



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

**STUDIO DELL'INVERSIONE TILTMETRICA
REGISTRATA DA LUGLIO AD OTTOBRE 2006 AI CAMPI
FLEGREI**

Ciro Ricco, Ida Aquino, Carlo Del Gaudio

Open File Report n° 1 - 2007

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

INDICE

1	Introduzione	pag. 3
2	Descrizione dei punti di misura	pag. 4
3	Analisi dei dati acquisiti	pag. 6
4	Studio dei segnali in ambito spettrale	pag. 8
5	Decorrelazione termica dei segnali tiltmetrici	pag. 10
6	Interpretazione dei dati decorrelati	pag. 10
7	Comparazione dei segnali tiltmetrici con gli eventi sismici registrati	pag. 12
8	Conclusioni	pag. 13
9	Bibliografia	pag. 15

STUDIO DELL'INVERSIONE TILTMETRICA REGISTRATA DA LUGLIO AD OTTOBRE 2006 AI CAMPI FLEGREI

Ciro Ricco, Ida Aquino, Carlo Del Gaudio

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

1 Introduzione

La deformazione del suolo ai Campi Flegrei sia durante le ultime 2 fasi di sollevamento (1969-1972 e 1982-1984) (Corrado et al., 1977; Berrino et al., 1984) che in abbassamento è ben conosciuta. Le decine di livellazioni topografiche di alta precisione che hanno interessato centinaia di punti di misura (attualmente 330) hanno consentito di creare un archivio dati in cui è registrata in dettaglio la storia deformativa relativa a poligoni di crosta la cui dimensione è dell'ordine di poche centinaia di metri (pari all'interdistanza media tra i caposaldi della rete di livellazione).

Oltre a ciò, la rete di monitoraggio tiltmetrico (Fig. 1) ha fornito negli ultimi dieci anni informazioni aggiuntive relative alla componente angolare della deformazione nei diversi punti monitorati ed ha consentito di seguire l'evoluzione del fenomeno deformativo che ha interessato i Campi Flegrei.

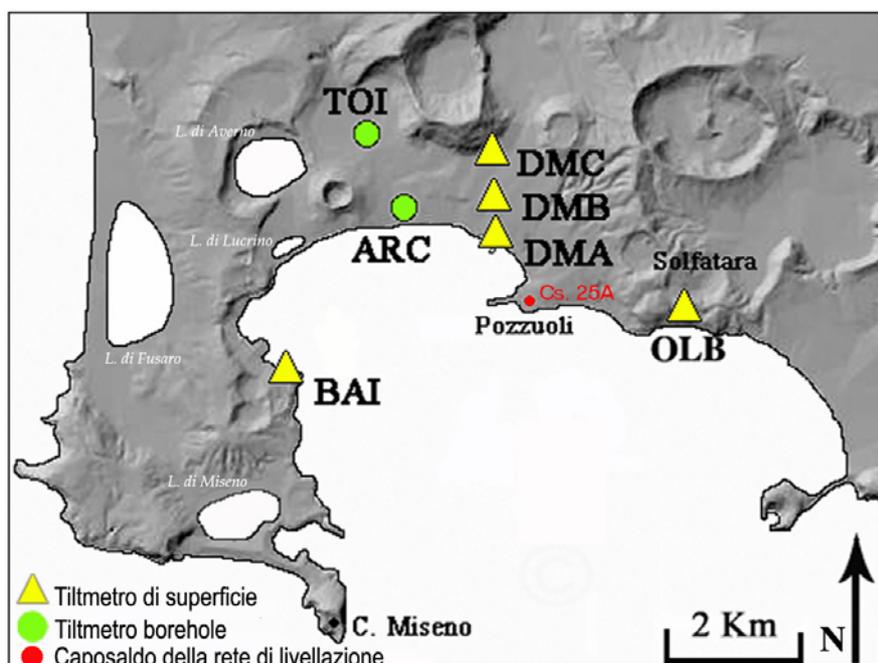


Fig. 1
Rete tiltmetrica dei Campi Flegrei.

A partire dal 1998, la deformazione verticale può essere decomposta in una fase di abbassamento del suolo con velocità decrescente sulla quale si è impostato il sollevamento misurato da tutte le reti di monitoraggio tra la Primavera e l'Estate del 2000. Negli ultimi 2 anni si è verificato inoltre un sostanziale cambiamento sia nella velocità che nell'intensità dei campi di spostamento (Fig. 2) e di inclinazione del suolo (Ricco et al., 2005), culminato alla fine di Luglio del 2006 nell'uplift oggetto del presente lavoro.

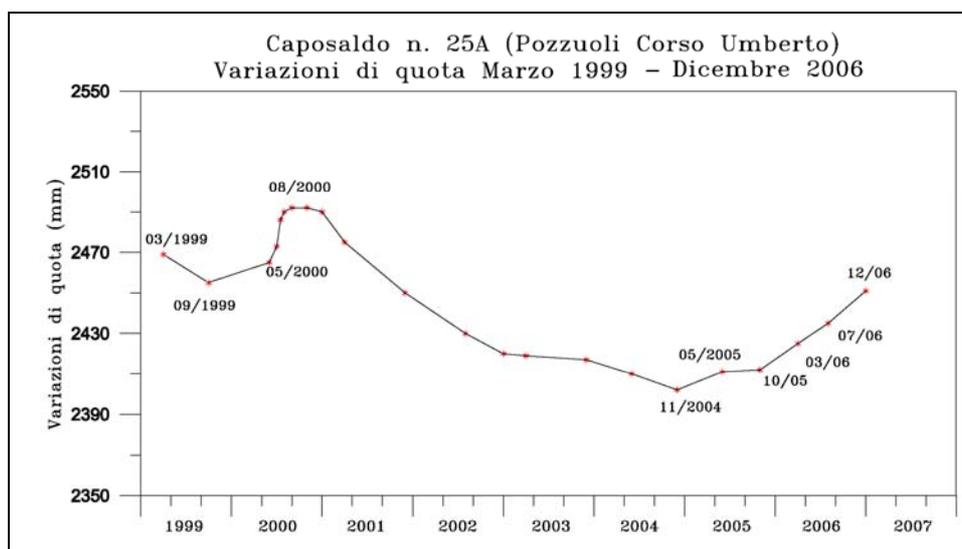


Fig. 2

Grafico del caposaldo (Cs) 25A che mostra l'andamento della deformazione verticale del suolo nell'area di massimo sollevamento localizzata nei pressi del Rione Terra a Pozzuoli.

