RETE MAREOGRAFICA[8]

Vesuvio

Il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo è effettuato, oltre che con le tecniche geodetiche classiche e satellitari, anche tramite l'uso dei mareografi che rilevano, in continuo, il livello marino lungo le coste dove si impostano i vulcani attivi dell'area napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei.

La rete mareografica dell'Osservatorio Vesuviano è operante nell'area vesuviana a partire dal 1985. Il livello del mare è attualmente registrato con continuità dalle stazioni mareografiche di Castellammare di Stabia, Torre del Greco e Napoli Porto (figg. 74, 75, 76). La strumentazione operante nel sito di Napoli è ubicata all'interno della stazione mareografica dell'APAT facente parte della Rete Mareografica Nazionale.

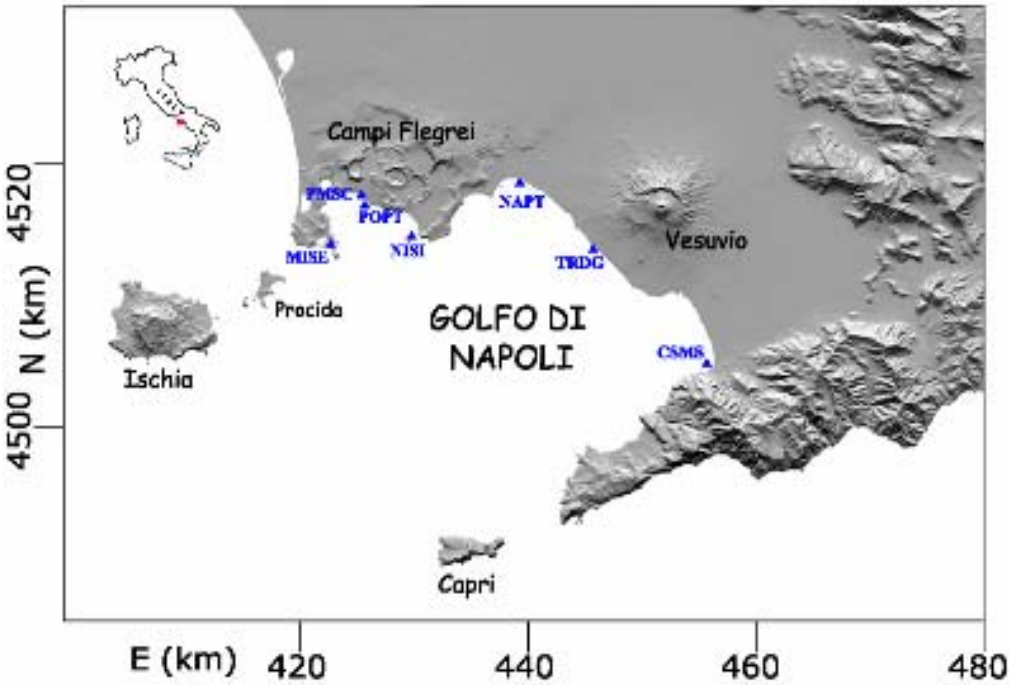

Figura 74. Rete mareografica dell'area vulcanica napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei. Area vesuviana: NAPT = Napoli Porto, stazione di riferimento; TRDG = Torre del Greco; CSMS = Castellammare di Stabia.

Le stazioni sono attrezzate sia con mareografi meccanici con sistema a galleggiante-contrappeso e registrazione su carta, che con sensori digitali a galleggiante-contrappeso i cui dati vengono trasmessi via GSM. Attualmente i sensori digitali, per le finalità di monitoraggio, campionano il livello marino ogni 5 minuti (con possibile riduzione fino ad un minuto). Con tale frequenza di campionamento è possibile un accumulo di circa 100 giorni di dati sulla memoria interna della centralina di acquisizione, prima che questa venga sovrascritta. Essa viene interrogata, in automatico, per il trasferimento dati al Centro di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano ogni 12 ore. Con la trasformazione digitale della rete di sensori si è raggiunto l'obiettivo di aumentare la

[8] A cura di: P. Capuano, A. La Rocca, F. Obrizzo, F. Pingue, S. Pinto, A. Russo, U. Tammaro

frequenza di campionamento, di evitare la successiva digitalizzazione del segnale analogico e di ottenere la connessione e lo scarico dei dati in tempo quasi reale (l'intervallo di 12 ore del tempo di connessione può essere ridotto).

Nel periodo gennaio – giugno 2006 è proseguito il programma di miglioramento e potenziamento della rete e sono state effettuate le ordinarie operazioni per il buon funzionamento delle stazioni mareografiche. Gli interventi di manutenzione straordinaria sulle stazioni sono eseguiti entro le 24-36 ore dall'insorgere del problema.

Oltre a ciò, nell'ambito del potenziamento della rete mareometrica, sono state rese operative le procedure necessarie per l'installazione di due stazioni la prima nel Porto di Forio localizzato sulla costa occidentale dell'isola d'Ischia e la seconda nel Porto di Agropoli (Salerno). Tali stazioni saranno equipaggiate con sensori digitali e trasmissione dati via GSM.

