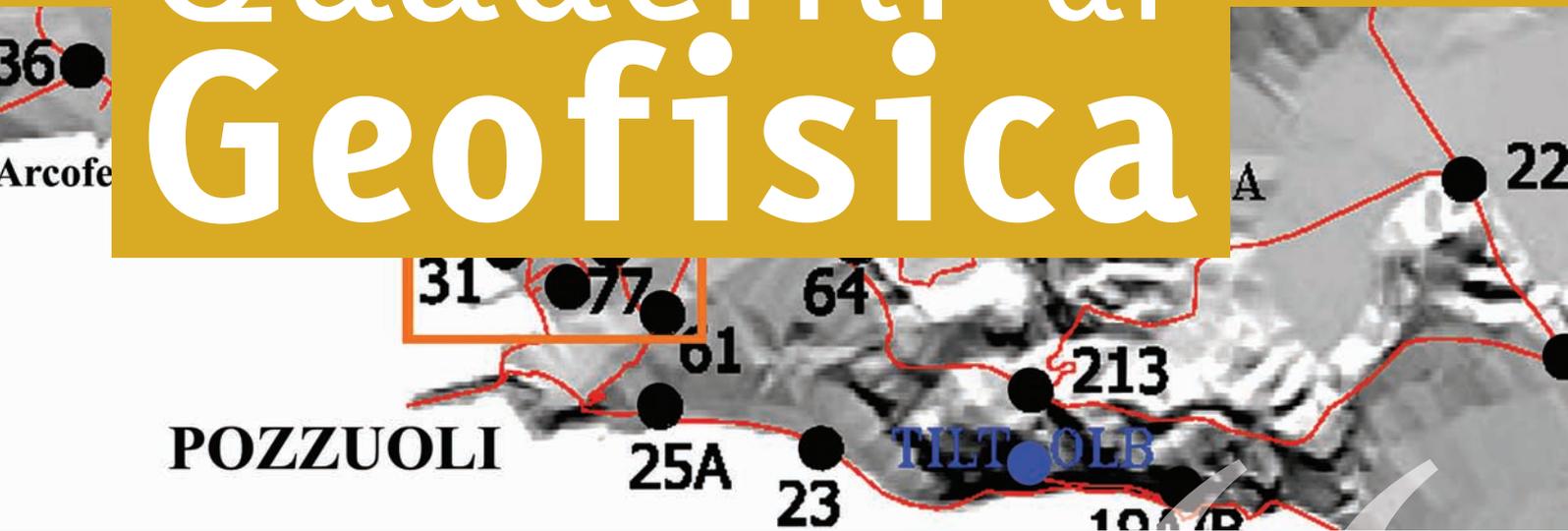


Monitoraggio geodetico
dell'area vulcanica napoletana:
risultati della livellazione
geometrica di precisione
eseguita ai Campi Flegrei
a settembre 2008

Quaderni di Geofisica



Quaderni di Geofisica

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



Monitoraggio geodetico dell'area vulcanica napoletana: risultati della livellazione geometrica di precisione eseguita ai Campi Flegrei a settembre 2008

Geodetic Surveillance of the Neapolitan Volcanic Area: Results of the Precision Levelling Performed at the Campi Flegrei in September 2008

Carlo Del Gaudio, Ida Aquino, Ciro Ricco, Claudio Serio

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

Monitoraggio geodetico dell'area vulcanica napoletana: risultati della livellazione geometrica di precisione eseguita ai Campi Flegrei a settembre 2008

Lo studio ed il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo ai Campi Flegrei (Italy) sono effettuati con continuità da oltre 30 anni, operando su linee di livellazioni preesistenti istituite e/o ampliate da vari Enti a partire dal 1905 (IGM, Genio Civile e lo stesso INGV- NA Oss. Vesuviano).

Attraverso i dati rilevati dal 1970 ad oggi sono state acquisite molte informazioni sulla deformazione del suolo durante le varie fasi di bradisismo discendente e ascendente ed attualmente si dispone di un importante data-base che può essere integrato con i risultati ottenuti dalle altre metodologie geodetiche.

In questa nota presentiamo i risultati della campagna di livellazione geometrica di precisione eseguita su alcuni tratti della rete altimetrica dei Campi Flegrei nel Settembre 2008.

Dopo la fase di lento sollevamento, iniziata nel 2004 e culminata alla fine del 2006 con un valore massimo di 55 mm rilevato a Pozzuoli (Lungomare Pertini) al caposaldo n. 23, nell'area flegrea è ripresa una fase di lenta subsidenza caratterizzata da una evidente decelerazione durante il 2008 rispetto all'anno precedente.

Per delineare meglio e dettagliare l'attuale fase del bradisismo flegreo, si è ritenuto utile effettuare il confronto tra i dati altimetrici acquisiti nelle ultime 3 campagne (2006, 2007 e 2008) da cui è emersa una evidente disomogeneità del campo di spostamento verticale osservato.

The study of vertical ground movements at Campi Flegrei (Italy) have been carried out with continuity for over 30 years through working on levelling network established and extended by various Institutions since 1905 (IGM, Genio Civile e INGV- NA Oss. Vesuviano).

Through the data collected since 1970 to date much information on the ground deformation have been acquired during the various stages of bradyseism movement and now we have a dataset that can be integrated with the results obtained by other geodetical and geophysical methods.

In this report we present the results of the last Geometric High Precision Levelling survey performed on designated segments of the Campi Flegrei Network in September 2008.

After an initial phase of slow uplift, started in 2004 and culminated in the late 2006 with a maximum of 55 mm recorded in the area of Pozzuoli (Lungomare Pertini - benchmark n.23), a phase of slow subsidence started again which was characterized by a clear deceleration in 2008 compared to the previous year.

To better define and focus on the current phase of the phlegraean bradyseism, it was considered useful to make comparisons between the altimetric data acquired in the last 3 years (2006, 2007 and 2008). The result that came out was a different values in the vertical displacement field.

Introduzione

I Campi Flegrei costituiscono un'area vulcanica attiva, localizzata ad Ovest della città di Napoli, la cui struttura principale è caratterizzata da una complessa caldera risorgente formatasi in seguito a due grandi collassi calderici dovuti alle eruzioni dell'Ignimbrite Campana (39 ka) e del Tufo Giallo Napoletano (15 ka) [Orsi et al., 1999; Orsi et al., 2004; Deino et al., 2004].

Dopo la messa in posto del Tufo Giallo Napoletano, l'attività vulcanica recente dei Campi Flegrei è rimasta confinata all'interno della caldera ed è stata caratterizzata da numerose eruzioni, per la maggior parte esplosive ed alcune eruzioni effusive [Di Vito et al., 1999]. L'ultimo evento eruttivo è stato quello del 1538 che ha generato il *Tuff Cone* di Monte Nuovo [Di Vito et al., 1987; D'Oriano et al., 2005; Piochi et al., 2005]. Tale evento, manifestato con un sollevamento del suolo di vari metri dell'area centrale della caldera, è stato accompagnato da un'intensa attività sismica avvertita nelle aree circostanti fino a Napoli [Parascandola, 1947].