2 Descrizione dei punti di misura

La rete tiltmetrica flegrea consta di 7 stazioni di cui 5 attrezzate con sensori di superficie e 2 in foro; quelle che hanno registrato nel 2006 una rotazione significativa del vettore tilt individuando chiaramente sia l'inizio che la fine dell'uplift sono le stazioni OLB e DMB. Esse sono collocate rispetto al caposaldo della rete di livellazione Cs 25A rispettivamente 1.5 km a ESE ed 1.8 km a NNW (Fig. 1).

La stazione OLB è stata installata nei primi mesi del 2006 in una galleria ferroviaria dismessa che si sviluppa in direzione E-W a 90 m dalla costa sotto il Monte Olibano.

Dopo aver asportato le traversine ed il pietrisco sottostante è stato scavato a 150 m dall'entrata un pozzetto profondo 1 m e largo altrettanto; il sensore tiltmetrico (Fig. 3a) è stato posto su una tefrite compatta (sulla quale erano state precedentemente praticate tre scanalature arrotondate per appoggiarvi i piedini del sensore stesso) annegata in una colata di speciale malta cementizia alla base della trincea (Aquino et al., 2006).

La stazione DMB è collocata in una galleria lunga circa 800 m e profonda da 13 a 22 m allineata lungo una direttrice NNE-SSW e situata in prossimità di Pozzuoli; il sensore (Fig. 3b) è appoggiato su piedini di acciaio inchiodati nella base di cemento preesistente e dista circa 750 m dalla costa.

Il sito di DMB è monitorato dal 1991 ma nel Maggio 2004 è stato sostituito il sistema di acquisizione (Aquino et al., 2006).

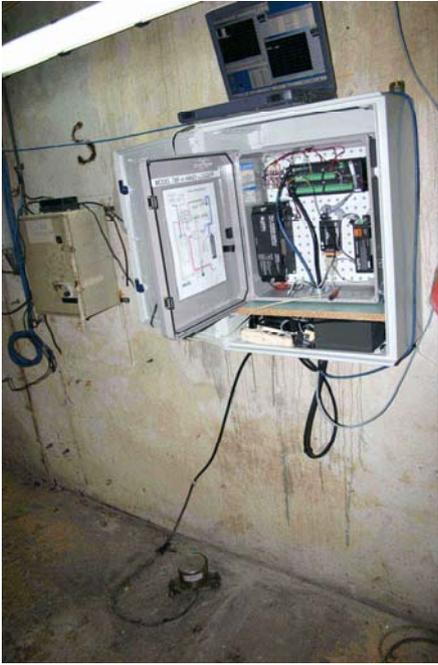
Tilt Station	OLB	
Datalogger	Handi-logger A.G.I. mod. 798-a n. 6009	 <p style="text-align: center;">a</p>
Sensor	A.G.I. mod. 702 n. 6635 platform	
A/D Conversion (bit)	13	
Output	Differential	
Sampling Rate (cph)	12	
Gain	High	
Filter (low-pass single-pole RC 6 db/octave)	Off $\tau = 0.05$ seconds $f_c = 1/2\pi\tau$	
Scale Factors ($\mu\text{rad}/\text{mV}$) ($^{\circ}$ /mV)	X comp. = 0.0997/2 Y comp. = 0.0995/2 Temp. = 0.1	
Sensitivity (mv/ μrad)	$\cong 20$	
Calibration Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	27.0	
Correction Coefficient K_s (%/ $^{\circ}\text{C}$)	0.05	
Correction Coefficients K_z ($\mu\text{rad}/^{\circ}\text{C}$)	3	
Latitude/Longitude ($^{\circ}$ ' ")	40 49 13 / 14 08 41	
Heigh a.s.l. (m)	15	
Depth (m)	1	
Place	Pozzuoli	
Description	Gallery	
Installation Date (first / last updated)	26 February 2006	
Tilt Station	DMB	
Datalogger	Handi-logger A.G.I. mod. 798-a n. 4657	 <p style="text-align: center;">b</p>
Sensor	A.G.I. mod. 702 n. 1158 platform	
A/D Conversion (bit)	13	
Output	Differential	
Sampling Rate (cph)	12	
Gain	High	
Filter (low-pass single-pole RC 3 db/octave)	On $\tau = 0.1$ seconds $f_c = 1/2\pi\tau$	
Scale Factors ($\mu\text{rad}/\text{mV}$) ($^{\circ}$ /mV)	X comp. = 0.0994/2 Y comp. = 0.1001/2 Temp. = 0.1	
Sensitivity (mv/ μrad)	$\cong 20$	
Calibration Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	27.0	
Correction Coefficient K_s (%/ $^{\circ}\text{C}$)	0.05	
Correction Coefficients K_z ($\mu\text{rad}/^{\circ}\text{C}$)	1.5	
Latitude/Longitude ($^{\circ}$ ' ")	40 50 06 / 14 06 46	
Heigh a.s.l. (m)	50	
Depth (m)	13.5	
Place	Pozzuoli	
Description	Gallery	
Installation Date (first / last updated)	5 Mars 1991 / 18 May 2004	

Fig. 3
Specifiche tecniche delle stazioni tiltmetriche citate nel testo ed ubicazione dei sensori

3 Analisi dei dati acquisiti

Prima di esaminare i segnali acquisiti bisogna premettere che il monitoraggio tiltmetrico, se da un lato mette a disposizione sequenze di dati molto lunghe dall'altro registra insieme al processo endogeno, che costituisce l'obiettivo della misura stessa, anche effetti di altro tipo in parte correlati tra loro come la deformazione indotta sul terreno dalle variazioni di Temperatura e di Pressione atmosferica, dalla pioggia etc.

Poiché non si può ricorrere semplicemente al filtraggio delle periodicità dovute a tali fenomeni in quanto le loro bande spettrali significative coincidono spesso con quelle che caratterizzano il processo che si vuole estrarre, bisogna disporre di serie temporali lunghe abbastanza da consentire il confronto tra i segnali registrati in anni diversi. In tal modo, già valutando ad esempio il grado di correlazione esistente tra segnale e disturbo termico (in bande diverse) nel tempo, può essere definita per un dato sito la deformazione a cui esso è soggetto in un determinato periodo dell'anno a causa della variazione di temperatura.

Per la stazione OLB si dispone finora di nove mesi di dati (partendo dal Febbraio 2006) e quindi non è noto quale sia il normale pattern di inclinazione annuale del suolo. Tuttavia è evidente dal plot del tilt e dai grafici delle componenti riportate in Fig. 4 il repentino cambiamento sia di azimuth che di modulo del vettore tilt.