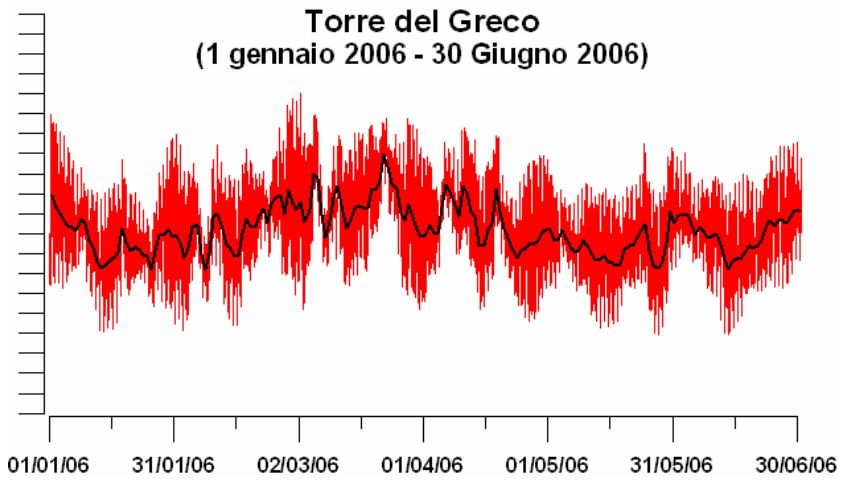

Figura 75. Variazioni del livello del mare al Porto di Torre del Greco (TRDG) nel periodo gennaio - giugno 2006 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

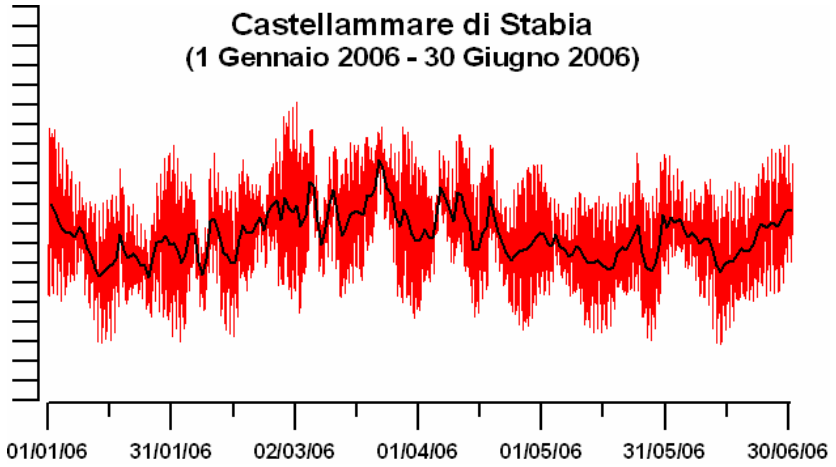

Figura 76. Variazioni del livello del mare al Porto di Castellammare di Stabia (CSMS) nel periodo gennaio - giugno 2006 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

L'analisi dei movimenti verticali del suolo, per l'area vesuviana, viene eseguita riferendo le misure del livello del mare, registrate a Torre del Greco, alla stazione di Napoli Porto e di Castellammare di Stabia. La stabilità relativa della stazione di riferimento viene periodicamente verificata tramite livellazioni di precisione effettuate sul caposaldo posto in prossimità del mareografo e collegato alla rete di livellazione.

Durante gli ultimi sette anni (2000-2006), nei limiti degli errori, non vengono evidenziati significativi movimenti verticali del suolo alla stazione di Torre del Greco (figg. 77, 78). Alla stazione di Castellammare di Stabia, inoltre, nel periodo gennaio-giugno 2006 (fig. 79) non si osservano significativi movimenti verticali del suolo.

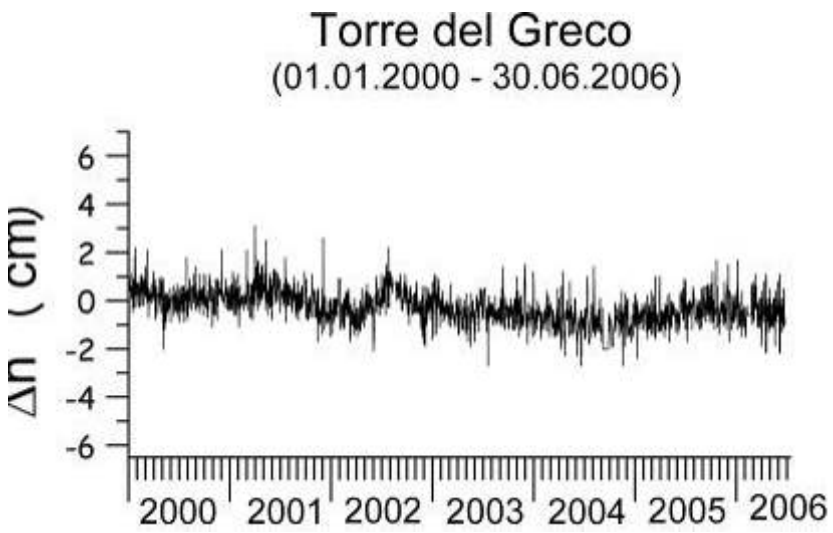

Figura 77. Movimenti verticali del suolo, nel periodo 2000-2006, dedotti dalla analisi dei dati rilevati alla stazione mareografica analogica di Torre del Greco, considerando come riferimento la stazione del Porto di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