Successivamente alla formazione di Monte Nuovo, il moto del suolo ha esibito un trend in abbassamento fino alla metà del secolo scorso [Parascandola 1947; Dvorak et al., 1991].

Negli ultimi decenni le maggiori e meglio documentate crisi sono quelle del 1969-1972, con un sollevamento massimo di 1.766 m ($\pm 6\text{mm}$) e circa 4000 eventi sismici gran parte dei

quali poco avvertiti dalla popolazione [Zugiani, 1972; Corrado et al., 1977], e del 1982-1984, caratterizzata da un sollevamento massimo di 1.788 m ($\pm 5\text{mm}$) e circa 15000 eventi sismici molti dei quali avvertiti dalla popolazione [Barberi et al., 1984; Barberi et al., 1989; Berrino et al., 1984; Luongo, 1986; Dvorak et al., 1991].

Con il terremoto del 8 Dicembre 1984 di magnitudo 4.2 [Orsi et al., 1999], localizzato in area Solfatara, si è chiusa l'ultima grande crisi bradisismica; infatti nel Gennaio 1985 è iniziata una fase di subsidenza che, in oltre vent'anni, ha consentito di recuperare circa il 53% della massima deformazione verticale misurata dal 1982 al 1984.

In questo lavoro vengono presentati i risultati della campagna di livellazione geometrica di precisione eseguita a Settembre 2008 ai Campi Flegrei, analizzando, alla luce dei dati recenti, la variazione della componente verticale del campo di deformazione del suolo nell'area (Del Gaudio, et al. 2005; Del Gaudio, et al. 2007).

1. Rete di Livellazione

La rete altimetrica di precisione dei Campi Flegrei fu istituita dall'IGM nel 1905 ed è gestita dall'Osservatorio Vesuviano, sezione di Napoli dell'INGV, a partire dal 1975. Dopo vari interventi di ampliamento, eseguiti soprattutto

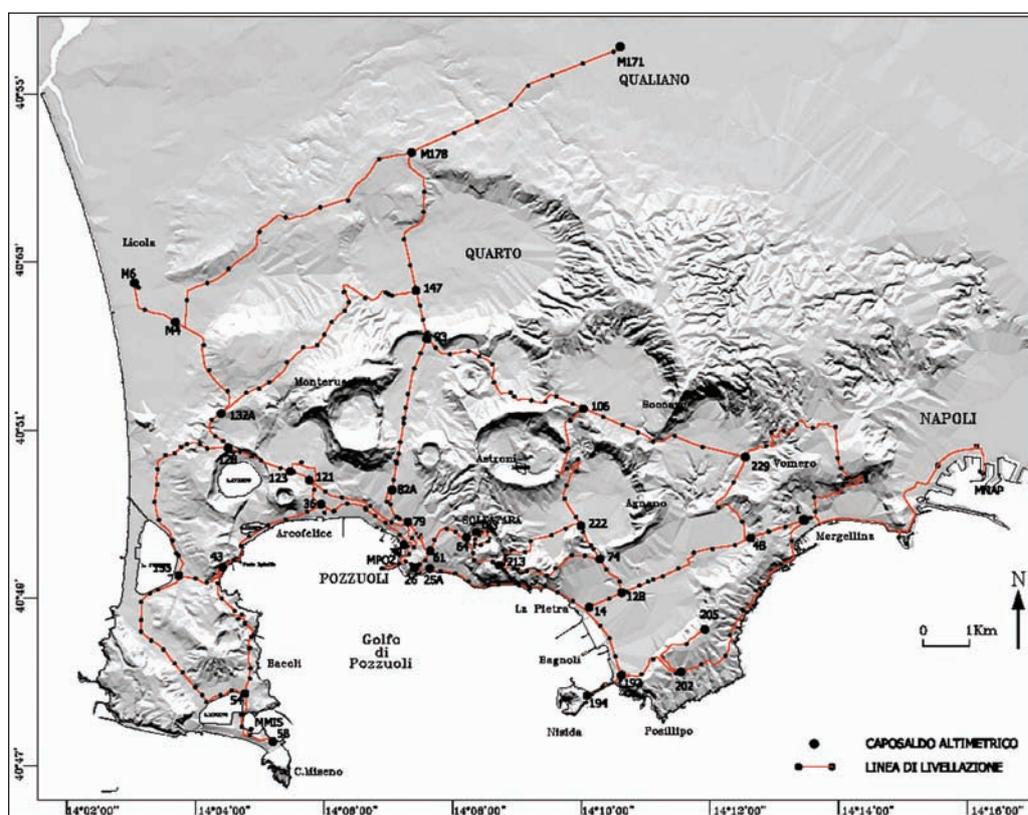


Figura 1 Rete di Livellazione di precisione dei Campi Flegrei.
Figure 1 The High Precision Levelling Network of the Campi Flegrei.

durante la crisi bradisismica del 1982-1984, fu completamente ristrutturata nel 1987 e poi ulteriormente ampliata negli anni successivi [Del Gaudio et al., 1987]. Essa ricopre l'intera area flegrea da Napoli a Miseno, spingendosi a Nord fino a Qualiano e ad Est fino al mareografo del molo Carmine (Napoli), su una superficie di oltre 160 km²; si sviluppa linearmente per circa 135 km con 350 capisaldi ed è organizzata in 14 circuiti concatenati (Fig. 1).

La rete è vincolata al caposaldo (cs) di riferimento "1" di Napoli Mergellina (Torretta di Chiaia, Chiesa di Santa Maria della Neve), localizzato all'esterno della caldera flegrea in area considerata più stabile rispetto alla dinamica attesa ed è agganciata a quella vesuviana costituendo di fatto un'unica rete di livellazione dell'area vulcanica napoletana (Fig. 2).

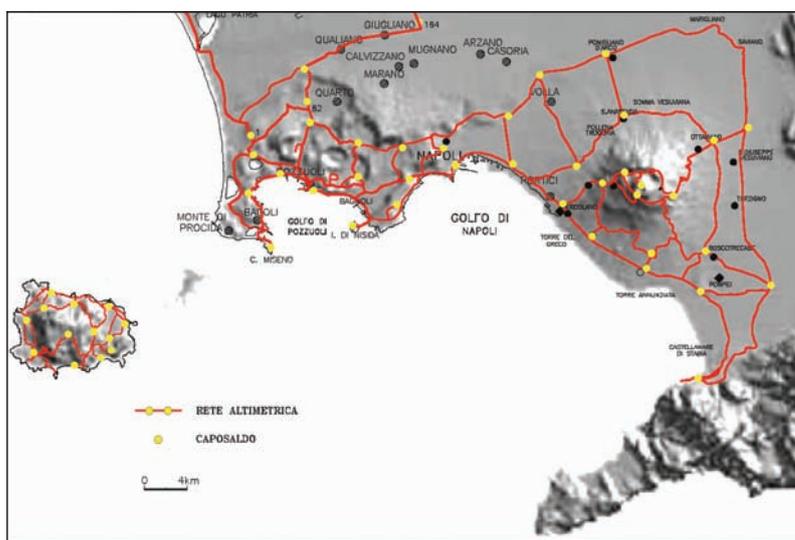


Figura 2 Rete di Livellazione di precisione dell'area vulcanica napoletana.
Figure 2 The High Precision Levelling Network of the Neapolitan Volcanic Area.

