MONITORAGGIO DEL BRADISISMO FLEGREO, NEL PERIODO MAGGIO 2004 – MARZO 2006, ATTRAVERSO MISURE CGPS E DI LIVELLAZIONE

Folco PINGUE, Prospero DE MARTINO, Francesco OBRIZZO,
Claudio SERIO, Umberto TAMMARO,

I.N.G.V. Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano,
via Diocleziano 328, 80124 Napoli, tel. 0816108452, e-mail pingue@ov.ingv.it

Riassunto

I Campi Flegrei sono caratterizzati dal ben noto fenomeno del bradisismo, letteralmente movimento lento del suolo. Due intensi episodi avvennero nei periodi 1969-72 e 1982-84, l'ultimo dei quali fu particolarmente drammatico e portò ad un sollevamento massimo, nella città di Pozzuoli, di circa 1.8 m ed a più di 15000 terremoti con magnitudo massima pari a 4. La conseguenza di questa crisi fu l'evacuazione di parte della città di Pozzuoli e la costruzione di una nuova area residenziale al di fuori della zona a rischio.

Una caratteristica del bradisismo ultimamente evidenziata, grazie sopratutto all'apporto delle reti di monitoraggio in continuo, è che la generale subsidenza, instauratasi dopo la fine dell'ultima crisi è interrotta da alcuni modesti fenomeni di sollevamento che sembrano avere l'effetto di diminuire il successivo tasso di subsidenza. L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia-Osservatorio Vesuiano è responsabile del monitoraggio dell'area vulcanica napoletana: Vesuvio, Ischia e Campi Flegrei. Limitatamente alle deformazioni del suolo, nella zona flegrea sono presenti diverse reti di monitoraggio continuo e discreto, tra le quali una rete di livellazione e 8 stazioni GPS permanenti (CGPS). In questo lavoro si presenta la stima e l'analisi del campo di spostamento del suolo ai Campi Flegrei nel periodo maggio 2004 – marzo 2006 da dati CGPS e di livellazione di precisione. Tale analisi conferma come negli ultimi anni la subsidenza sia terminata e sia probabilmente iniziata una fase di sollevamento di periodo più lungo che nei rapidi "mini-uplift" degli ultimi 20 anni. Per quanto concerne l'andamento del movimento verticale nel periodo esaminato, si individuano quattro fasi a comportamento diverso.

Abstract

Campi Flegrei Caldera (CFC) is a volcanic field located in the western sector of Naples, including part of the city. CFC is affected by bradisisma, from the Greek for 'slow earthquake'.

Two unrest episodes occurred from 1969 to 1972 and from mid-1982 to December 1984. The first event produced a uplift of about 1.7 m. The second event (with a 1.8 m. uplift) was accompanied by more seismicity, both in number and in magnitude. A magnitude 4 earthquake with epicenter in Pozzuoli occurred on October 4, 1983. In 1984, the town was almost completely evacuated and about 40000 people were relocated. The total uplift recorded between January 1982 and December 1984 amounted to 1.8 m.

The INGV – Osservatorio Vesuviano installed a permanent GPS network (22 stations) in Neapolitan volcanic area, where there are three active volcanoes: Somma-Vesuvio, Campi Flegrei caldera and Ischia Island.

This paper analyses precise leveling, and GPS data in the area from may 2004 to march 2006, showing displacement field from precise leveling and CGPS.

Introduzione

La caldera dei Campi Flegrei, localizzata ad ovest della città di Napoli, nel settore centro-meridionale del graben della Piana Campana, è il prodotto di più collassi causati da eruzioni fortemente esplosive (ad es., Rosi e Sbrana, 1987; Lirer et al., 1987; Orsi et al., 1996). L'ultima eruzione è avvenuta nel 1538 ed ha portato alla formazione di Mt. Nuovo (Di Vito et al., 1987). Lo studio condotto da vari autori (ad es. Parascandola, 1947; Dvorak and Mastrolorenzo, 1991; Morhange et al., 1999) ha evidenziato che negli ultimi due millenni l'area ha attraversato una fase di generale subsidenza (con un tasso dell'ordine del cm/anno), alla quale sono sovrapposti alcuni rapidi ed intensi episodi di sollevamento, come quello legato all'eruzione del 1538. A tale evento è seguito un lungo periodo di abbassamento del suolo fino al 1969, quando iniziò un nuovo episodio di sollevamento, che durò fino al 1972 e produsse un sollevamento massimo di circa 1.7 m, parte del quale (circa 0.30 m) fu recuperato nella fase di subsidenza che interessò la zona fino al 1982. Nel periodo 1982-1984 l'area dei Campi Flegrei fu interessata da un nuovo fenomeno di intenso sollevamento, per un totale di circa 1.8 m (Barberi et al., 1984; De Natale et al., 1991).