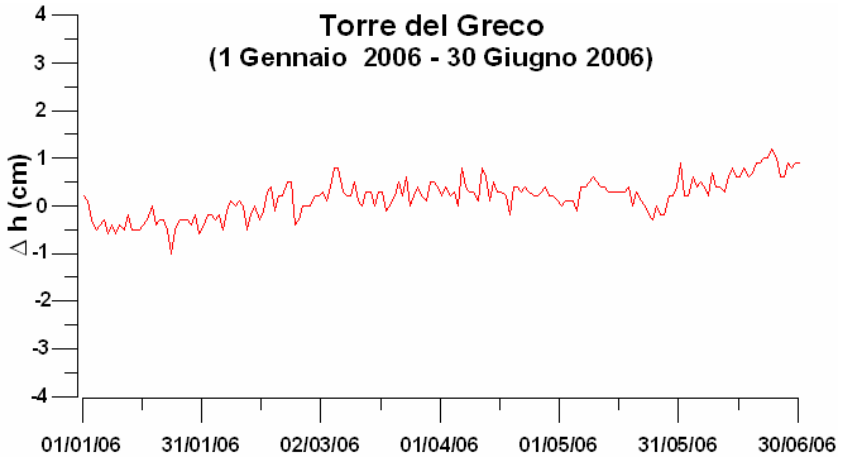

Figura 78. Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio – giugno 2006, dedotti dall'analisi dei dati rilevati alla stazione digitale di Torre del Greco, considerando come riferimento la stazione del Porto di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

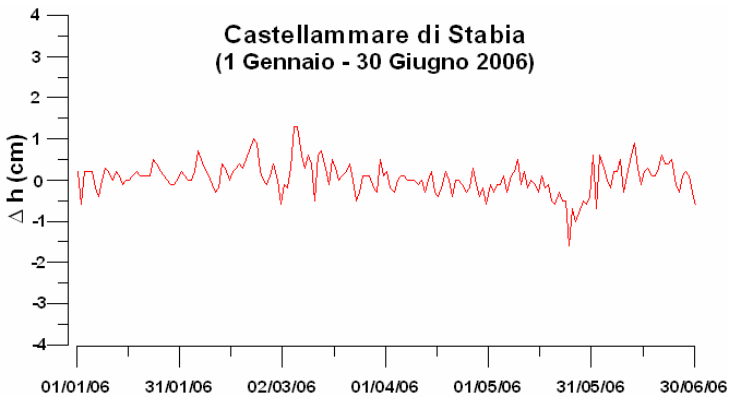

Figura 79. Movimenti verticali del suolo, nel periodo, gennaio – giugno 2006 dedotti dall' analisi dei dati rilevati alla stazione digitale di Castellammare di Stabia, considerando come riferimento la stazione el Porto di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

Campi Flegrei

L'acquisizione continua del livello del mare tramite stazioni mareografiche lungo la costa della caldera dei Campi Flegrei, si affianca alle tecniche geodetiche classiche e satellitari utilizzate per il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo nelle aree vulcaniche attive. La rete mareografica dell'Osservatorio Vesuviano è operante ai Campi Flegrei dal 1970 ed ha permesso di seguire sia le crisi bradisismiche del 1969-72 e 1982-84 sia le relative fasi successive, caratterizzate da una prevalente subsidenza interrotta da brevi e deboli sollevamenti. La rete è costituita da 4 stazioni mareografiche ubicate a Nisida, Pozzuoli Porto, Pozzuoli Molo Sud-Cantieri e Miseno (figg. 80-83). Oltre alle stazioni sopra riportate è operante il mareografo di riferimento ubicato nel Porto di Napoli (fig. 84), ospitato nella stazione mareografica dell'APAT facente parte della Rete Mareografica Nazionale. Le stazioni sono attrezzate sia con mareografi meccanici, con sistema a galleggiante-contrappeso e registrazione su carta, sia con sensori digitali a galleggiante-contrappeso i cui dati vengono trasmessi via GSM.

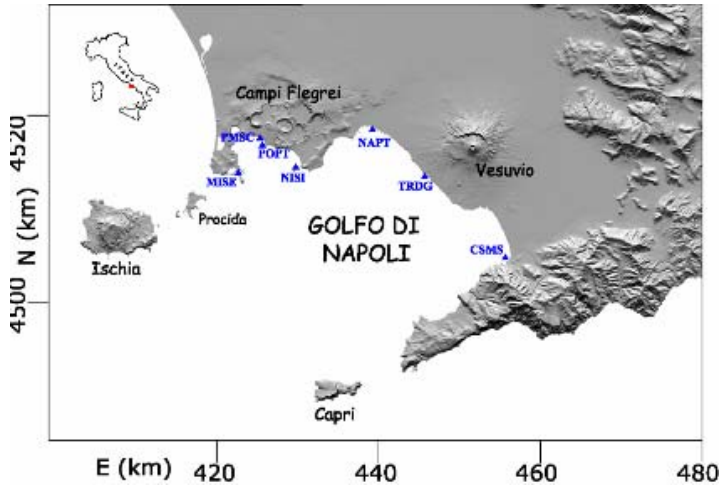

Figura 80. Rete mareografica dell'area vulcanica napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei. Campi Flegrei: NAPT = Napoli Porto, stazione di riferimento; POPT = Pozzuoli Porto; PMSC = Pozzuoli Molo Sud Cantieri; NISI = Nisida; MISE = Miseno.