2. Campagna di Livellazione del 2008

Nel Settembre 2008, nell'ambito del programma di sorveglianza geodetica, sono state eseguite misure altimetriche di precisione che hanno interessato una parte della rete di livellazione dell'area flegrea.

Le misurazioni hanno interessato la linea Costiera (Napoli – Pozzuoli – Misero) (cs 1 ÷ cs 58), la linea Solfatara (Napoli – Pozzuoli Solfatara – Averno) (cs 59 ÷ cs 76), la linea Pozzuoli – Quarto (cs 30 ÷ cs 147) e i collegamenti alle stazioni mareografiche e tiltmetriche operanti in continuo nell'area (Fig. 3).

Come di consueto, i rilievi di campagna sono stati preceduti da una ricognizione dei capisaldi interessati dalle misurazioni, ripristinando quelli eventualmente mancanti per cause dovute all'intensa urbanizzazione dell'area.

La campagna di livellazione si è conclusa agli inizi del mese

di Ottobre 2008 ed è stata eseguita secondo le norme di precisione, impiegando 2 squadre operative che hanno utilizzato autolivelli ottici *Wild* mod. Na2 corredati di micrometri a lamina piano-parallela e stadie con graduazione centimetrica su nastro invar.

La validazione dei dati raccolti è stata eseguita sia tramite il controllo giornaliero delle chiusure dei dislivelli tra singoli capisaldi, misurati 2 volte (andata e ritorno), che delle chiusure finali dei 2 circuiti concatenati Solfatara (*Loop FA*) e Pozzuoli (*Loop FM*) (Fig. 3).

La buona coerenza dei dati acquisiti (e cioè l'assenza di chiusure molto alte tra i tratti) è stata desunta dagli errori di chiusura dei circuiti *Loop FA* e *Loop FM* che sono risultati inferiori alla tolleranza massima calcolata attraverso la formula $E_{max} = \pm 2\sqrt{L}$ dove L è la lunghezza del circuito in km.

In particolare:

- Circuito Solfatara (*Loop FA*) chiusura Err. = +2.81 mm su 11.978 km di lunghezza ($E = 41\% E_{max}$);
- Circuito Pozzuoli (*Loop FM*) chiusura Err. = -1.90 mm su 3.258 Km di lunghezza ($E = 55\% E_{max}$).

A questo punto, i dislivelli misurati sono stati sottoposti a compensazione rigorosa ai minimi quadrati, fissando come quota di riferimento quella del cs 1 ($Q = 2.754$ m) e calcolando rispetto ad essa le quote più probabili di tutti i capisaldi della rete. La deviazione standard dell'unità di peso è risultata essere uguale a $\sigma_0 = 0.511$ mm ad ulteriore conferma della buona qualità dei dati.

3. Analisi dei dati

Le misure del Settembre 2008 sono state confrontate con quelle relative alla campagna di livellazione, su tratti parziali della rete flegrea, eseguita nel Dicembre 2007 (Fig. 4).

I risultati sono riassunti nei grafici seguenti in cui sono rappresentate a tratto continuo le variazioni di quota dei capisaldi ed a tratteggio i limiti della banda di confidenza al 95% ($\pm 2\sigma$) relativa alle serie messe a confronto.

Non si evidenziano nel complesso significative variazioni altimetriche lungo le linee Costiera (Fig. 5) e Pozzuoli – Quarto (Fig. 6).

Piccoli valori di subsidenza, che si posizionano all'esterno dei limiti di errore, si ritrovano solo sul tratto di linea Costiera compreso tra i cs 4B e cs 8 situati lungo Viale Augusto a Napoli Fuorigrotta, in prossimità dell'area interessata dai recenti lavori per il completamento della ferrovia sotterranea LTR (Linea Tranviaria Rapida) (Fig. 3).

Per quanto riguarda invece la linea Solfatara, sono stati riscontrati valori significativi di abbassamento, poiché eccedono i limiti dell'errore, in una zona immediatamente a Nord della stazione tiltmetrica OLB (Fig. 7).

La disomogeneità del campo di deformazione dell'area flegrea, dovuta alla modulazione operata da strutture locali,

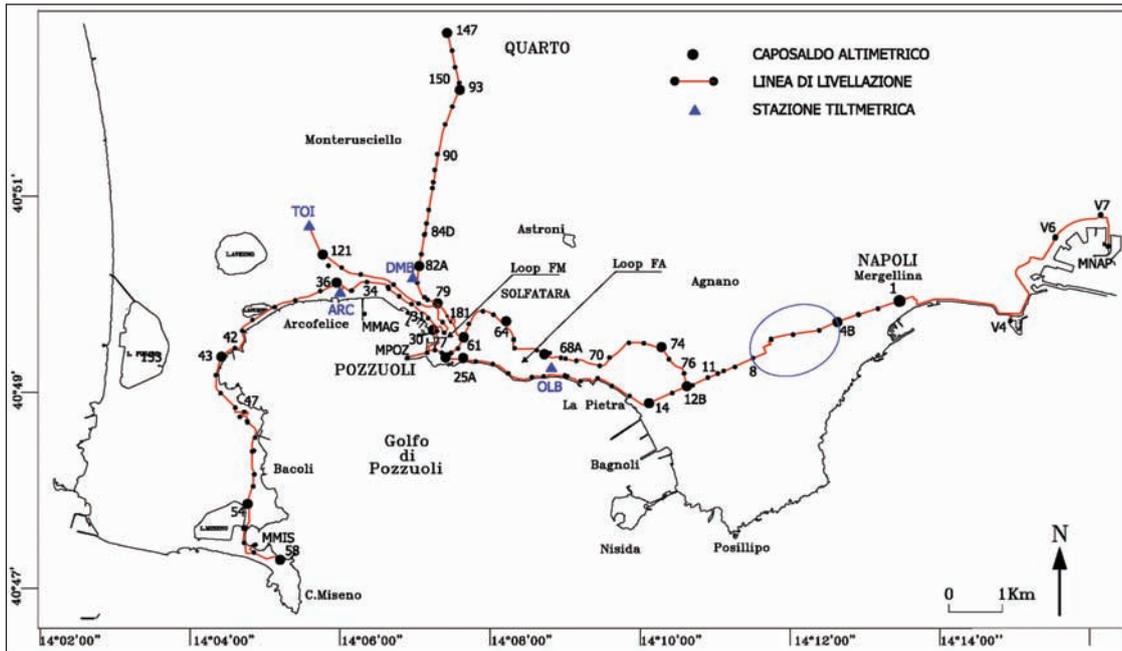


Figura 3 Tratti della rete di livellazione dei Campi Flegrei interessati dalle misurazioni del Settembre 2008. L'area delimitata con l'ellisse colorata in blu, indica la parte di rete altimetrica interessata dai lavori del sistema metropolitano di Napoli denominato Linea Tranviaria Rapida (LTR-Linea 6). Il primo tratto della linea 6 è stato inaugurato all'inizio del 2007 ed è comprensivo di quattro stazioni: Mostra, Augusto, Lala e Mergellina le cui prime tre sono comprese nell'area delimitata in blu tra i capisaldi n. 4B e 8.