Infatti il settore (1) relativo al periodo 26/2-28/7 registra una deformazione angolare di 35 μ radianti in direzione N60W (con un aumento di temperatura di 5.4 °C). Il settore (2) relativo al periodo 28/7-31/10 mostra un notevole incremento del vettore risultante che passa a 421 μ radianti in direzione N55E (associato ad una diminuzione di temperatura di 1.5 °C). Il settore (3) relativo al periodo 31/10-11/12 evidenzia infine un'ulteriore variazione tiltmetrica di 2.6 μ radianti in direzione N06E (con una diminuzione di temperatura di 1.3 °C) (Fig. 4).

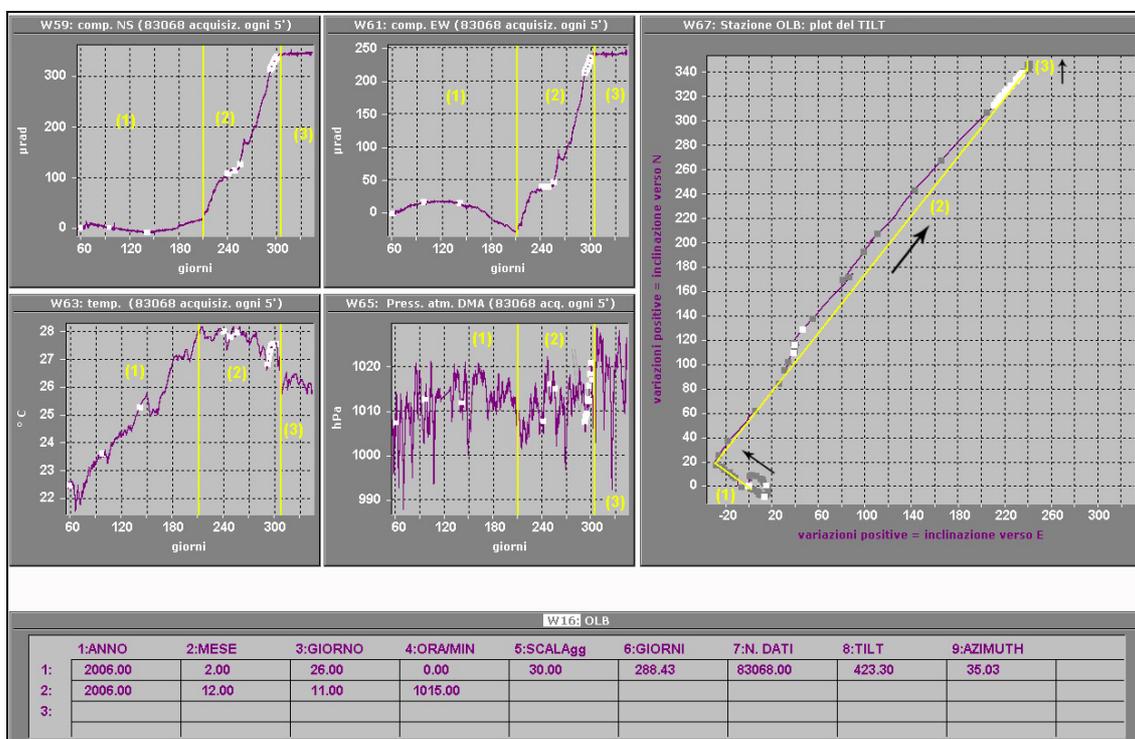


Fig. 4

Foglio di lavoro relativo alla stazione OLB, realizzato in ambiente Dadisp per visualizzare l'inclinazione registrata (vettore tilt).

Le finestre 59, 61, 63 e 65 riportano in viola rispettivamente i segnali acquisiti dalle componenti NS, EW, Te del sensore tiltmetrico e la pressione atmosferica registrata dalla stazione DMA (Fig. 1). Nella finestra 67 è graficata in viola la risultante vettoriale dei singoli segnali (previamente sottoposti a move-averaging con periodo di 1 giorno) sovrapponendole un quadratino grigio ogni 5 giorni.

I quadratini bianchi rappresentano gli eventi sismici registrati alla stazione STH.

Le linee gialle delimitano i settori prima, durante e dopo l'inversione.

Le frecce nere sono state inserite successivamente per facilitare la lettura del plot ed indicano la direzione ed il verso del tilt (variazioni positive a NE indicano sollevamento a SW).

Come evidenziato dai settori (1), (2) e (3) della Fig. 5, anche la stazione DMB (posta a circa 2.3 km a NW rispetto a OLB) registra nell'ultimo anno una netta variazione tiltmetrica: si passa da 26.5 μ radianti in direzione S08E nel periodo 26/2-28/7 (con un aumento di temperatura di 4.5 °C) a 21.1 μ radianti in direzione N02E nel periodo 28/7- 30/10 (con una diminuzione temperatura di 1.1 °C) ed a 8.4 μ radianti in direzione N33E nel periodo 31/10-11/12 (con una diminuzione di temperatura di 1.9 °C).