Con all'apporto delle reti di monitoraggio in continuo, si è messa in evidenza una caratteristica peculiare del fenomeno bradisismico, cioè che la generale subsidenza, che si è instaurata dopo la fine dell'ultima crisi di sollevamento è interrotta da alcuni modesti fenomeni di sollevamento (con massimo da 1 a 8 cm e con durata di pochi mesi) che sembrano avere l'effetto di diminuire il successivo tasso di subsidenza. Gaeta et al. (2003) interpretano tali "mini-uplift", sulla base di un modello fluido-dinamico, come la risposta del sistema geotermico presente a piccole perturbazioni dell'acquifero superficiale dovute a modificazioni della sorgente profonda e/o del suo accoppiamento con gli strati superiori.

In questo lavoro si presenta la stima del campo di spostamento del suolo ai Campi Flegrei nel periodo maggio 2004 – marzo 2006 ottenuta dall'analisi dei CGPS e di livellazione di precisione.

Livellazione

Nell'ambito del programma di sorveglianza geofisica dei Campi Flegrei, l'Osservatorio Vesuviano-INGV gestisce una rete di livellazione (fig. 1) che copre l'intera area flegrea ed è collegata a quella corrispondente che insiste sull'area vesuviana. La rete altimetrica dei Campi Flegrei è costituita da circa 330 capisaldi distribuiti su 135 km con interdistanza media di 400 m e strutturata in quattordici circuiti concatenati. Nel periodo maggio 2004 – marzo 2006 sono state effettuate 5 campagne di misure sull'intera rete o parte di essa (Del Gaudio et al. 2005, Pingue et al. 2006).

Tutte le misurazioni sono state eseguite, come di consueto, mediante livellazione geometrica di precisione, nel rispetto delle tolleranze imposte dal metodo e utilizzando autolivelli Leica mod. Na2, corredati di micrometri a lamina piano-parallela e mire con graduazione centimetrica su nastro invar.

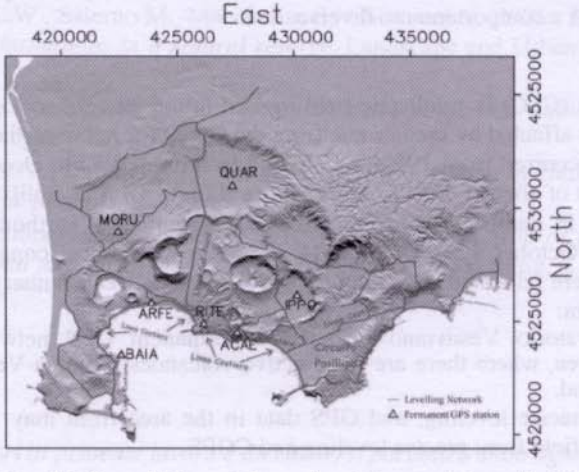

Fig. 1: Rete altimetrica dei Campi Flegrei. Sono riportate con triangoli gialli le stazioni CGPS.