Figure 3 Designated segments of the Campi Flegrei Levelling Network subjected to measurements in September 2008. The area circled in blue indicates the part of altimetric network interested by the work (development) of Metro Napoli system named "Rapid-Trams" (LTR Line 6). The first section of line 6 was inaugurated in early 2007 and includes four stations: Mostra, Augusto, Lala and Mergellina; the first three are included within the circle between the benchmarks number 4B and 8.

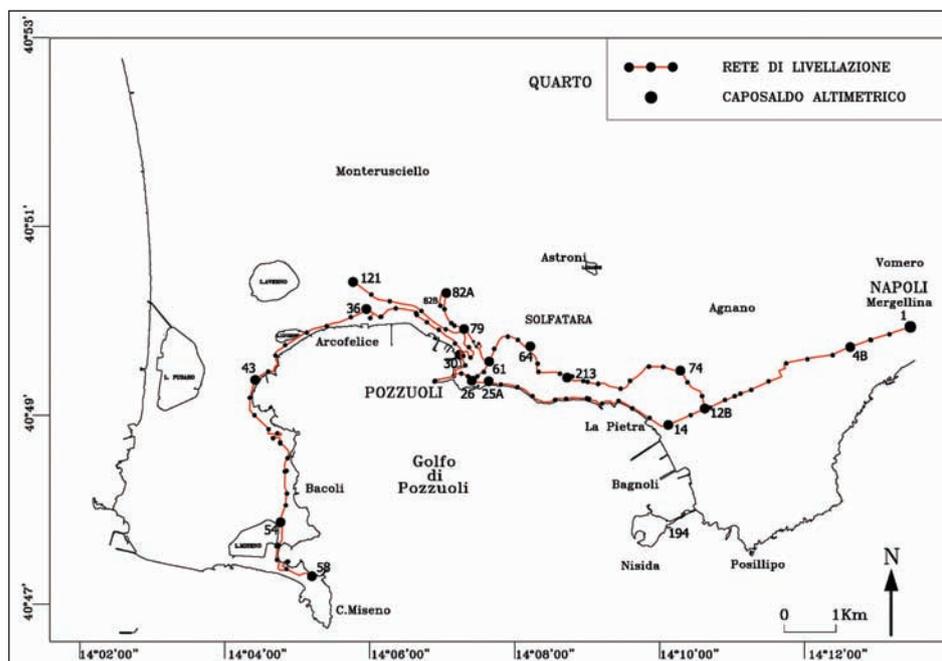


Figura 4 Tratti della rete di livellazione dei Campi Flegrei interessati dalle misurazioni del Dicembre 2007: linee Costiera e Solfatara, tratto della linea Pozzuoli – Quarto (tra il cs 30 ed il cs 82 A/B) e collegamenti alle stazioni mareografiche e tiltmetriche.

Figure 4 Sections of the Campi Flegrei Levelling Network where measurements took place in December 2007: Costiera and Solfatara lines, sections of Pozzuoli – Quarto line (between Bm 30 and Bm 82A/B) and links to the Tide Gauge and Tiltmetric stations.

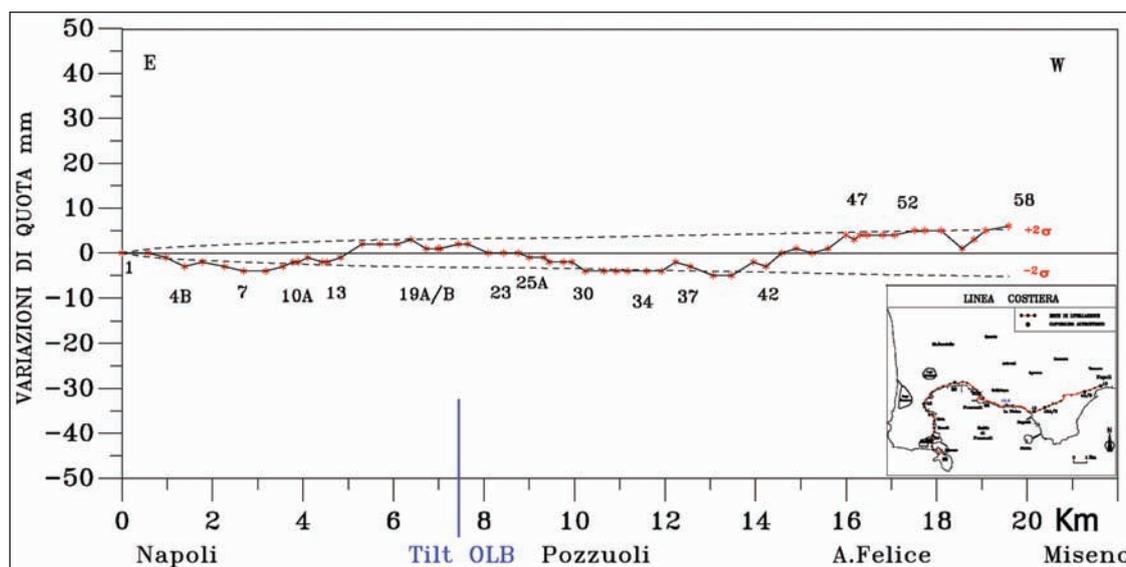


Figura 5 Variazioni di quota Dicembre 2007 – Settembre 2008 lungo la linea Costiera (Napoli – Pozzuoli – Miseno). In blu è indicato il sito della stazione tiltmetrica OLB ubicata sotto il Monte Olibano.
Figure 5 Vertical displacements - December 2007, September 2008- along Costiera Line (Napoli – Pozzuoli – Miseno). “OLB” is the Tiltmetric station, installed under Monte Olibano.

viene pertanto evidenziata dai dati di livellazione che delineano in particolare un’area ad alto gradiente di deformazione, ubicata in prossimità del Monte Olibano ed i cui effetti sono visibili sui segnali tiltmetrici registrati dalla stazione

OLB [Ricco et al., 2007].

Per fornire dunque informazioni più dettagliate sull’andamento della componente verticale del campo di deformazione del suolo ai Campi Flegrei, è opportuno riferire le quote