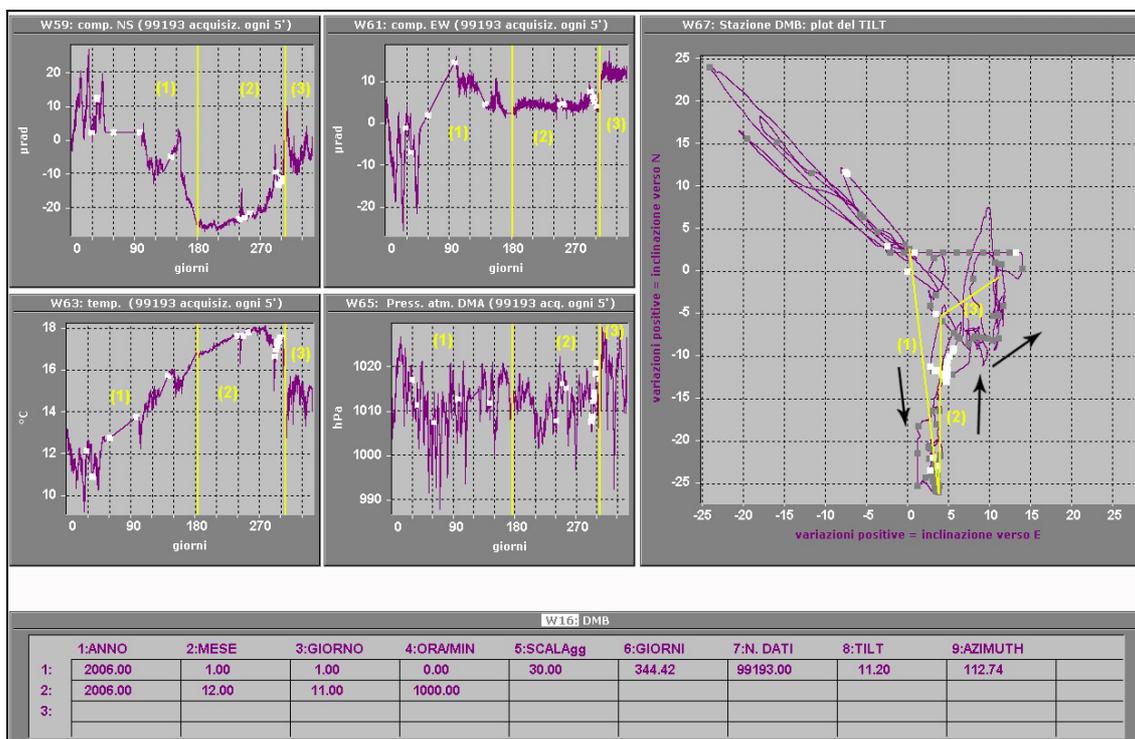


Fig. 5

Foglio di lavoro relativo alla stazione DMB.

La variazione registrata ad OLB non trova nessun precedente nei segnali acquisiti negli ultimi anni dalle altre stazioni, né la risposta agli effetti di sito (disomogeneità della pendenza della superficie topografica, effetto galleria nella propagazione dello stress) (Harrison J.C., 1976) giustifica l'entità della stessa; quella riscontrata a DMB è invece più contenuta ed ancora minori sono le variazioni di tilt registrate alle altre stazioni.

Tale difformità può essere legata sia alla distanza della sorgente di deformazione che all'influenza di fattori meteorologici quali la pressione atmosferica (Dal Moro and Zadro, 1998), il regime di pioggia

(Westerhaus M. und Welle, W., 2002) e la temperatura (Ricco et al., 2003). Per quanto riguarda quest'ultima, si osserva che le due stazioni studiate, situate in quadratura rispetto all'area di massimo sollevamento, sono esposte ad una variazione termica ambientale simile (almeno sul lungo periodo) ma nonostante ciò danno risposte diverse in bande spettrali diverse.

4 Studio dei segnali in ambito spettrale

Il calcolo della densità di potenza spettrale effettuato sui segnali evidenzia infatti che l'ampiezza della componente solare diurna riscontrata nella termica di DMB è 7 volte quella di OLB che quindi risente molto di meno dell'influenza dell'onda termica giornaliera (Fig. 6). Per quanto riguarda invece le componenti mareali, la lunisolare K_1 e la principale-lunare M_2 presentano ad OLB un'ampiezza rispettivamente 1.9 e 7.5 volte maggiore rispetto a DMB sulla componente NS mentre su quella EW la K_1 risulta la metà della corrispondente di DMB e la M_2 è 6.9 volte maggiore. Inoltre i rapporti spettrali NS/Te ed EW/Te per la K_1 sono rispettivamente uguali a 56 e 8.8 ad OLB ed a 4.3 e 2.6 a DMB.

Il contributo mareale risulta quindi maggiore ad OLB e la direzione in cui esso è prevalente è quella NS mentre la componente termica condiziona maggiormente i segnali tiltmetrici di DMB. Entrambe le stazioni invece risentono delle variazioni di pressione atmosferica e questo effetto è visibile nella principale-solare S_2 che è presente in tutti gli spettri ma irradia maggiore energia in quello della pressione. E' infatti accertato che la maggiore oscillazione presente nella marea atmosferica corrisponde al ciclo semidiurno solare il quale amplifica notevolmente la S_2 registrata dai tiltmetri che, in condizioni normali, dovrebbe essere circa la metà della M_2 .

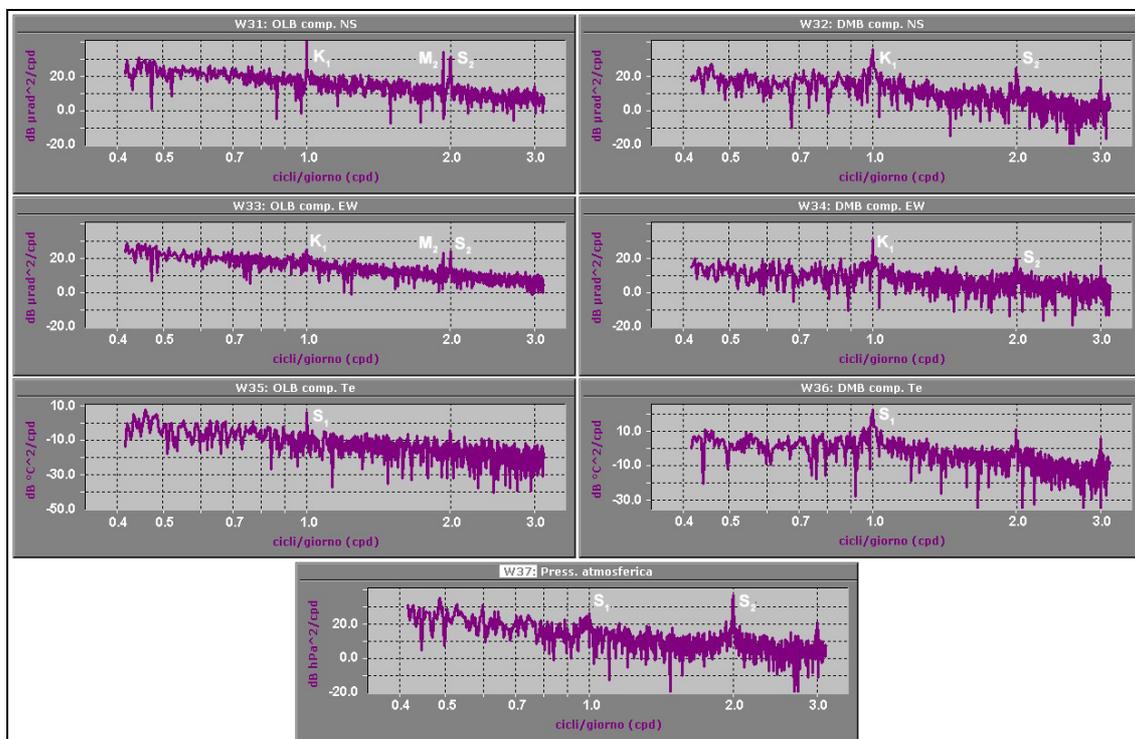


Fig. 6

Foglio di lavoro adibito al calcolo della densità di potenza spettrale nella banda $0.417 \div 3.131$ cpd sui segnali registrati ad OLB e DMB e sulla pressione atmosferica. Sono indicate in bianco le principali componenti mareali che caratterizzano gli spettri (lunisolare K_1 , principale-lunare M_2 , principale-solare S_2 e componente solare diurna S_1).