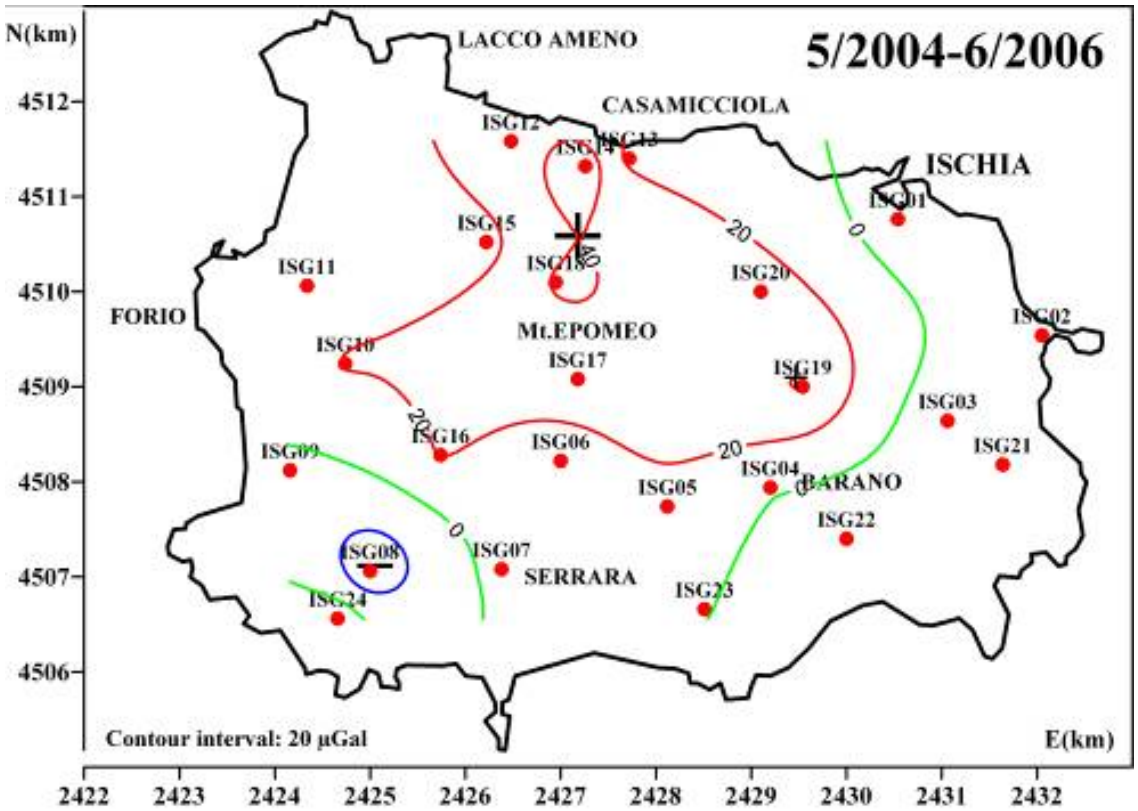

Figura 106. Variazioni di gravità, con riferimento alla stazione assoluta di Napoli, osservate all'Isola di Ischia nel periodo maggio 2004-giugno 2005.

SORVEGLIANZA GEOCHIMICA AL VESUVIO[11]

La sorveglianza geochimica dell'area Vesuviana, effettuata dall'Unità Funzionale di Geochimica dei Fluidi dell'Osservatorio Vesuviano nel corso del primo semestre del 2006, ha riguardato il monitoraggio del processo di degassamento nell'area craterica e lo studio delle emissioni fumaroliche presenti al fondo e sul bordo del cratere. Il monitoraggio del processo di degassamento è stato effettuato attraverso la misura discontinua dei flussi di CO_2 in 15 punti fissi ubicati sul bordo orientale del cratere (area anemometro) e attraverso l'acquisizione in continuo del flusso di CO_2 e di alcuni parametri atmosferici tramite la stazione FLXOV4 installata all'interno del cratere.

Flussi di CO_2

Il monitoraggio del processo di degassamento nell'area vesuviana è stato effettuato attraverso:

- l'esecuzione di numero 3 indagini veloci;
- il monitoraggio in continuo attraverso la stazione FLXOV4.

