

PROSPEZIONE DEI GAS DEL SUOLO NELL'ISOLA DI VULCANO

RINO BERTRAMI

ENEL-UNG, Geominerario, 56044 Larderello, Pisa (Italia)

ENRICO ANTRODICCHIA, CESARE LUZI

AGIP-SERG, S. Donato Milanese, 20097 Milano (Italia)

RIASSUNTO. — La prospezione dell'elio nei gas del suolo, recentemente sperimentata nell'esplorazione geotermica, è stata impiegata per integrare i dati geochimici sull'Isola di Vulcano, in vista della perforazione di pozzi geotermici.

La campagna è stata condotta in due riprese, nelle estati del 1982 e del 1983.

Per una migliore comprensione dei risultati dei rilievi di elio, sono stati determinati nei gas del suolo anche i contenuti di CO_2 , CH_4 , H_2 , N_2 ed O_2 .

La presenza di H_2 e di tenori di CO_2 superiori alla media sono stati osservati in aree che risultano anomale anche per il contenuto in elio.

Questa associazione probabilmente individua i punti in cui le fughe di gas profondi sono particolarmente intense.

Nell'Isola sono presenti anche aree in cui l'elio nei gas del suolo è a livelli più bassi che non nell'atmosfera.

ABSTRACT. — The determination of the helium content in soil gases has been used as prospecting technique in geothermal exploration.

This method has been used to integrate the geochemical data available on Vulcano Island, before beginning geothermal drilling.

CO_2 , CH_4 , H_2 , N_2 and O_2 were also measured in the soil gases for comparison with, and a better understanding of, the results of the helium surveys, which were carried out during the summers of 1982 and 1983.

CO_2 values above the average and H_2 presences were observed in areas with anomalous positive helium contents. This association of gases suggests that in these points stronger leakages of deep gases occur.

In some areas of the island the helium contents in the soil gases are below atmospheric value.

1. Generalità

Tra i filoni di ricerca che si stanno seguendo in questi ultimi anni per l'affinamento

dei metodi di prospezione geotermica è compreso anche quello del rilievo dei tenori di elio nei gas del suolo (ROBERTS A.A. et al., 1975; BERTRAMI R. et al., 1980; BALDI P. et al., 1984; BERTRAMI R. et al.).

Questo metodo sembra in grado di fornire indicazioni sulla maggiore o minore permeabilità dei terreni e costituisce un mezzo ausiliario per il riconoscimento di strutture geologiche interessate da una tettonica attiva. Esso è inoltre di basso costo e non è vincolato all'esistenza di manifestazioni naturali.

Considerate queste possibilità del metodo, in vista di integrare i dati geochimici disponibili per l'Isola di Vulcano, sono state effettuate due campagne di prospezione finalizzate allo studio dei tenori di elio totale nei gas del suolo ed ai suoi rapporti con gli altri componenti di questi stessi gas.

Il lavoro è stato svolto nel giugno 1982 e nel settembre 1983.

2. Metodologia sperimentale

Il campionamento ha interessato l'Isola (fig. 1) ad esclusione delle zone non accessibili o in cui il gas fuoriesce eccessivamente incoerentemente (per caso durante l'aspirazione). In ogni punto (guito) si può avere un campione di gas del suolo con corredo di gas originaria e gas di ricambio colti complessivamente dal suolo, di cui il primo è il risultato di ricognizio.