Inoltre, si è ritenuto opportuno investigare anche la banda a lungo periodo (da quindicinale a mensile) degli spettri in cui appaiono di norma le componenti mareali lunari mensile M_m e quindicinale M_f , allo scopo di stimare il grado di correlazione tra le variazioni tiltmetriche e quelle meteorologiche. E' stato pertanto calcolato ai minimi quadrati l'aumento medio di energia presente nell'intervallo tra 10 e 32 giorni attraverso una legge di potenza del tipo $P_f = P_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^{\gamma}$ (Wyatt et al., 1988) in cui i termini P_f e

P_0 rappresentano le densità spettrali degli estremi dell'intervallo ed il rapporto $\left(\frac{f}{f_0} \right)$ normalizza le

frequenze a quella più alta $f_0 = 0.101$ cpd (Fig. 7). I risultati ottenuti evidenziano che il contributo energetico della temperatura è più elevato a DMB (dove si calcola un aumento di ampiezza di 2.8 volte tra 10 e 32 giorni corrispondente ad un gain di 8.9 dB/ottava) che a OLB (3.3 dB/ottava) mentre nello stesso intervallo temporale la Pressione atmosferica (Pr) subisce invece un'attenuazione di 1.7 dB/ottava. Inoltre i rapporti spettrali NS/Te ed EW/Te sono uguali rispettivamente a 0.4 e 0.5 a OLB ed a 0.9 e 0.7 a DMB mentre quelli NS/Pr ed EW/Pr sono uguali rispettivamente a 1.8 e 2.1 a OLB ed a 3.4 e 3.6 a DMB. Le componenti tiltmetriche risentono quindi molto più degli effetti termici che di quelli barici e questo effetto è più presente a OLB che a DMB.

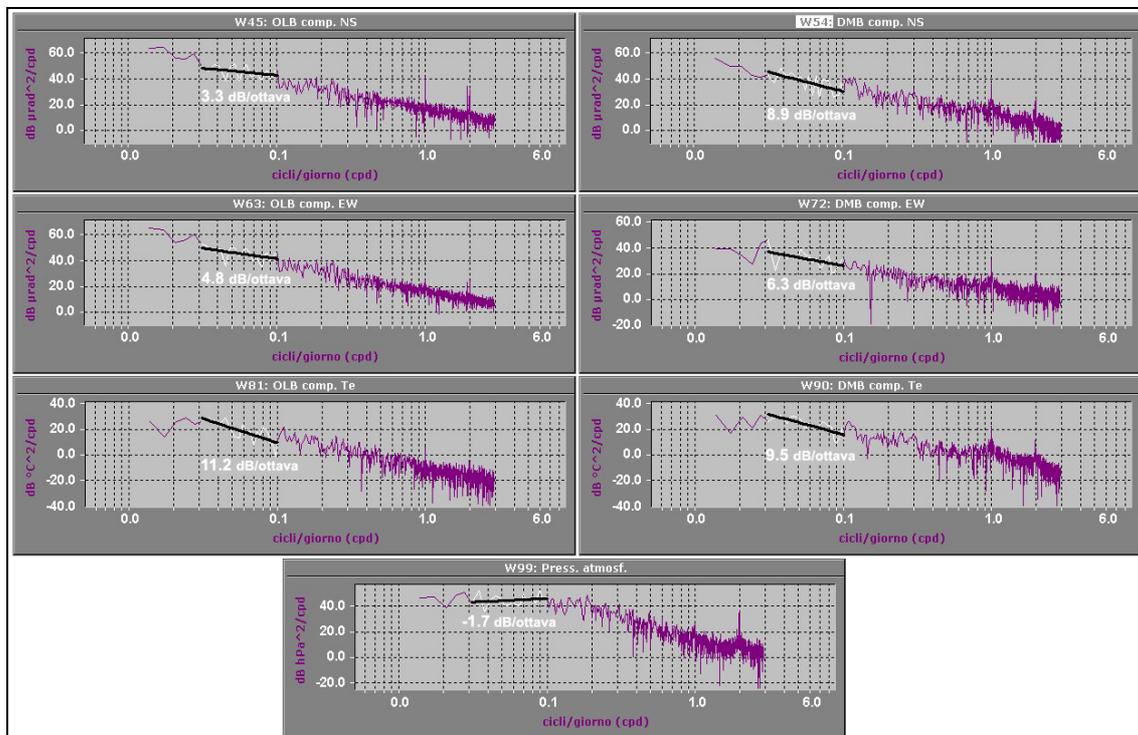


Fig. 7

Densità di potenza spettrale calcolata nella banda 0.014÷2.929 cpd sui segnali registrati ad OLB e DMB e sulla pressione atmosferica. Su ogni spettro è evidenziata in bianco la banda di frequenza 0.031÷0.101 cpd ed in nero la retta di best fit sulla quale è stato calcolato il gain (espresso in dB/ottava).

5 Decorrelazione termica dei segnali tiltmetrici

Risulta evidente il ruolo primario che le variazioni di temperatura hanno sui segnali acquisiti dalle stazioni tiltmetriche superficiali in quanto, oltre a modificare il volume del liquido elettrolitico presente nei trasduttori (il cui effetto viene però compensato attraverso delle costanti di cui si tiene conto durante il pre-processing) (AGI, 1995), tendono a deformare il terreno in modo non prevedibile a causa della disomogeneità e dell'inerzia termica di quest'ultimo. Poiché, in una visione epistemica, la deformazione termoelastica dello strato superficiale del suolo in corrispondenza dei siti stazione non è nota, l'influenza della termica può essere valutata e sottratta solo per via statistica (Ricco et al., 2003).

Le sequenze di dati di inclinazione sono state pertanto sottoposte ad un procedimento di regressione polinomiale tra il segnale registrato e la temperatura stessa attraverso varie fasi così sintetizzate:

1) filtraggio passa-basso dei segnali tiltmetrici e termico attraverso IFT ottenendo serie temporali con frequenze inferiori a 1 cpd (giorni^{-1});

2) ricerca dei massimi e minimi nella sequenza termica filtrata al fine di individuare i punti in cui essa deve essere tagliata per ottenerne porzioni il cui andamento è o crescente o decrescente nel tempo, ottenendo una colonna di valori 0...1 in cui gli 1 identificano i punti in cui il segnale va tagliato;

3) scomposizione delle componenti filtrate in n sub-sequenze attraverso rilettura della colonna di 0 e 1 e calcolo di regressione polinomiale di ordine 3 tra ogni coppia di esse ($NS_n - TE_n, EW_n - TE_n$);

4) residuazione delle componenti rispetto ai corrispondenti polinomi di regressione, ricomposizione dell'intero segnale, calcolo del coefficiente di correlazione e dell'errore standard della stima su ogni sub-sequenza.