[11] A cura di: R. Avino, S. Caliro, G. Chiodini, V. Di Matteo, D. Granieri, C. Minopoli, R. Moretti, M. Russo

Monitoraggio discontinuo dei flussi di CO_2 (indagini veloci)

Le indagini veloci sono state effettuate periodicamente a partire dal febbraio 1998, sul bordo orientale del cratere. Le misure dei flussi di CO_2 e delle temperature del suolo a 10 cm di profondità vengono effettuate in 15 siti selezionati. I valori medi dei flussi di CO_2 di ciascuna campagna sono riportati, insieme al numero di scosse mensili, nel cronogramma di Fig. 107, dove è possibile riconoscere due periodi; il primo periodo, dall'inizio 1998 alla fine del 1999 è stato caratterizzato da un trend crescente del flusso di CO_2; il secondo periodo, invece, iniziato in seguito all'evento sismico dell'ottobre 1999, è caratterizzato da valori mediamente più bassi di flusso, le cui oscillazioni cicliche, sono imputabili a variazioni dei parametri ambientali. I valori più elevati di flusso di CO_2 sono relativi al periodo di maggiore sismicità (ottobre 1999). Le misure discontinue di flusso di CO_2 effettuate in questo primo semestre 2006, non hanno evidenziato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti.

Stazioni in continuo: ubicazione, sensoristica e risultati

Il monitoraggio geochimico in continuo al cratere del Vesuvio viene eseguito tramite la stazione automatica FLXOV4 che misura, ad intervalli di 4 ore, il flusso di CO_2 dal suolo e la temperatura del suolo a circa 20 cm di profondità. La stazione è operativa dall'agosto 1999, ma ha richiesto continui interventi di manutenzione sia per la continua caduta di materiale dalle pareti del cratere del Vesuvio, sia per mancanza di irraggiamento diretto all'interno del cratere del Vesuvio durante le stagioni invernali. Il record di dati presenta pertanto delle lacune in alcuni periodi dell'anno. La stazione ha subito un danneggiamento nel settembre 2005 ed è stata ripristinata all'inizio di aprile 2006. I valori di flusso registrati nel periodo aprile-giugno 2006 hanno mostrato un valore medio di circa 3000 $gm^{-2}d^{-1}$ (Fig. 108), che risulta un valore tipico per il periodo di riferimento (periodo primaverile). Nei giorni 11-13 aprile 2006 è stato registrato un picco di degassamento caratterizzato da un valore medio di circa 7300 $gm^{-2}d^{-1}$ ed un valore massimo di circa 16000 $gm^{-2}d^{-1}$. La temperatura del suolo, riportata nella Fig. 108, è stata registrata nel 2005 in un sito diverso (sito II) di quello monitorato fino al settembre 2003 (sito I). Dall'aprile 2006 è stato reinstallato il sensore di temperatura del suolo nel sito originario (sito I). La stazione meteorologica (ABC 7030), ubicata sul bordo occidentale del Vesuvio è stata completamente distrutta da una scarica elettrica atmosferica nell'ottobre 2005 ed attualmente non è operativa.

Composizione chimica delle fumarole al Vesuvio

Nel corso del primo semestre 2006 sono state eseguite n. 2 campagne di campionamento delle fumarole interne al cratere vesuviano e 3 campagne di campionamento della fumarola B1 del bordo cratere (Tab. 19). Una dettagliata descrizione del modello geochimico interpretativo delle fumarole del Vesuvio è riportata nei precedenti rapporti e riassunta nei precedenti rapporti di sorveglianza in cui sono state segnalate variazioni della composizione delle fumarole interne al cratere (fig 3 e 4): a partire dal terremoto del 9 ottobre 1999 (Md=3.6) sono state misurate per 2 anni aumenti nel tempo sia del rapporto He/CO_2 che della pCO_2 stimata sulla base di geoindicatori gassosi per una brine satura in NaCl. Contemporaneamente si è verificata la diminuzione dei

rapporti H_2/CO_2 e CH_4/CO2 (vedi rapporto finale 2001 e 2002). A partire dall'autunno 2002, i risultati delle analisi chimiche hanno mostrato e mostrano tuttora un graduale ritorno dei suddetti valori verso le condizioni precedenti il terremoto.Le variazioni riscontrate, che hanno registrato i massimi valori nel 2002, e il contemporaneo aumento del flusso di CO_2 rilevato alla stazione FLXOV4 (Fig. 109), sono state probabilmente causate ad un aumento dell'input di gas profondo, forse favorito dall'evento sismico dell'ottobre 1999. Durante il 2005 ed i primi sei mesi del 2006, i valori stimati di pCO_2 non hanno evidenziato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti (Fig. 109). Nello stesso periodo i rapporti CH_4/CO_2, He/CO_2 e H_2/CO_2 (fig 4) hanno anch'essi mostrato un'evoluzione verso valori simili a quelli registrati precedentemente all'evento sismico dell'ottobre 1999.

Conclusioni

Nel corso del primo semestre 2006 le misure in continuo del flusso di CO_2 alla stazione automatica FLXOV4 sono state effettuate solo per brevi periodi a causa di un malfunzionamento della stazione. La stazione meteorologica, ubicata sul bordo occidentale del cratere, colpita da scarica elettrica atmosferica nel settembre 2004 è stata reinstallata nel maggio 2005, ma nuovamente danneggiata ad ottobre 2005. Le misure discontinue di flusso di CO_2 effettuate nel 2005 e 2006, non hanno evidenziato variazioni significative rispetto al periodo precedente.Anche per quanto riguarda i parametri chimici delle fumarole e la pCO_2 stimata non si sono registrate variazioni significative rispetto al periodo precedente. I valori dei rapporti H_2/CO_2, CH_4/CO_2 e He/CO_2, che in seguito all'evento sismico dell'ottobre 1999 avevano subito variazioni imputabili ad un aumento dell'input di gas profondo, si stanno lentamente riportando verso valori caratteristici del periodo precedente l'ottobre 1999.