una
circa
Per
laborat
dotto
Veroject

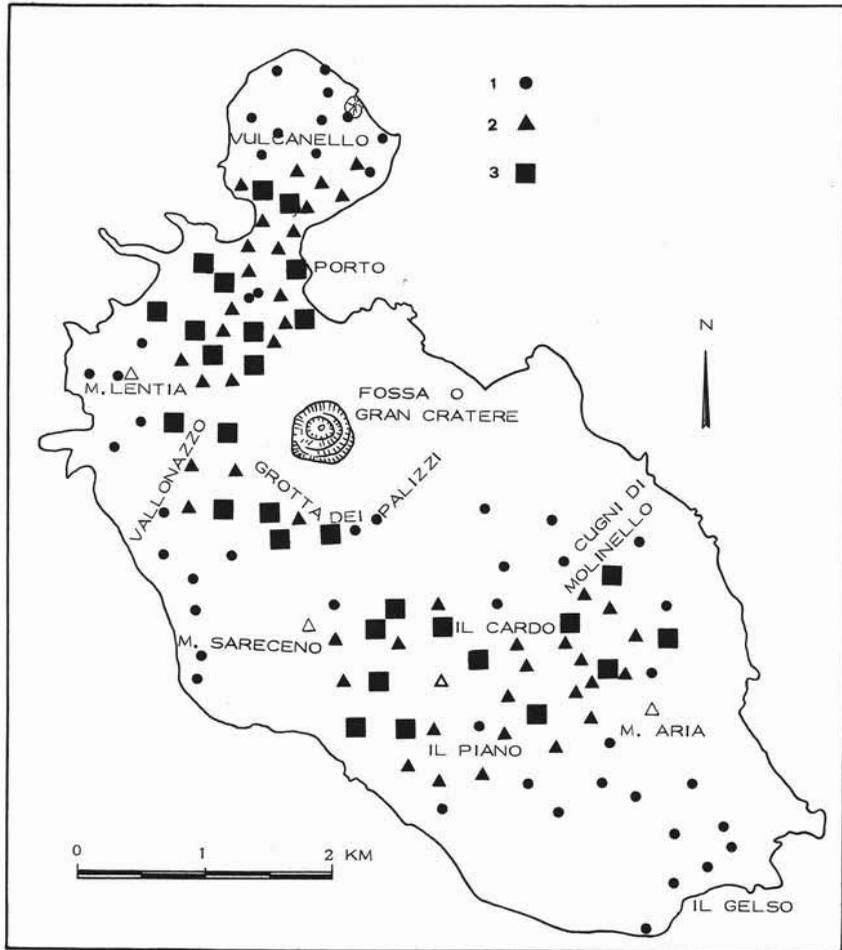


Fig. 1. — Ubicazione dei punti di prelievo dei gas del suolo. - 1: punti di prelievo del rilievo di ricognizione generale, giugno 1982; 2: punti di prelievo del rilievo di dettaglio, settembre 1983; 3: punti di campionamento comuni ai due rilievi.

titolo di confronto sono stati raccolti campioni di gas anche dalle manifestazioni naturali della Fossa e del Porto. La densità media di campionamento è stata rispettivamente di 4 campioni per km^2 nella ricognizione generale e di 18 campioni per km^2 nel raffittimento condotto nel 1983 tra Il Piano ed Il Cardo e tra Vulcanello e Grotta dei Palizzi.

Il gas del suolo viene aspirato lentamente mediante una siringa ipodermica attraverso una sonda metallica infissa nel terreno per 50 cm (REIMER G.M. et al., 1979 b). Per l'analisi di He e degli altri gas di interesse il campione viene poi introdotto in ampole di vetro (Vacutainer®), preventivamente poste sotto vuoto

(BERTRAMI R. et al., 1980). L'elio può essere anche determinato in campagna a distanza di poche ore dal campionamento, ed in tal caso il campione viene mantenuto direttamente nella siringa (REIMER G.M. et al., 1979 b).

Le determinazioni di He totale sono state eseguite con uno spettrometro Du Pont 120 SSA specifico per la massa 4, modificato per la parte rivelazione del segnale ed attrezzato con un apposito sistema di introduzione del campione a pressione costante (REIMER G.M. et al., 1979 b). In questa configurazione il segnale viene registrato su carta.

Le misure sono state effettuate utilizzando come gas di riferimento l'aria, che ha un tenore costante di 5240 ppb in volume di elio (GLUECKAUF E., 1946) o, se del caso, miscele standard a titolo noto.

La sensibilità strumentale è dell'ordine di ± 30 ppb. I risultati sono espressi in ppb in volume prendendo il contenuto di elio nell'aria come zero di riferimento.

N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 ed H_2 sono stati determinati per via gascromatografica con rivelatore a termoconducibilità.

Il minimo di rivelabilità è di 450 ppm per la CO_2 , 3,5 ppm per H_2 , 100 ppm per CH_4 , 100 ppm per N_2 e 100 ppm per O_2 . L'errore di misura è dell'ordine del $\pm 10\%$ per le quantità minime rilevabili. Per queste specie si dispone solo dei dati della ricognizione generale.