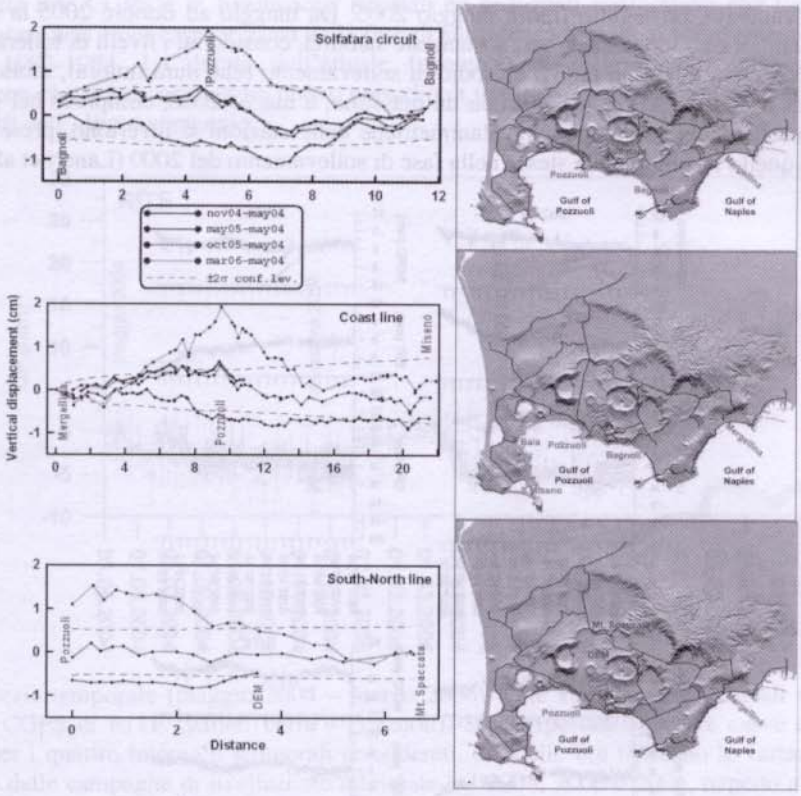

Fig. 2: Variazioni di quota nel periodo maggio 2004-Marzo 2006 lungo il Circuito Solfatara, la linea costiera e la linea Sud -Nord. Le linee tratteggiate delimitano i livelli di confidenza ± 2σ.

L'analisi complessiva dei dati compensati (fig. 2) porta ad alcune interessanti considerazioni circa il campo di spostamento attivo nell'area flegrea negli ultimi 2 anni (Pingue et al. 2006). Ad un'iniziale fase di subsidenza, che ha portato ad un abbassamento dell'area centrale di Pozzuoli, è seguito un periodo di sollevamento di circa pari entità che ha riportato le variazioni di quota avvenute nell'anno maggio 2004-maggio 2005 a rientrare sostanzialmente nei limiti d'errore del metodo (Del Gaudio et al. 2005). A causa della sostanziale stabilità intercorsa nel periodo maggio 2005-ottobre 2005, la curva cumulativa rispetto al maggio 2004 va praticamente a sovrapporsi alla precedente. La ripresa del sollevamento rilevato dalle misure del marzo 2006, ha portato lo spostamento cumulativo rispetto al maggio 2004 a valori massimi di poco inferiori ai 2 cm nell'area puteolana (Pingue et al. 2006).

CGPS

La rete di stazioni permanenti GPS dell'area flegrea (fig. 1), è costituita da 8 stazioni, tutte attrezzate con ricevitori Leica RS500 o Trimble 4000SSI ed antenne del tipo choke ring. Tutte le stazioni sono gestite in remoto ed esistono procedure automatiche di scarico dati, analisi di qualità ed elaborazione (De Martino et al. 2005; Pingue et al. 2006).

In fig. 3 sono riportate le serie temporali (maggio 2004 – marzo 2006) delle variazioni settimanali in Nord, Est ed Up delle coordinate delle stazioni CGPS di ACAE, ARFE, BAIA e RITE relativamente a QUAR. E' ben visibile come dalla fine del 2004 sembra iniziare una fase di

modesto sollevamento, proseguito fino a maggio 2005. Da maggio ad ottobre 2005 la situazione deformativa sembra caratterizzata da una sostanziale stabilità, considerati i livelli di tolleranza.
Da ottobre 2005 circa inizia un nuovo episodio di sollevamento (che dura tuttora), molto evidente alle stazioni di RITE, ACAE ed ARFE, con un massimo, a marzo 2006, compreso nel range 1÷2 cm. Va notato che anche le componenti planimetriche delle stazioni si invertono, presentando un trend simile a quello mostrato dalle stesse nella fase di sollevamento del 2000 (Lanari et al. 2004).