Tabella 19. Analisi chimica dei campioni della fumarola FC2 del fondo cratere e della fumarola B1 del bordo cratere (le analisi sono espresse in μmol/mol).

Campione	Data	T°C	H_2O µm/m	CO_2 µm/m	H_2S µm/m	Ar µm/m	O_2 µm/m	N_2 µm/m	CH_4 µm/m	H_2 µm/m	He µm/m	CO µm/m
FC2	24/03/2006		933335	65552	255.3	0.546	0.008	113.1	39.8	704.3	0.362	28.013
FC2	07/05/2006	95	938599	60365	239.4	0.202	0.038	94.4	36.9	665.0	0.342	28.071

Campione	Data	T°C	%Ar	$\%O_2$	$\%N_2$	$\%CH_4$	$\%CO_2$
B1	10/01/2006		0.881872	19.75504	73.57571	0	1.342094
B1	31/03/2006	68.5	0.878135	19.65806	77.16097	0.018949	1.649406

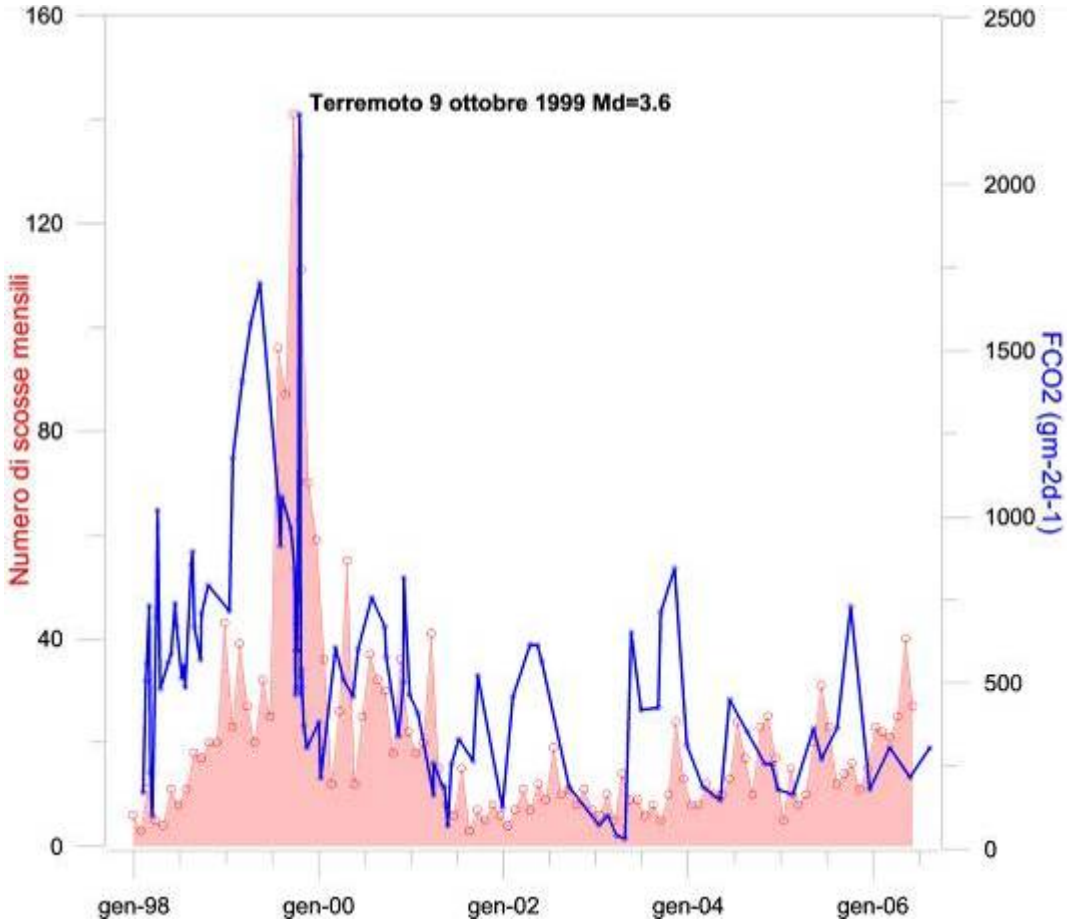

Figura 107. Valori medi del flusso di CO_2 in 15 punti del bordo craterico del Vesuvio, area anemometro (per l'ubicazione esatta del sito vedi i rapporti di sorveglianza 1999). Nel grafico è anche riportato il numero mensile di eventi sismici.