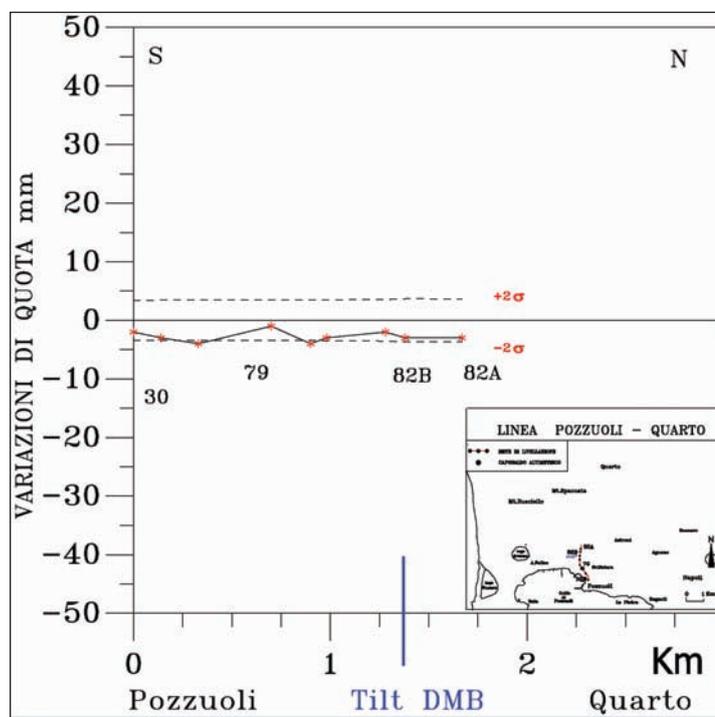


Figura 6 Variazioni di quota Dicembre 2007 – Settembre 2008 lungo la linea Pozzuoli – Quarto. In blu è indicato il sito della stazione tiltmetrica DMB ubicata in località Via Campana (ex deposito carburanti Marina Militare).
Figure 6 Vertical displacements -December 2007, September 2008- along Pozzuoli – Quarto line. “DMB” is the Tiltmetric station, installed under Via Campana Pozzuoli (former reservoir fuel Marina Militare).

altimetriche del Dicembre 2007 e Settembre 2008 a quelle acquisite nel Dicembre 2006, quando fu eseguita una campagna di livellazione su tutta la rete, riscontrando il valore massimo del lento sollevamento iniziato nel 2004 (+55 mm al cs 24) [Del Gaudio et al., 2005; Del Gaudio et al., 2007] (Fig. 8). Dai confronti 2006-2007 (curva blu) e 2006-2008 (curva rossa) si evince un significativo abbassamento del suolo nel periodo 2006-2007 ed un evidente rallentamento della subsi-

denza in quello successivo (Figg. 10, 11 e 12). L'abbassamento maggiore stimato in - 24 mm è stato calcolato tra il 2006 ed il 2008 nell'area immediatamente a Nord del "Rione Terra" a Pozzuoli compresa tra i capisaldi n. 31, 77, 78 e 181 (Fig. 9).

Osservando le 2 curve relative alle variazioni di quota lungo la linea Costiera, mostrate nel grafico di Fig. 10, si nota che esse si avvicinano fino ad intersecarsi in 4 punti, individuando

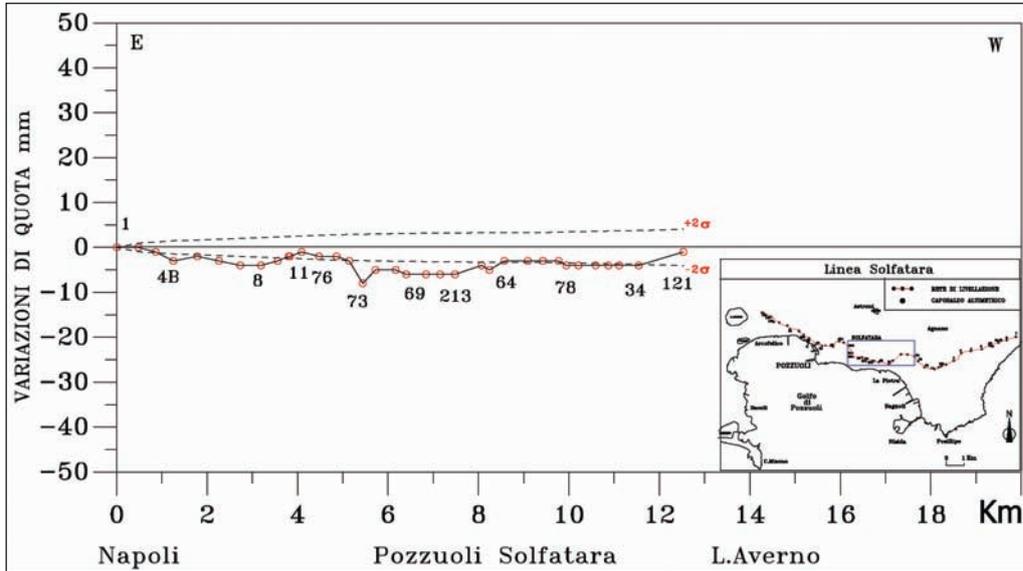


Figura 7 Variazioni di quota Dicembre 2007 – Settembre 2008 lungo la linea Solfatara (Napoli – Pozzuoli Solfatara – Averno). Le differenze di quota calcolate nel tratto cs 64 ÷ cs 76 (area delimitata dal rettangolo blu in cartina) si posizionano al di sotto della fascia di confidenza ed indicano subsidenza.
Figure 7 Vertical displacements –December 2007, September 2008– along Solfatara Line (Napoli – Pozzuoli – Averno). Vertical displacements calculate along the section between Bm 64 – Bm 76 (area bounded by the blue rectangle) are positioned below the band of confidence and they indicate subsidence.

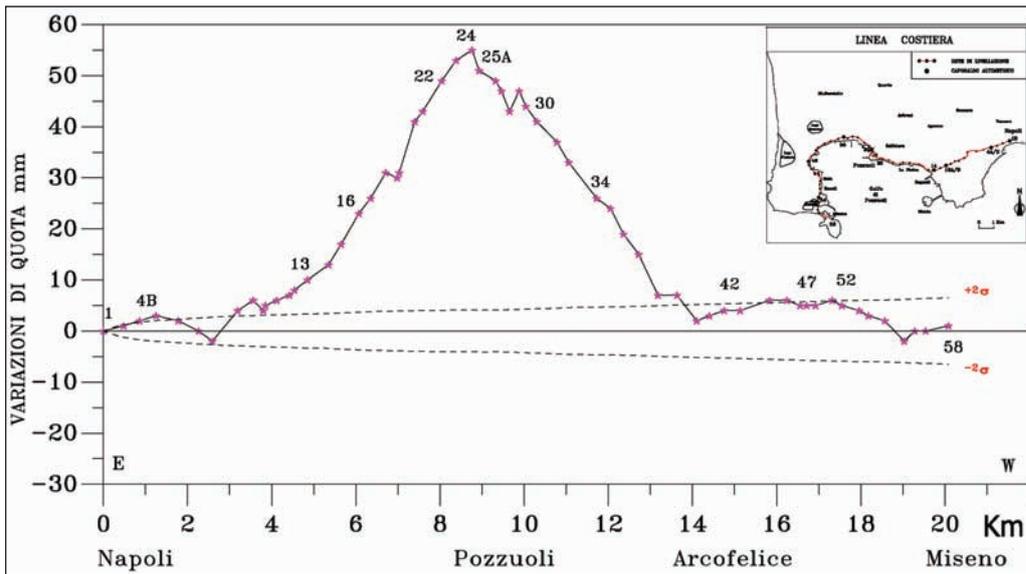


Figura 8 di quota - Novembre 2004, Dicembre 2006 - lungo la linea Costiera (Napoli – Pozzuoli – Miseno). Al cs 24 è stato calcolato il valore massimo (+55 mm) di sollevamento dal 2004.
Figure 8 Vertical displacements –November 2004, December 2006– along Costiera Line. At Bm 24 the maximum value of uplift (+ 55 mm) has been calculated since 2004.