5) attribuzione ad ogni sub-sequenza di un coefficiente 1 nel caso in cui il coeff. di correlazione risulti inferiore a 0.8 oppure l'errore standard della stima sia superiore a 3 volte la dev. standard di tutti gli errori calcolati e di un coefficiente 0 negli altri casi; agli intervalli in cui il segnale è stato ben decorrelato viene attribuito il valore 0, altrimenti si assegna il valore 1.

Il procedimento di decorrelazione termica applicato alle serie tiltmetriche originarie ha quindi permesso di correggere (nei limiti consentiti dal metodo utilizzato) l'inclinazione del suolo registrata riportandola in condizioni di temperatura costante.

6 Interpretazione dei dati decorrelati

Confrontando i segnali decorrelati con il procedimento di cui sopra relativi a OLB (Fig. 8) ed a DMB (Fig. 9) con quelli originari (Figg. 4 e 5), è possibile confermare il periodo in cui si è verificata l'inversione tiltmetrica ed addirittura anticiparne la data di 3 giorni (25 invece che 28 Luglio).

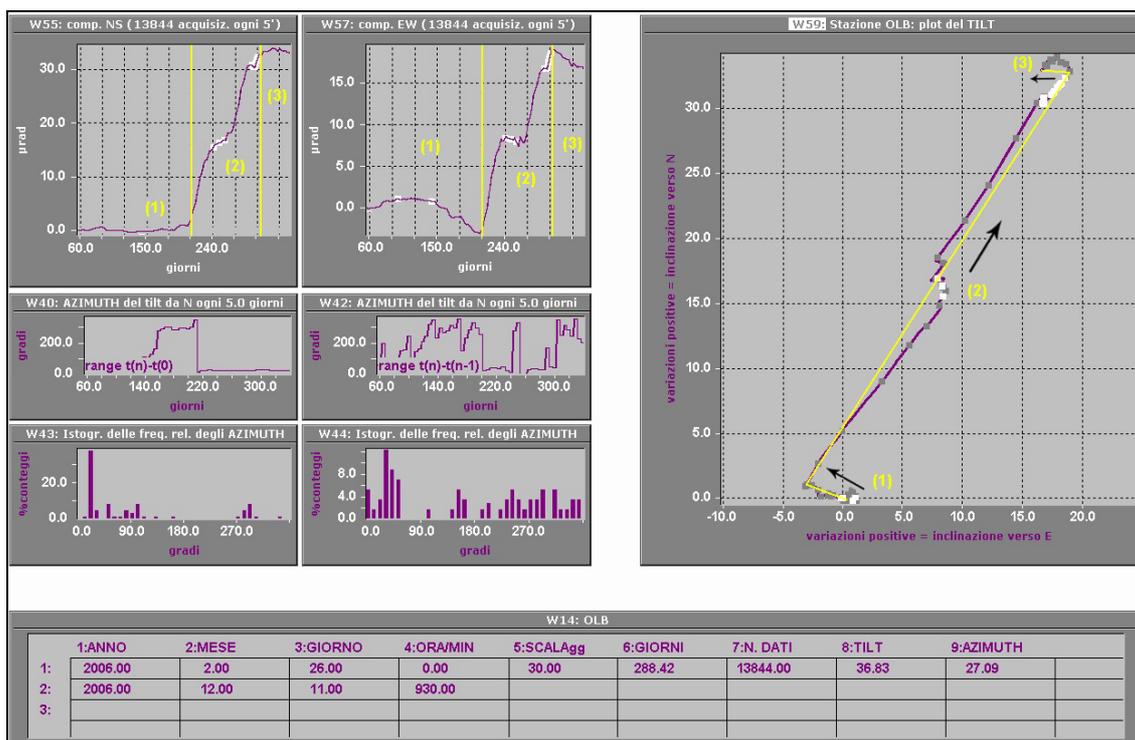


Fig. 8

Foglio di lavoro relativo alla stazione OLB.

Le finestre 55 e 57 riportano in viola le sequenze ricomposte di dati decorrelati relative alle componenti NS ed EW.

Le linee gialle delimitano i settori prima, durante e dopo l'inversione.

Le finestre 40 e 43 calcolano rispettivamente l'azimuth orario da N del vettore tilt ogni 5 giorni rispetto al valore iniziale e la relativa distribuzione di frequenza; le finestre 42 e 44 considerano invece intervalli successivi.

Nella finestra 59 è riportata in viola la risultante vettoriale delle sequenze decorrelate sovrapponendole un quadratino grigio ogni 5 giorni; le linee gialle e le frecce nere identificano i vettori inclinazione nei 3 settori.

I quadratini bianchi rappresentano gli eventi sismici registrati alla stazione STH.

Essa avviene quindi circa 10 giorni prima dell'inizio di una fase stagionale in cui la temperatura cessa di salire per rimanere stazionaria ed in seguito discendere gradualmente (finestra 63 delle Figg. 4 e 5).

Alla stazione OLB si calcola tra il 25 Luglio ed il 2 Novembre una inclinazione a N55E di 39 μ radianti mentre a DMB essa ammonta a circa 2.5 μ radianti in direzione N03W nel periodo 25 Luglio - 28 Ottobre; tali valori risultano rispettivamente 11 e 9 volte più piccoli di quelli registrati originariamente alle due stazioni. Questo risultato è dovuto al procedimento di correzione a cui vengono sottoposti i segnali originari e che quindi ridimensiona notevolmente l'ampiezza dell'inclinazione iniziale.

Inoltre il tilt calcolato ad OLB risulta 15 volte superiore a quello relativo a DMB; un rapporto così alto (15 a 1) può essere dovuto al fatto che la prima stazione situata ad E dell'area di massimo sollevamento si trova in un campo di deformazione la cui pendenza è molto più elevata di quella che invece viene registrata dall'altra collocata a N della medesima area. In alternativa potrebbe essere ipotizzata una sorgente di deformazione molto prossima ad OLB (ad es. un dicco) oppure la vicinanza di una discontinuità strutturale i cui effetti di campo vicino potrebbero indurre una maggiore deformazione.