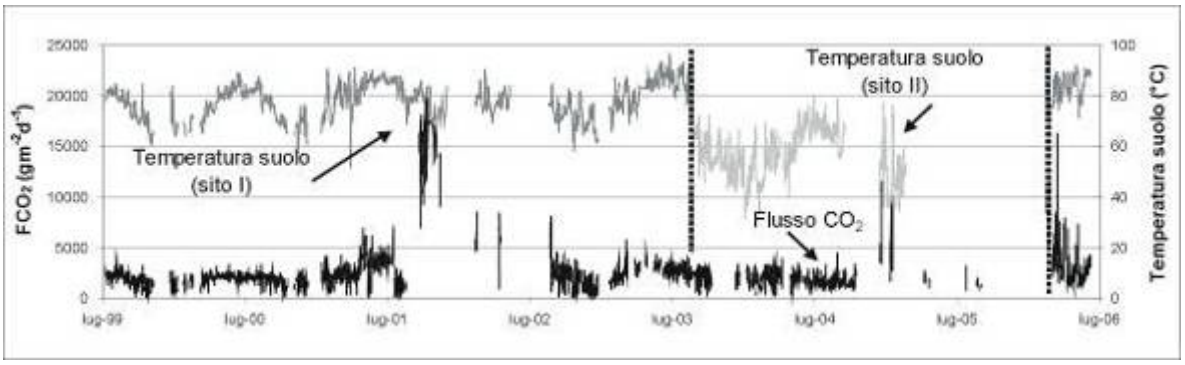

Figura 108. Flusso di CO_2 e temperatura del suolo a circa 0.2 m di profondità, all'interno del cratere del Vesuvio. Dall'aprile 2006 è stato ripristinato il controllo della temperatura del suolo nel sito I.

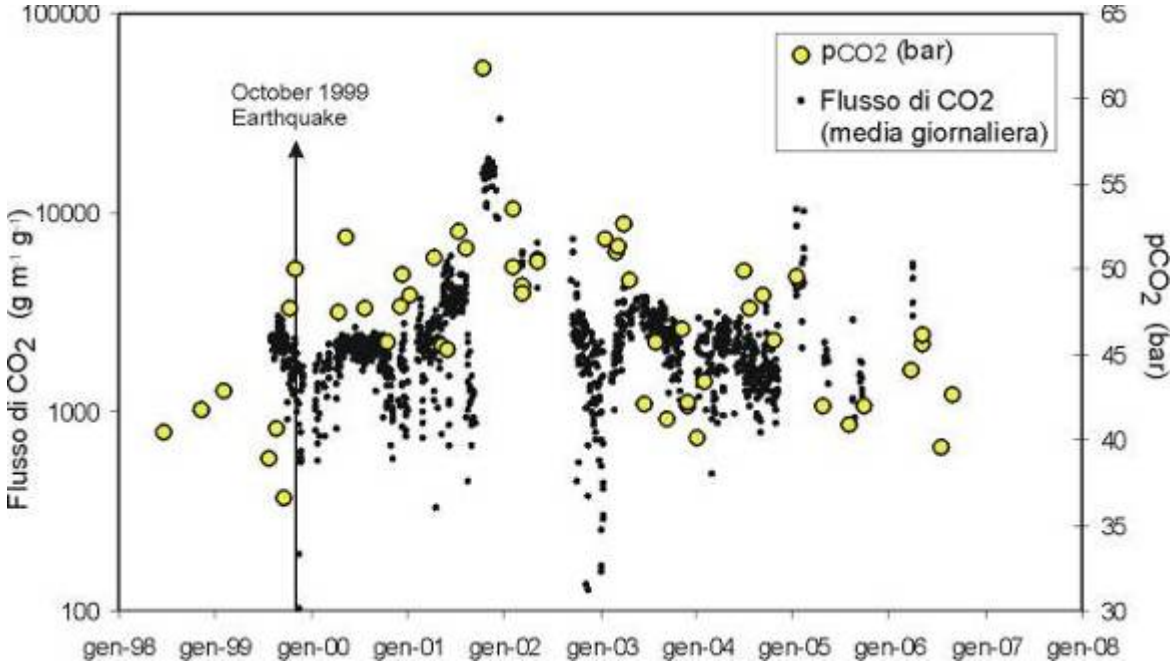

Figura 109. pCO_2 stimata sulla base dei gas emessi dalla fumarola FC2 (brine NaCl 3M) e medie giornaliere del flusso di CO_2 alla stazione FLXOV4 (1998-2006).