3. Limiti di validità dei dati

Non è possibile fare valutazioni precise della eventuale influenza sui risultati dell'elio generato localmente dal decadimento di materiali radiogenici per la mancanza di dati specifici. Da un punto di vista generale si può dire, in base a quanto riportato in letteratura (REIMER G.M. et al., 1979; REIMER G.M. et al., 1979 b), che l'importanza di questo fattore perturbante non dovrebbe essere notevole. Infatti nei casi descritti (REIMER G.M. et al., 1979; REIMER G.M. et al., 1979 b) si osserva che in prossimità di depositi uraniferi si hanno in generale, nel raggio di qualche centinaio di metri, concentrazioni di elio al suolo al massimo di 50 ppb.

Questo valore è notevolmente inferiore alle concentrazioni anomale riscontrate nell'Isola. Inoltre si sottolinea che i materiali radiogeni dovrebbero essere presenti in forma diffusa nelle rocce dell'Isola, così che l'effetto sulle concentrazioni finali di elio dovrebbero essere inferiori rispetto al valore di 50 ppb sopra riportato.

Le condizioni meteorologiche, che possono influenzare le concentrazioni di elio nel suolo, non hanno subito variazioni nel corso delle prospezioni e nei periodi immediatamente precedenti. Di conseguenza questa possibile causa di variazione dei dati è ragionevolmente da escludere.

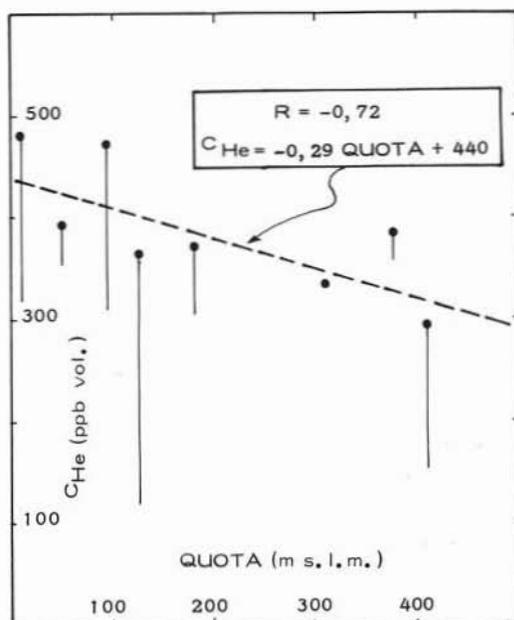


Fig. 2. — Variazioni del contenuto in elio nei gas del suolo in funzione della quota di prelievo. Le concentrazioni sono riferite all'atmosfera presa come zero. Sono indicati il coefficiente di correlazione e l'equazione della relativa retta di regressione. I tratti verticali indicano l'oscillazione delle misure in aliquote diverse prelevate dallo stesso punto.

Nella parte sud-orientale dell'isola si ha una variazione regolare di altitudine mentre la situazione litologica rimane piuttosto omogenea.

Sono stati prelevati otto campioni a quote crescenti per valutare le variazioni in He in funzione del loro aumento.

L'effetto (fig. 2) può essere stimato in circa 30 ppb di diminuzione per ogni 100 m di aumento di altitudine. Pertanto l'incidenza totale di questo fattore può essere valutata in 80-100 ppb per le aree più elevate dell'isola rispetto alle zone più basse di Grotte dei Palizzi-Vulcanello.

Al momento non è possibile quantificare l'effetto della quota per i valori negativi e per gli altri costituenti dei gas del suolo. Le concentrazioni di elio verranno riportate così come misurate, sottolineando comunque che quelle registrate alle quote maggiori sono da ritenersi valori minimi quando il contenuto in He è superiore a quello dell'aria.