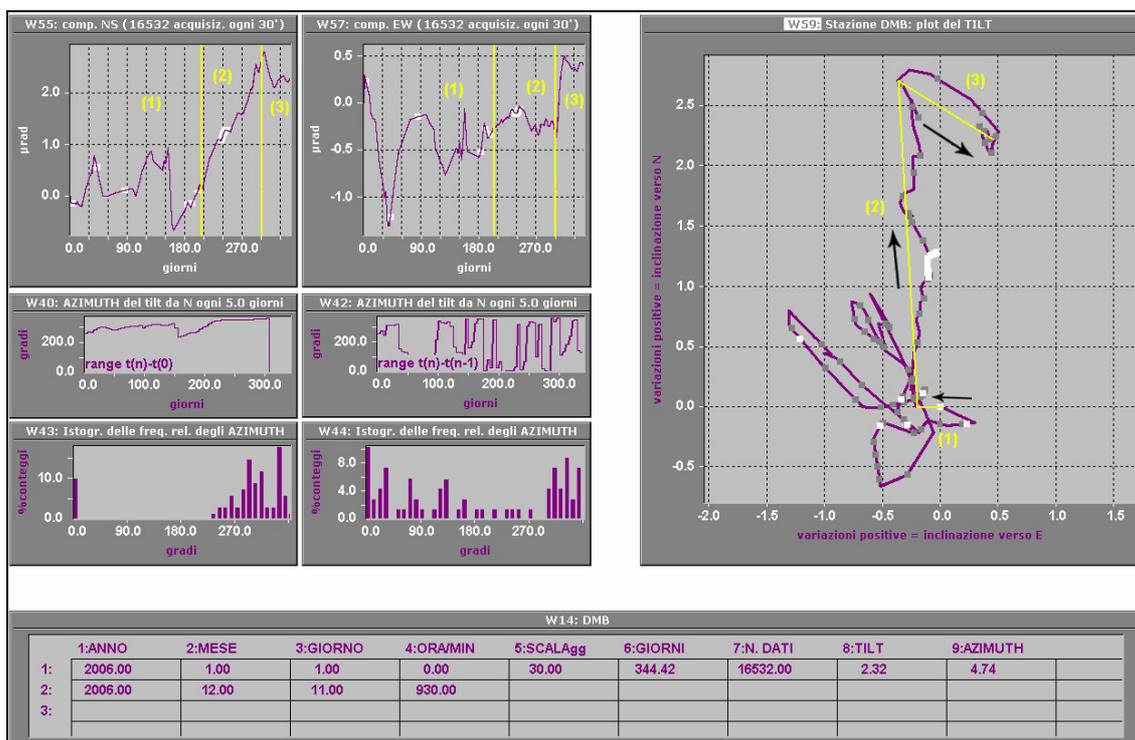


Fig. 9
Foglio di lavoro relativo alla stazione DMB.

7 Comparazione dei segnali tiltmetrici con gli eventi sismici registrati

Nel periodo compreso tra il 19 ed il 28 Ottobre la stazione sismica analogica STH (Solfatara Tennis Hotel) ha registrato numerosi eventi con Magnitudo compresa tra -1.1 e 0.8 mentre tra il 23 ed il 27 Ottobre la stazione digitale SOB (Solfatara broadband) ha registrato anch'essa centinaia di eventi a bassa frequenza (Fig. 10). La sequenza dei terremoti rilevati a STH (lab. Sismico OV-INGV) è stata sovrapposta ai segnali tiltmetrici, termico e barico di OLB e DMB; dall'esame dei grafici è evidente che essi sono avvenuti negli ultimi giorni precedenti la fine dell'inversione tiltmetrica registrata ad OLB (Figg. 4 e 8). La stessa operazione è stata fatta per altri 3 eventi registrati sempre ad STH tra il 29 Agosto ed il 13 Settembre ma di Magnitudo compresa tra 0.4 e 0.6 e si è notato che essi si sono verificati quando, durante la fase di inversione, l'inclinazione del suolo diminuiva in velocità mentre la sua direzione ruotava bruscamente di 55° in senso antiorario, portandosi a N per poi riallinearsi al precedente azimuth.

Alla stazione DMB non è stato invece rilevato alcun comportamento singolare in corrispondenza della attività sismica.

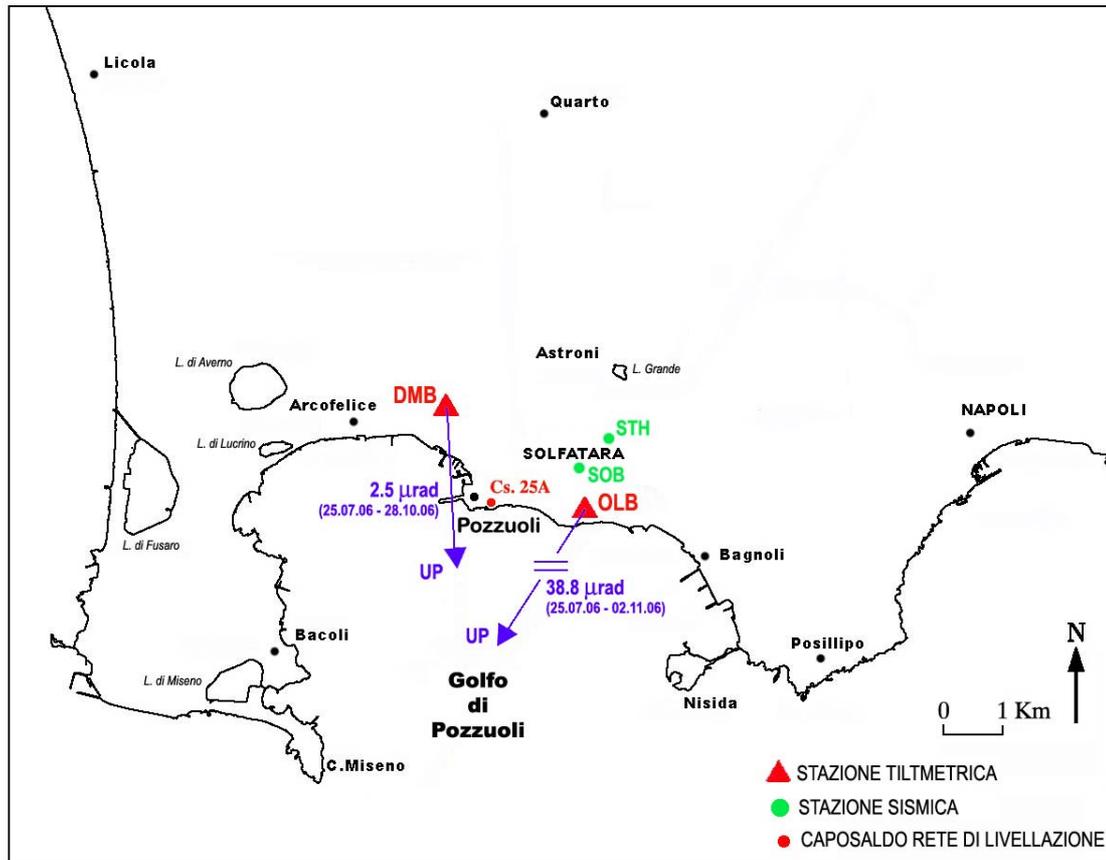


Fig. 10

Localizzazione delle stazioni tiltmetriche e sismiche citate nel presente lavoro. I vettori disegnati (non in scala) puntano verso la zona in sollevamento.