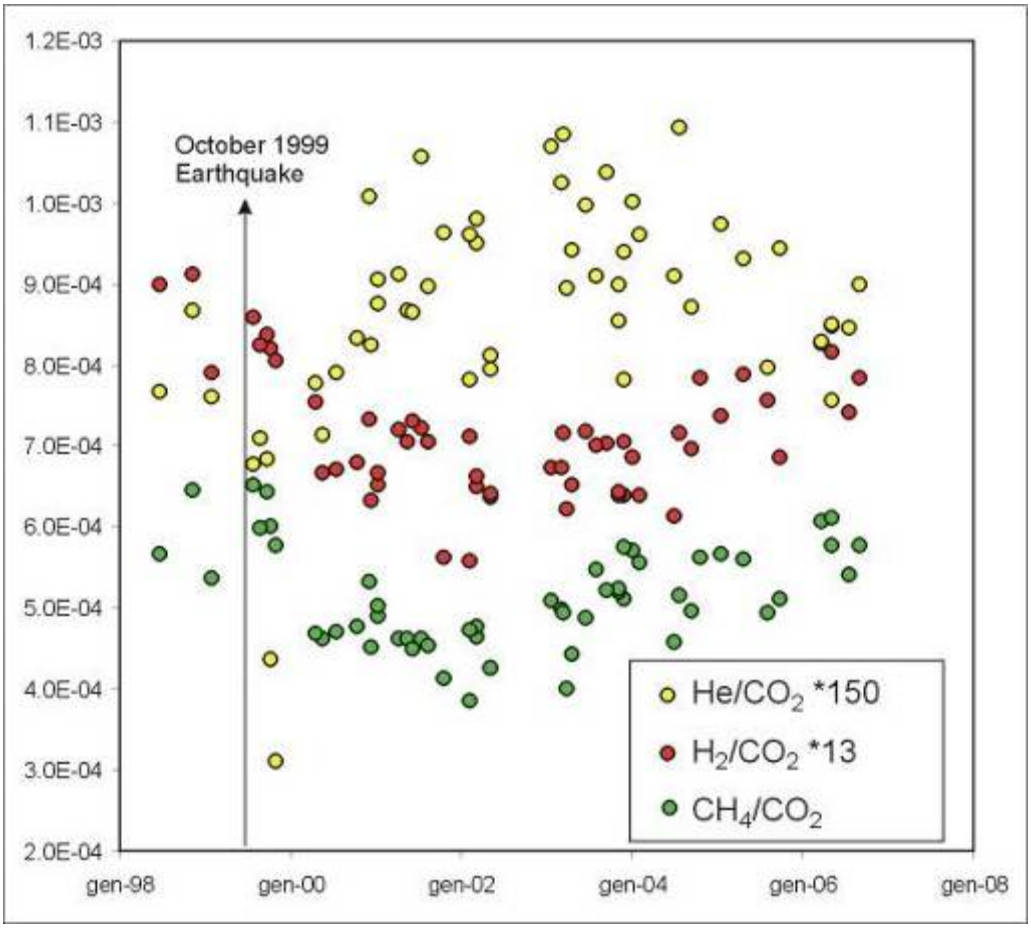

Figura 110. Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1998-2006.

VESUVIO

L'acquifero superficiale del Vesuvio è monitorato dal 1999 mediante campionamento mensile di 8 pozzi e 3 sorgenti ubicati, per la maggior parte, sul fianco sud-occidentale del vulcano (area caratterizzata dalla maggiore emissione di fluidi vulcanici) e, in misura inferiore, sui fianchi settentrionale ed orientale dell'edificio vulcanico, in prossimità di strutture tettoniche attive. Su ciascun campione viene determinata la composizione chimica dell'acqua in termini di costituenti maggiori (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO_4, NO_3, alcalinità), la composizione chimica dei gas disciolti e la composizione isotopica dell'elio disciolto su quattro siti. Inoltre, in due punti di campionamento sono state installate stazioni di misura in continuo della temperatura, con frequenza di campionamento oraria: si tratta della sorgente Olivella, ubicata sul fianco settentrionale dell'edificio vulcanico e del pozzo 14, nel comune di Torre Annunziata. Nel corso del I semestre 2006 si è osservata una condizione generalmente stazionaria nella composizione chimica dell'acquifero vesuviano. In alcuni siti, dove nel corso degli ultimi due anni si è misurata una diminuzione della salinità e delle temperature, a causa di un maggiore apporto di una componente idrica più superficiale che tende a prevalere su quella profonda più salina, non si osservano variazioni significative rispetto al 2005. L'aumento del flusso idrico superficiale rispetto ai fluidi profondi ha determinato inoltre un aumento del frazionamento fra le diverse specie gassose, legato alla loro differente solubilità in acqua. Il rapporto CH_4/CO_2, già aumentato nel corso del 2005 a causa dell'arricchimento preferenziale del CH_4 nella fase gassosa rispetto alla CO_2, si mantiene su valori piuttosto elevati, a conferma di un ridotto apporto di CO_2 e/o di gas profondi nell'acquifero rispetto alla componente idrica superficiale. Le temperature medie delle acque sotterranee, corrette rispetto al trend stagionale, mostrano inoltre una tendenza alla diminuzione, confermando quindi l'ipotesi di una maggiore influenza di fluidi di origine superficiale nella ricarica degli acquiferi vesuviani.

CAMPI FLEGREI

I Campi Flegrei consistono in un complesso sistema vulcanico ubicato sul margine meridionale tirrenico della catena appenninica, in un'area interessata da movimenti tettonici di tipo distensivo. In tempi storici, l'attività vulcanica è consistita nell'eruzione del monte Nuovo avvenuta nel 1538 e da diversi cicli bradisismici, la cui ultima crisi si è manifestata nel periodo 1982-1984. Le attività di monitoraggio geochimico, svolte dalla Sezione di Palermo dell'INGV nel corso del primo semestre 2006 in quest'area, sono consistite nello studio delle variazioni temporali del chimismo, della composizione isotopica di He e CO^2 dei gas fumarolici emessi dalla Solfatara di Pozzuoli. In