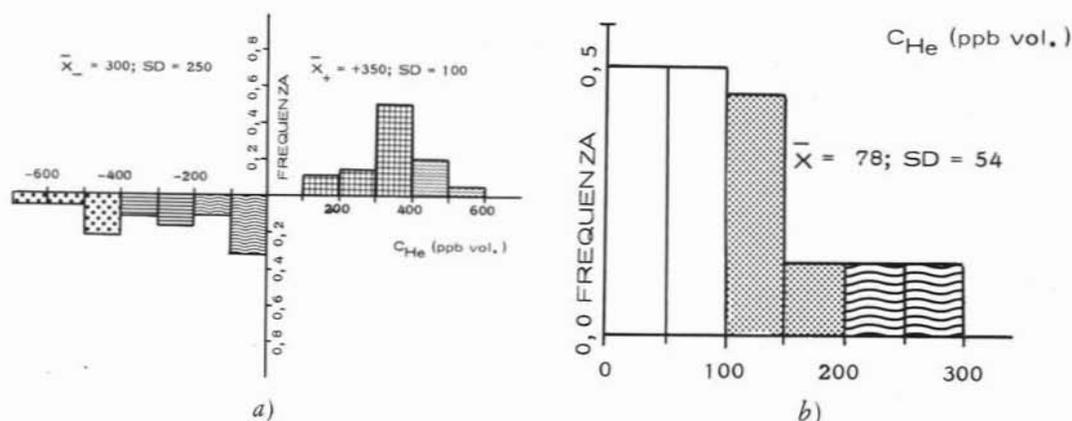


Fig. 3. — a) Istogramma della distribuzione delle concentrazioni di elio nei gas del suolo per il rilievo di riconoscimento generale. Le concentrazioni sono riferite all'atmosfera presa come zero. Sono indicati il valore medio e la deviazione standard separatamente per i valori positivi e negativi (campioni totali n. 80). b) Istogramma della distribuzione delle concentrazioni di elio nei gas del suolo per il rilievo di dettaglio. Le concentrazioni sono riferite all'atmosfera presa come zero. Sono indicati il valore medio e la deviazione standard (campioni totali n. 90).

4. Classificazione dei dati

4.1. Elio

Gli istogrammi di frequenza dei valori relativi alle due serie di campioni sono riportati in fig. 3.

Nella ricognizione generale si ottengono valori nettamente positivi o negativi, con l'eccezione di soli 4 campioni per i quali il contenuto in He è molto vicino a quello dell'aria.

Tale situazione è insolita se paragonata ai risultati di questo tipo di prospezione in altre aree geotermiche italiane (BALDI P. et al., 1984).

Essa è probabilmente connessa con le particolari condizioni vulcano-tettoniche dell'isola che possono favorire, grazie ad una pronunciata permeabilità secondaria presente in tutta l'area investigata, i fenomeni di fuga dei gas profondi.

I valori positivi si distribuiscono quasi secondo una gaussiana e si osserva che il 68% di questi è compreso $X \pm SD$. Dall'istogramma sono stati esclusi cinque valori particolarmente elevati ricollegabili ad emissioni di particolare intensità.

Per i valori negativi, dato il loro numero esiguo, una classificazione è meno significativa. Il massimo di frequenza principale è tra 0 e -100 ppb, con massimi secondari tra -200 e -300 ppb e tra -400 e -500 ppb.

Nel rilievo di raffittimento si registrano

solo due casi di valori negativi, mentre compaiono valori tra 0 e 100 ppb, assenti nel rilievo precedente.

4.2. Altri componenti

Nei gas del suolo il metano è sempre assente e l'idrogeno è presente solo in pochi casi, per cui non è significativo eseguire una classificazione statistica.

Per quanto riguarda gli altri componenti, una prima divisione è stata effettuata sulla base del diagramma $CO_2-O_2-N_2$ (fig. 4), ove è riportata la retta $C_{O_2} = C_{N_2}/3,76$. Su questo diagramma si distinguono due gruppi estremi di campioni:

- il gruppo A è costituito da miscele CO_2 -aria con $CO_2 > 80\%$;
- il gruppo B è costituito da miscele CO_2 -aria con $CO_2 < 1\%$.

Esistono diversi termini intermedi ai due gruppi ed un campione isolato costituito da una miscela di N_2 , O_2 e CO_2 (punto C in fig. 4), con N_2 in eccesso rispetto al rapporto stechiometrico con O_2 nell'aria.

Le concentrazioni di CO_2 per i campioni del gruppo B di fig. 4 si distribuiscono secondo l'istogramma di fig. 5, con un massimo di frequenza compreso tra 1000 e 2000 ppm.