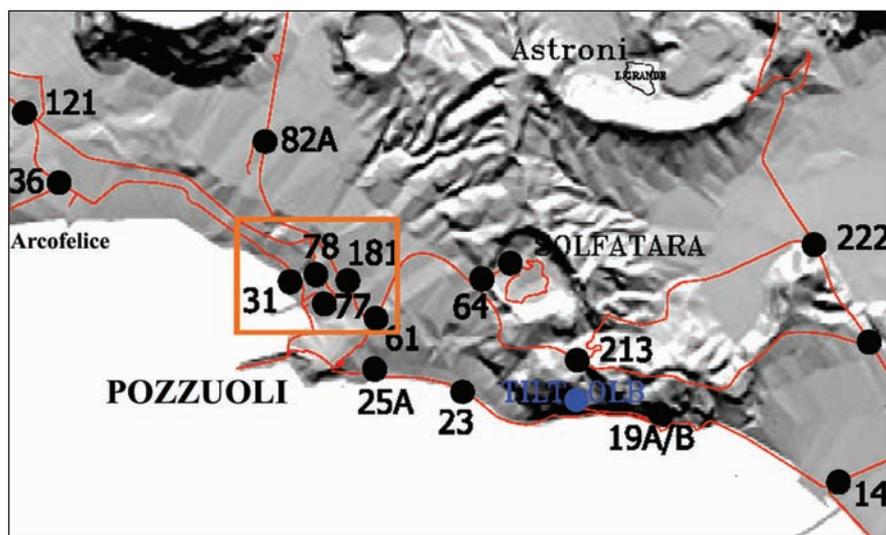


Figura 9 Particolare della rete altimetrica dei Campi Flegrei. In arancione è evidenziata l'area di massimo abbassamento relativo al periodo: Dicembre 2006 – Settembre 2008.

Figure 9 Detail of Campi Flegrei altimetric network. Highlighted in orange is evidenced the maximum subsidence area related to the period December 2006, September 2008.

do in tal modo due zone (cerchiate in figura) comprese tra il cs 14 ed il cs 23 (Napoli Bagnoli – Pozzuoli) e tra il cs 43 ed il cs 58 (Lucrino – Miseno), in cui la curva di deformazione relativa al 2008 mostra valori di abbassamento minori di quelli della curva del 2007.

Tali zone, caratterizzate da una inversione del gradiente di spostamento, si comportano quindi diversamente rispetto

a tutta l'area flegrea che è invece caratterizzata da un lento moto di generale subsidenza. Questi andamenti anomali, quindi, potrebbero essere associati a piccole inversioni del moto del suolo avvenute tra Dicembre del 2007 e Settembre 2008.

Bisogna però considerare che mentre tra il cs 14 ed il cs 23 la curva in rosso (relativa al 2008) si posiziona lontano dalla

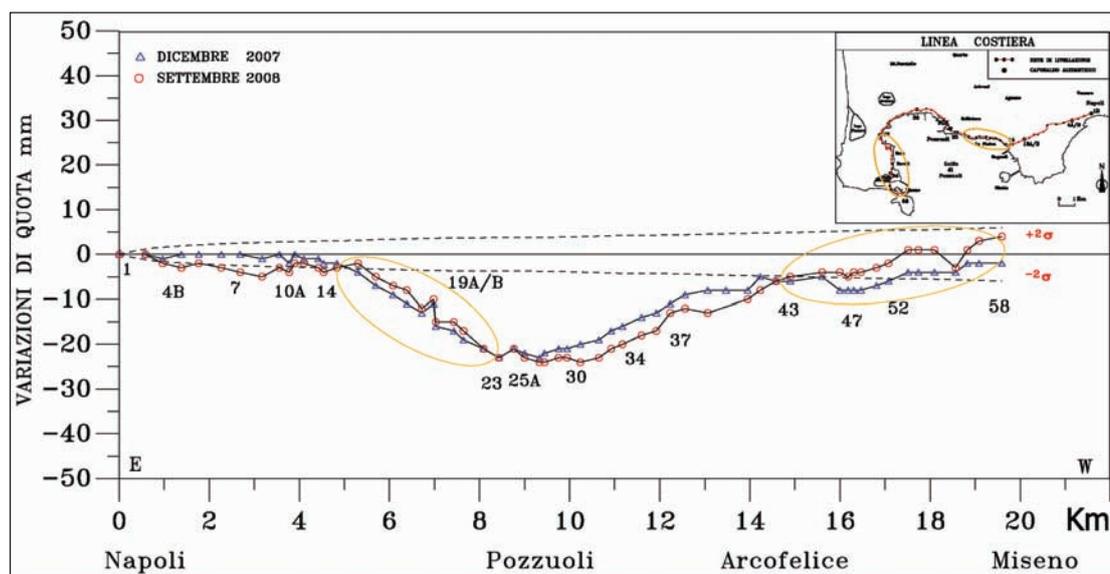


Figura 10 Variazioni di quota Dicembre 2006 – Dicembre 2007 e Dicembre 2006 – Settembre 2008 lungo la linea Costiera (Napoli – Pozzuoli – Miseno). Le aree che presentano andamenti anomali sono evidenziate dagli ellissi sia nel grafico che nella cartina della linea costiera.

Figure 10 Vertical displacements –December 2006, December 2007– and –December 2006, September 2008– along Costiera Line. The areas characterized by anomalous courses are encompassed by the ellipses both in the diagram and map.

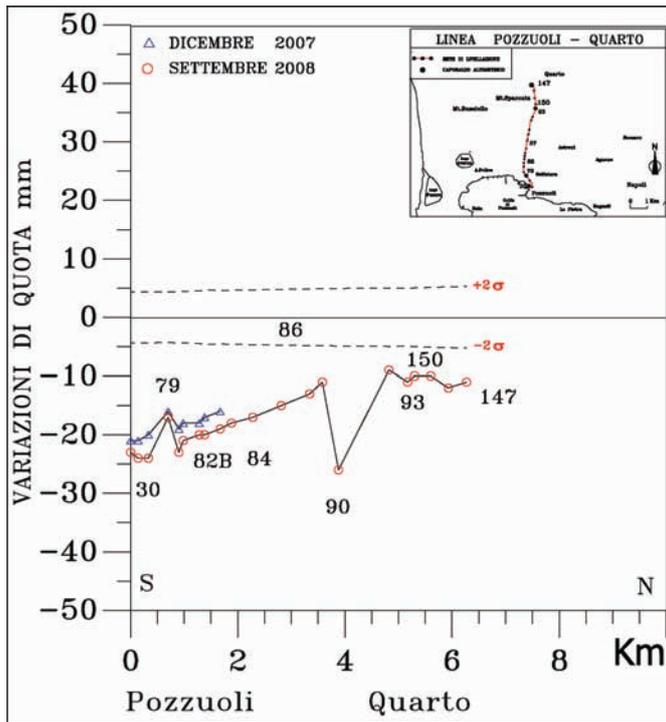


Figura 11 Variazioni di quota Dicembre 2006 – Dicembre 2007 e Dicembre 2006 – Settembre 2008 lungo la linea Pozzuoli – Quarto. Le misurazioni eseguite nel 2007 furono sospese in corrispondenza del cs 82A/B, ex Deposito Marina Militare, per impraticabilità dei capisaldi del rimanente tratto di linea fino a Quarto.