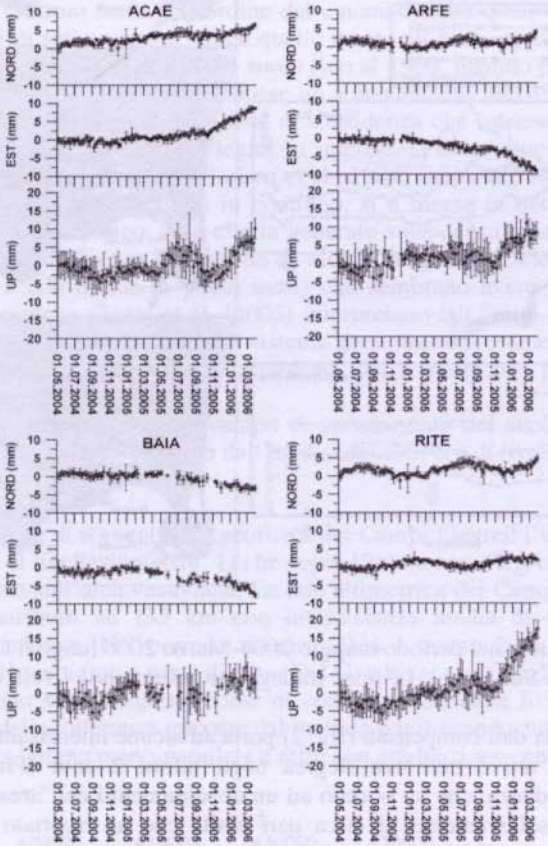

Fig. 3: Serie temporali (maggio 2004 – marzo 2006) delle variazioni settimanali in Nord, Est ed Up delle coordinate delle stazioni CGPS di ACAE, ARFE, BAIA e RITE relativamente a QUAR. Elaborazione effettuata con il software Bernese v. 4.2.

Conclusioni

Limitando l'analisi all'area di massimo sollevamento (Pozzuoli centro) e al periodo in esame si ricavano quattro periodi a comportamento diverso (fig. 4):
1) maggio-novembre 2004 si evidenzia una leggera subsidenza con un tasso nel range -0.3 ÷ -1.0 mm/mese;
2) novembre 2004-maggio 2005, si evidenzia un periodo di sollevamento con un tasso simile (+0.6 ÷ +1.6 mm/mese);
3) maggio-ottobre 2005 il campo di spostamento sembra caratterizzato da una sostanziale stabilità,
4) ottobre 2005 - marzo 2006 si rileva una fase di sollevamento più marcata (+2.3 ÷ +3.1 mm/mese), che sembra ancora continuare.

I dati della rete CGPS e di livellazione riportati ed analizzati confermano che l'area flegrea da qualche anno non è più caratterizzata dalla fase di subsidenza seguita al sollevamento avvenuto nel periodo 1982-1984. La durata dell'attuale fenomeno di sollevamento sembra portare alla conclusione che si è dinanzi ad un nuovo episodio di uplift con periodo molto più lungo rispetto ai mini-uplift dell'ultimo ventennio.

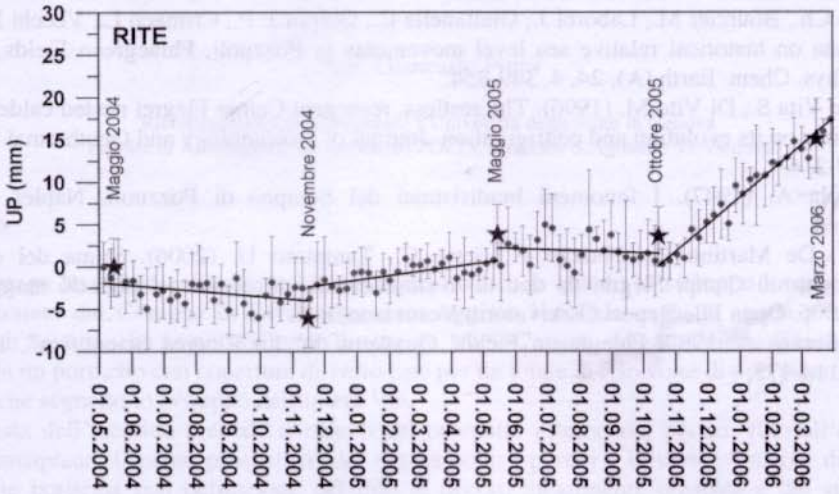

Fig. 4: Serie temporale (maggio 2004 – marzo 2006) delle variazioni settimanali in quota della stazione CGPS di RITE (Rione Terra - Pozzuoli). Sono riportate anche le curve di regressione lineare per i quattro intervalli temporali considerati. Le stelle blù indicano le variazioni di quota calcolate dalle campagne di livellazione effettuate nel 2004, 2005 e 2006, rispetto a maggio 2004 per il caposaldo più prossimo alla stazione CGPS.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato parzialmente finanziato con i fondi del progetto MIUR-PON PETIT-OSA.

