1995). *La Sorveglianza delle Aree Vulcaniche Napoletane (1995)*. Pubblicazione Osservatorio Vesuviano Settembre 1995.
- Del Gaudio C., Ricco C., Aquino I., Brandi G., Serio C., Siniscalchi V. (2005). *Misure di livellazione di precisione e dati tiltmetrici per il controllo delle deformazioni del suolo ai Campi Flegrei*. Open File Report Osservatorio Vesuviano, n. 4 (2005.)
- Lanari R., Bernardino P., Borgstrom S., Del Gaudio C., De Martino P., Fornaro G., Guarino S., Ricciardi G. P., Sansosti E., Lundgren P. (2004). *The use of IFSAR and classical geodetic techniques in civil protection scenarios: application to the Campi Flegrei uplift event of 2000*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 133, 247-260.
- Luongo G., Del Gaudio C., Obrizzo F. & Ricco C. (1989). *Deformazione del suolo dell'area flegrea durante la fase di bradisismo discendente 1985-1989*. Boll. GNV, 1:327-343.
- Orsi G., Civetta L., Del Gaudio, C., de Vita, S., Di Vito, M.A., Isaia R., Petrazzuoli, S.M., Ricciardi, G. & Ricco, C. (1999). *Short-term ground deformations and seismicity in the resurgent Campi Flegrei caldera (Italy): an example of active block-resurgence in a densely populated area*. J. Volcanol. Geotherm. Res., Special Issue "Volcanism in the Campi Flegrei" Orsi G., Civetta L., Valentine G.A. (Eds), **91** (2-4): 415-451.
- Pingue F., De Martino P., Obrizzo F., Serio C., Tammaro U. (2006). *Stima del campo di spostamento ai Campi Flegrei da dati CGPS e di livellazione di precisione nel periodo maggio 2004 – marzo 2006*. Open File Report INGV-Osservatorio Vesuviano, n. 5 (2006).
- Ricco C., Del Gaudio C., Obrizzo F. & Luongo G. (1991). *Misurazioni delle variazioni delle inclinazioni del suolo ai Campi Flegrei*. Atti 10° Convegno GNGTS, Roma, II: 1003-1012.
- Ricco C., Del Gaudio C., Ricciardi G.P. & Civetta L. (1994). *Rapporto sulla crisi bradisismica del 23-26 Agosto 1994*. Technical Report Oss. Vesuviano, settembre 1994.
- Ricco C., Aquino I., Del Gaudio C. (2003). *Ground tilt monitoring at Phlegraean Fields (Italy): a methodological approach*. Ann. of Geophys., **46** (6): 1297-1314.
- Ricco C., Aquino I., Del Gaudio C. "Studio dell'inversione tiltmetrica registrata da Luglio ad Ottobre 2006 ai Campi Flegrei". Open File Report Osservatorio Vesuviano, n. 1 (2007.)