Figure 11 Vertical displacements –December 2006, December 2007– and –December 2006, September 2008– along Pozzuoli – Quarto Line. The 2007 measurements were suspended at Bm 82A/B (former reservoir Marina Militare) due to inaccessibility of the bench marks installed on the remaining section.

fascia di errore, attestando il rallentamento della subsidenza, non altrettanto avviene tra i capisaldi periferici 43 e 58 dove la curva ricade all'interno dell'errore. Di conseguenza, per avvalorare l'ipotesi di zona in sollevamento precedentemente fatta, è opportuno che in questo ultimo tratto di curva le informazioni altimetriche siano integrate con altri dati geodetici.

I dati rappresentati nei grafici delle figure 11 e 12 sono relativi, rispettivamente, alle linee "Pozzuoli – Quarto" e "Napoli – Pozzuoli Solfatara – Averno".

Le variazioni di quota, dei capisaldi installati lungo queste linee, conferma un generale rallentamento della fase di subsidenza dell'area, senza mostrare particolari anomalie nell'andamento spazio-temporale.

Dall'analisi delle curve relative alle variazioni di quota lungo la linea Pozzuoli – Quarto, graficate in Figura 11, si riscontra un unico valore anomalo, di -26 mm, calcolato in corrispondenza del cs 90, ubicato a Via Campana e che potrebbe essere dovuto ad effetti locali di sito, per cui solo le prossime misurazioni potranno chiarire le cause di tale abbassamento.

4. Conclusioni

Dal 1985 al 2000 la componente verticale del campo di deformazione del suolo dell'area flegrea, riassunta nell'andamento del cs 25A riportato in Fig. 13, è stata caratterizzata da un trend in abbassamento interrotto,

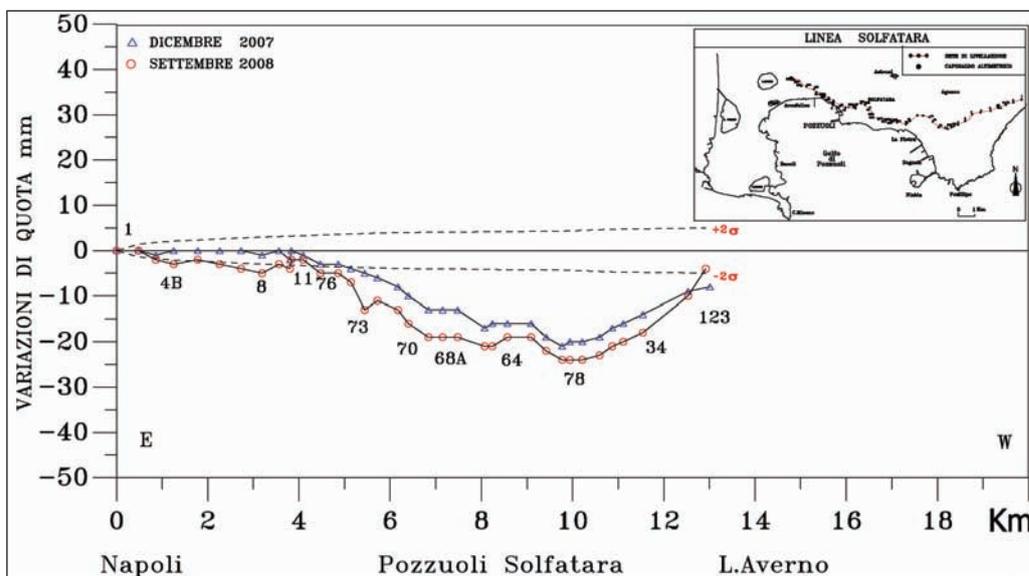


Figura 12 Variazioni di quota Dicembre 2006 – Dicembre 2007 e Dicembre 2006 – Settembre 2008 lungo la linea Solfatara (Napoli – Pozzuoli Solfatara – Averno).

Figure 12 Vertical displacements – December 2006, December 2007 – and – December 2006, September 2008 – along Solfatara Line.

periodicamente, da piccoli uplift della durata di pochi mesi come quello del 1989 (con un sollevamento massimo di 73 mm), del 1994 (con un sollevamento di 12 mm) ed infine del 2000 (con un sollevamento massimo di 52 mm nel periodo Marzo - Agosto). Quest'ultimo uplift è stato confermato dai dati raccolti dal SAR interferometrico da piattaforma satellitare (Civetta et al., 1995; Orsi et al., 1999; Achilli et al. 2000; Del Gaudio et al., 2001; Del Gaudio et al., 2005; Lanari et al., 2004).

La fine di ogni piccola fase di sollevamento è stata sempre caratterizzata da un iniziale incremento della velocità di abbassamento ed una successiva lenta diminuzione tale da riportare il tasso di subsidenza ad un livello precedente alle crisi stesse.

Con l'evento dell'Estate 2000 sembra essersi conclusa la fase di subsidenza successiva al sollevamento del 1982-1984 in quanto all'inizio dell'Estate del 2004 si è manifestato un nuovo *uplift*, con caratteristiche sensibilmente diverse da quelle avvenute dopo il 1985. Tra piccole accelerazioni e stasi del fenomeno, il sollevamento è proseguito per oltre due anni fino alla fine del 2006 e le velocità del suolo sono risultate sensibilmente inferiori a quelle registrate durante i sollevamenti precedenti.

In conclusione riteniamo di fondamentale importanza i risultati ottenuti dalle campagne di livellazione in quanto lo stu-

dio integrato di tali dati con quelli delle altre metodologie di sorveglianza geofisica e geochemica potrà fornire importanti informazioni sull'evoluzione del bradisismo flegreo.

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento a Giuseppe Brandi per la disponibilità e l'impegno che ha sempre dimostrato nella gestione delle reti altimetriche e ad Andrea D'Alessandro per la collaborazione nel controllo e manutenzione delle reti di sorveglianza gestite dall'INGV-NA Osservatorio Vesuviano. Uno speciale ringraziamento è per Raphael Guido che ha collaborato alla stesura dell'articolo.

Bibliografia

Achilli, V. Bernardino P., Borgström S., Del Gaudio C., De Martino P., Galluzzo D., Lanari R., Ricciardi G.P., Ricco C., Salemi G., Sansosti E., Sepe V., Siniscalchi V., Usai S. (2000). *Metodologie geodetiche integrate per il monitoraggio dei recenti episodi deformativi nell'area flegrea (Napoli)*. Atti del 19o Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma 7-9 Novembre 2000: 127-129.