Riferimenti bibliografici

Barberi, F., Corrado, G., Innocenti, F. and Luongo, G., (1984). Phlegraen Fields 1982 – 1984: Brief chronicle of a volcano emergency in a densely populated area, Bull. Volcanol., 47, 175 – 185.

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.

De Martino P., Tammaro U., Obrizzo F., Sepe V., Cecere G., Serio C., D'Alessandro A., Dolce M., Brandi G., Malaspina S., Pingue F. (2005). Il monitoraggio dell'area vulcanica napoletana attraverso la rete GPS permanente. Atti della 9ª Conferenza Nazionale ASITA, I, 915-920.

De Natale G., Pingue F., Allard P., Zollo A. (1991). Geophysical and geochemical modeling of the Campi Flegrei caldera. In: Luongo G., Scandone R. (Eds.), Campi Flegrei. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 48, 199–222.

Di Vito M. A., Lirer L., Mastrolorenzo G., Rolandi G. (1987). The Monte Nuovo eruption Campi Flegrei, Italy . Bull. Volcanol. 49, 608–615.

Dvorak J. J., Mastrolorenzo G. (1991). The mechanism of recent vertical crustal movements in Campi Flegrei caldera, Southern Italy, Geology Society of America, Special Paper, 263.

Gaeta F. S., Peluso F., Arienzo I., Castagnolo D., De Natale G., Milano G., Albanese C., Mita D. G. (2003). A physical appraisal of a new aspect of bradyseism: The miniuplifts. Journal of Geophysical Research, 108, 20921-20933, doi:10.1029/2002JB001913.

Lanari R., Berardino 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.

Lirer L., Luongo G., Scandone R. (1987). On the volcanological evolution of Campi Flegrei. EOS, 68, 16, 226-234.

Morhange Ch., Bourcier M., Laborel J., Giallanella C., Goiran J. P., Crimaco L., Vecchi L. (1999). New data on historical relative sea level movements in Pozzuoli, Phlaegrean Fields, southern Italy. Phys. Chem. Earth (A), 24, 4, 349-354.

Orsi G., de Vita S., Di Vito M. (1996). The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 74, 179-214.

Parascandola A. (1947). I fenomeni bradisismici del Serapeo di Pozzuoli, Naples, privately published.

Pingue F., De Martino P., Obrizzo F., Serio C., Tammaro U. (2006). Stima del campo di spostamento ai Campi Flegrei da dati di livellazione di precisione nel periodo maggio 2004-marzo2006. Open File Report Osservatorio Vesuviano, n. 5.

Rosi M., Sbrana A. 1987. Phlegraean Fields, Quaderni de" La Ricerca Scientifica", 114 CNR, Roma, 114-175.

ATTI Volume II

10ª Conferenza Nazionale ASITA

Federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali

14-17 novembre 2006 • Fiera di Bolzano, Bolzano

SIFET
Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia
LI Convegno Nazionale

Associazione Italiana di Cartografia
XLII Convegno Nazionale

Associazione Italiana di Telerilevamento
XVII Convegno Nazionale

AM FM INTERNATIONAL EUROPEAN DIVISION SEZIONE ITALIANA
Geographic Information Systems
17ª Conferenza/Expò

ATTI Volume II

10ª Conferenza Nazionale ASITA

Federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali

ASITA

14-17 novembre 2006 • Fiera di Bolzano, Bolzano

SIFET
Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia
LI Convegno Nazionale

Associazione Italiana di Cartografia
XLII Convegno Nazionale

Associazione Italiana di Telerilevamento
XVII Convegno Nazionale

EM-AM INTERNATIONAL EUROPEAN DIVISION
SEZIONE ITALIANA
Geographic Information Systems
17ª Conferenza/Expò