8 Conclusioni

Il bradisisma flegreo dalla fine dell'ultima grande fase di sollevamento (1982-84) è stato caratterizzato da una fase discendente nel moto del suolo, interrotta da brevi fasi di uplift nella Primavera del 1989 (Luongo G. et al. 1989; Ricco C. et al. 1991), nell'Agosto del 1994 (Ricco C. et al. 1994) e durante la Primavera-Estate del 2000 (Berardino P. et al. 2002; Borgström S. et al. 2006), durate pochi mesi ma caratterizzate da notevole velocità della deformazione (Fig. 11). La fine di queste crisi è stata sempre caratterizzata da un iniziale incremento della velocità di abbassamento seguito da una lenta diminuzione della velocità fino a raggiungere le condizioni precedenti alla crisi stessa.

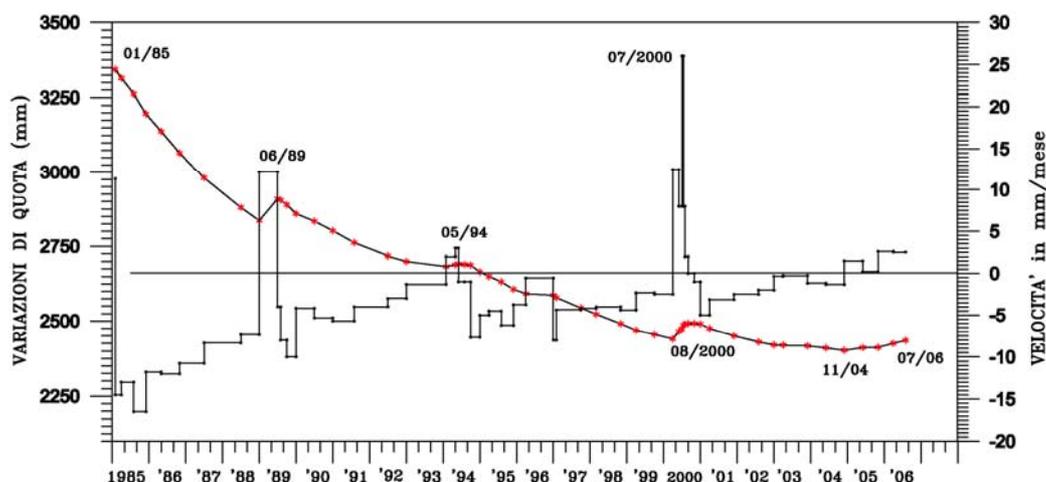


Fig. 11

Variations of quota (in rosso) calcolate al CS 25A: si riconoscono le varie fasi di inversioni del moto del suolo avvenute dal 1989 al 2006. In colore nero è riportata la velocità del suolo calcolata su base mensile.

Dall'Estate 2004 è iniziata una nuova fase di sollevamento con caratteristiche sensibilmente diverse dalle precedenti, mostrando piccole accelerazioni e stasi del fenomeno. L'uplift registrato nel Luglio 2006 (Fig. 10) si imposta su questa fase di graduale sollevamento ma si differenzia per l'entità della deformazione angolare che raggiunge quasi 40 μ radianti ad E dell'area di massimo sollevamento (stazione OLB).

Durante l'uplift si rileva attività sismica che, seppure di bassa energia e con pochissimi eventi, riguarda una zona epicentrale (area Solfatara) non molto distante da OLB che registra contemporaneamente un brusco cambiamento di velocità e direzione dell'inclinazione del suolo in corrispondenza del loro verificarsi. Inoltre, i successivi numerosi piccoli terremoti registrati tra il 19 e 28 Ottobre in Solfatara hanno preceduto di alcuni giorni la fine dell'uplift.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Direttore Giovanni Macedonio per aver consentito la pubblicazione di questo lavoro. Inoltre, un sentito ringraziamento va alla dott.^{ssa} Patrizia Ricciolino afferente al Laboratorio Sismico per aver fornito i dati sismici.

9 Bibliografia

- AGI Applied Geomechanics Incorporated: Tiltmeter temperature coefficients: source, definition and use to improve accuracy, *Report n. B-95-1005, Rev. C.*
- AQUINO I., RICCO C., DEL GAUDIO C. (2006): Rete tiltmetrica dell'area napoletana, www.ov.ingv.it/italiano/pubblicazioni/openfile/ofr_04_06.htm.
- 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. (2002) 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. (2006). 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., GUERRA I., LO BASCIO A., LUONGO G., RAMPOLDI F., (1977): Inflation and microearthquake activity of Phlegraean Fields, Italy, *Bull. Volcanol.* 40 (3), 169-188.
- DAL MORO G. and ZADRO M. (1998): Subsurface deformations induced by rainfall and atmospheric pressure: tilt/strain measurements in the NE-Italy seismic area, in *Earth and Planetary Science Letters*, 164, 193-203.
- HARRISON J. C. (1976): Cavity and topographic effects in tilt and strain measurements, in *J.G.R.*, 81, 319-328.
- 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.
- 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, in *Annals of Geophysics*, 46, 1297-1314.
- RICCO C., AQUINO I., BORGSTROM S., DEL GAUDIO C., RICCIARDI G.P., TIZZANI P., (2005): Recent evolution of ground deformation at Campi Flegrei detect by continuous monitoring system via tiltmetric techniques and comparison with high precision levelling, in *Atti del 24° Convegno Nazionale GNGTS, 101-104.*
- WESTERHAUS M. UND WELLE W. (2002): Environmental effects on tilt measurements at Merapi volcano, Bulletin d'informations mares terrestres (BIM), in *Proceedings of the Meeting on Environmental Effects on the Gravity Vector in Jena, 11.-15.3.2002.*
- WYATT F. K., MORISSEY S. T., AGNEW D. C. (1988): Shallow Borehole Tilt: A Reprise, in *Journal of Geophysical Research*, 93, 9197-9201.