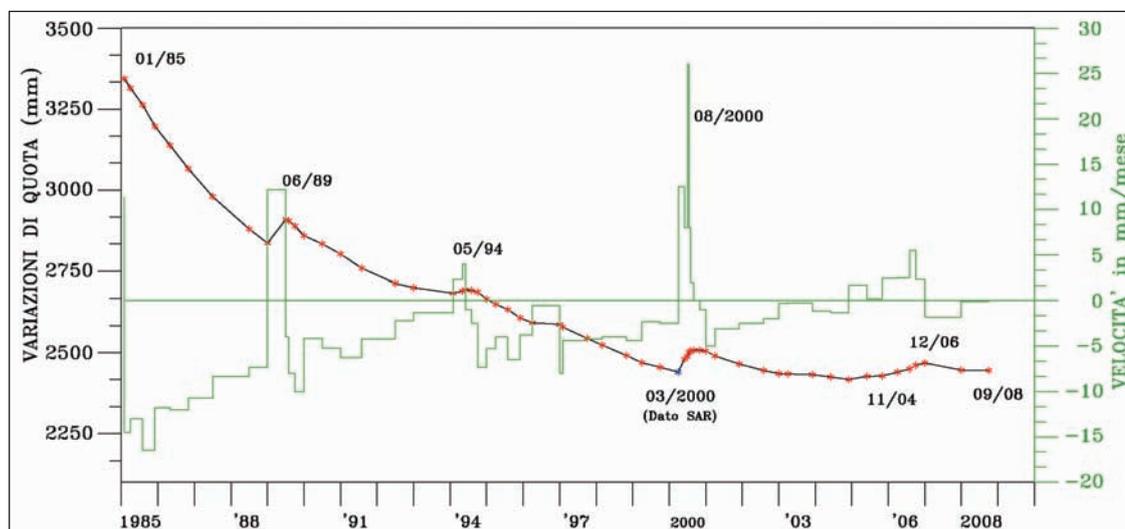


Figura 13 È rappresentato l'andamento temporale, a partire da Gennaio 1985, delle variazioni di quota rilevate al cs 25A. Questo è il caposaldo storico che rappresenta le varie fasi del bradisismo flegreo poiché caratterizzato dalla più lunga ed ininterrotta serie di dati disponibili ed inoltre fortunatamente localizzato in prossimità dell'area di massima deformazione verticale. Il punto contrassegnato con l'asterisco colorato in blu indica il valore estrapolato dalla metodologia del SAR Interferometrico.

Figure 13 Represented here is the temporal course of the vertical displacements to the benchmark 25A relative to January 1985. The latter is a historical benchmark represents the various phases of phlegraean bradyseism, as characterized by the longest and uninterrupted series of available data and opportunely located in proximity of the maximum vertical deformation area. The point marked with the blue asterisk represents the value obtained by the InSAR methodology (Interferometric Synthetic Aperture Radar).

- Barberi F., Corrado G., Innocenti F., Luongo G. (1984). *Phlegraean Fields 1982-1984: brief chronicle of a volcano emergency in a densely populated area*. Bull. Volcanol., 47 (2), 175-185.
- Barberi F., Carapezza M., Innocenti F., Luongo G., Santacroce R. (1989). *The problem of volcanic unrest: Phlegraean Fields case history*. Atti Conv. Lincei 80, 387-405.
- Berrino G., Corrado G., Luongo G., Toro B. (1984). *Ground deformation and gravity change accompanying the 1982 Pozzuoli uplift*. Bull. Volcanol. 47 (2), 187-200.
- Corrado G., Guerra I., Lo Bascio A., Luongo G., Rampolli F. (1977). *Inflation and microearthquake activity of Phlegraean Fields, Italy*. Bull. Volcanol. 40 (3), 169-188.
- Deino A.L., Orsi G., de Vita S., Piochi M. (2004). *The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera forming eruption (Campi Flegrei caldera-Italy) assessed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 133, 157-170.
- Del Gaudio C., Obrizzo F., Ricco C. (1987). *Ristrutturazione della Rete Altimetrica e Livellazione di Precisione ai Campi Flegrei*. Rapp. Int. Oss. Vesuviano Luglio 1987.
- Del Gaudio C., De Martino P., Ricciardi G. P., Ricco C., Sepe V., Borgstrom S., Cecere G., D'Errico V., Siniscalchi V., Aquino I., Tesauro M (2001). *GPS. Campi Flegrei*. In: Rendiconto sull'attività di sorveglianza II semestre 2000 (Luglio-Dicembre 2000) - Osservatorio Vesuviano, febbraio 2001: 48-54.
- 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, n.4, Osservatorio Vesuviano – INGV.
- Del Gaudio C., Aquino I., Ricco C., e Serio C., (2007). *Movimenti verticali del suolo ai Campi Flegrei: risultati della livellazione geometrica di precisione eseguita nel periodo Dicembre 2006-Gennaio 2007*. Open File Report, n.3, Osservatorio Vesuviano – INGV.
- Di Vito M. A., Lirer L., Mastrolorenzo G., Rolandi G. (1987). *The Monte Nuovo eruption Campi Flegrei, Italy*. Bull. Volcanol. 49, 608–615.
- Di Vito M., Isaia R., Orsi G., Southon J., D'Antonio M., de Vita S., Pappalardo L., Piochi M. (1999). *Volcanic and deformation history of the Campi Flegrei caldera in the past 12 ka*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 91, 221-246.
- D'Oriano, C., Poggianti, E., Bertagnini, A., Cioni, R., Landi, P., Polacci, M., Rosi, M. (2005). *Changes in eruptive style during the A.D. 1538 Monte Nuovo eruption (Phlegrean Fields, Italy): the role of syn-eruptive crystallization*. Bull Volcanol 67, 7: 601-621.
- Dvorak J. J. and Berrino G. (1991). *Recent ground movement and seismic activity in Campi Flegrei, southern Italy, episodic growth of a resurgent dome*. J. Geophys. Res., 96, 2309-2323.
- Dvorak J. J. & Gasparini, P. (1991). *History of earthquakes and vertical ground movements in Campi Flegrei caldera, Southern Italy: comparison of precursory events to the A.D. 1538 eruption of Monte Nuovo and of activity since 1968*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 48, 77-92.
- Lanari R., Bernardino P., Borgstrom S., Del Gaudio C., De Martino P., Fornaio 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. e 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.P., Ricco C. (1999). *Short-term deformations and seismicity in the resurgent Campi Flegrei caldera (Italy): an example of active block-resurgence in a densely populated area*. Journal of Volcan. And Geoth. Res. (91) 415-451.
- Orsi G., Di Vito M.A. and Isaia R. (2004). *Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera*. Bull. Volcanol., 66, 517-530.
- Parascandola A. (1947). *I fenomeni bradisismici del Serapeo di Pozzuoli*. Stab. Tipogr. G. Genovese, Napoli 1947.
- Ricco C., Aquino I., Borgström S., Del Gaudio C. (2007). *The study of the tiltmetric inversion recorded from July to October 2006 at the Phlegrean Fields (Naples, Italy)*. Annals of Geophysics, vol.50 (5), 661-674.
- Zugiani B.L. (1972). *Controlli altimetrici dei capisaldi nell'area flegrea. Relazione sui rilievi effettuati nell'area flegrea nel 1970-1971*. Quaderni de la Ricerca Scientifica. (C.N.R. ROMA 1972).

Indice

Introduzione	5
1. Rete di livellazione	5
2. Campagna di livellazione 2008	6
3. Analisi dei dati	6
4. Conclusioni	11
Ringraziamenti	12
Bibliografia	12

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 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