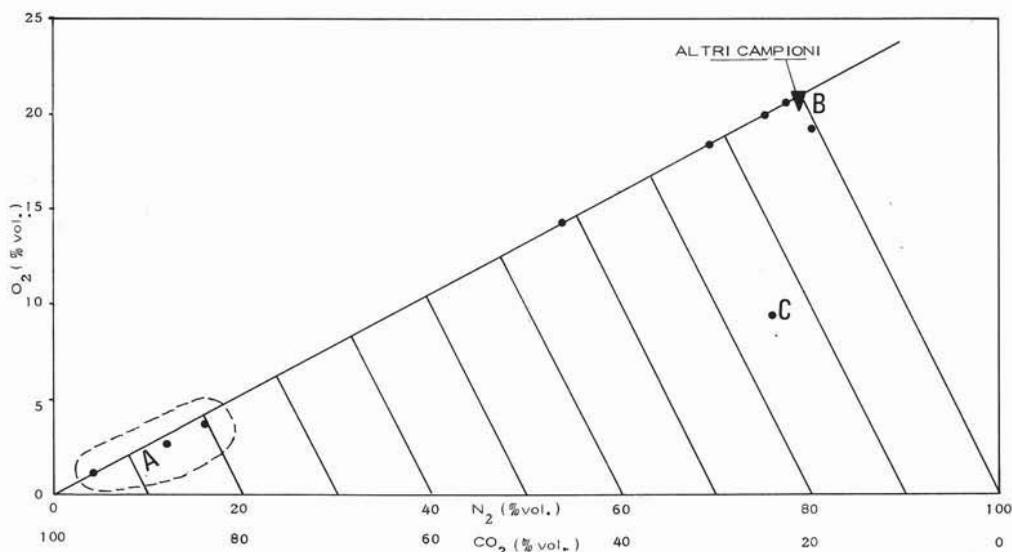


Fig. 4. — Classificazione dei campioni di gas del suolo raccolti per il rilievo di riconoscimento generale a seconda del contenuto in CO_2 , O_2 ed N_2 . È riportata la retta $\text{CO}_2 = \text{C}_{\text{N}_2}/3,76$ che individua campioni con rapporto $\text{CO}_2/\text{C}_{\text{N}_2}$ uguale a quello dell'atmosfera. A: gruppo di campioni, comprendente le manifestazioni naturali, con contenuto in CO_2 superiore ad 80 % in vol.; B: gruppo di campioni costituiti essenzialmente da aria e con contenuto in CO_2 inferiore ad 1 % in vol.; C: campione del Porto in cui è presente N_2 in eccesso rispetto al rapporto stechiometrico con O_2 nell'aria. Il per cento di CO_2 nel gas si ottiene leggendo la proiezione dei punti sull'asse delle ascisse secondo le linee oblique.

5. Distribuzione areale dei costituenti dei gas del suolo

5.1. Elio

In base alla classificazione del paragrafo precedente è stata tracciata la carta delle isoconcentrazioni di fig. 6 a relativa al rilievo di ricognizione generale.

I valori negativi e quelli positivi che si distinguono dal « fondo » si trovano raggruppati lungo allineamenti definiti oppure in aree piuttosto circoscritte.

Per quanto riguarda il gruppo dei valori positivi, si può considerare che il « fondo » sia compreso tra 100 e 400 ppb. Simili concentrazioni sono più elevate non solo rispetto al riferimento di base costituito dall'aria, ma anche rispetto ai valori di « fondo » di altre zone geotermiche italiane (BALDI P. et al., 1984).

Sulla distribuzione di fondo « regionale » si innestano diverse anomalie locali più accentuate, con valori superiori ai 400 ppb e fino a qualche ppm.

Le fasce di maggior spicco si trovano allungate secondo le seguenti tre direzioni:

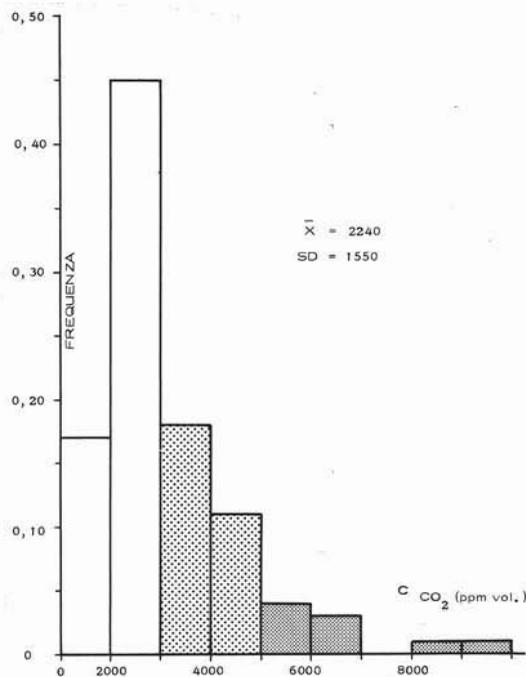


Fig. 5. — Istogramma della distribuzione delle concentrazioni di CO_2 nei gas del suolo per i campioni del gruppo B (vedi fig. 4). Sono indicati il valor medio e la deviazione standard dei 72 valori utilizzati per l'istogramma.

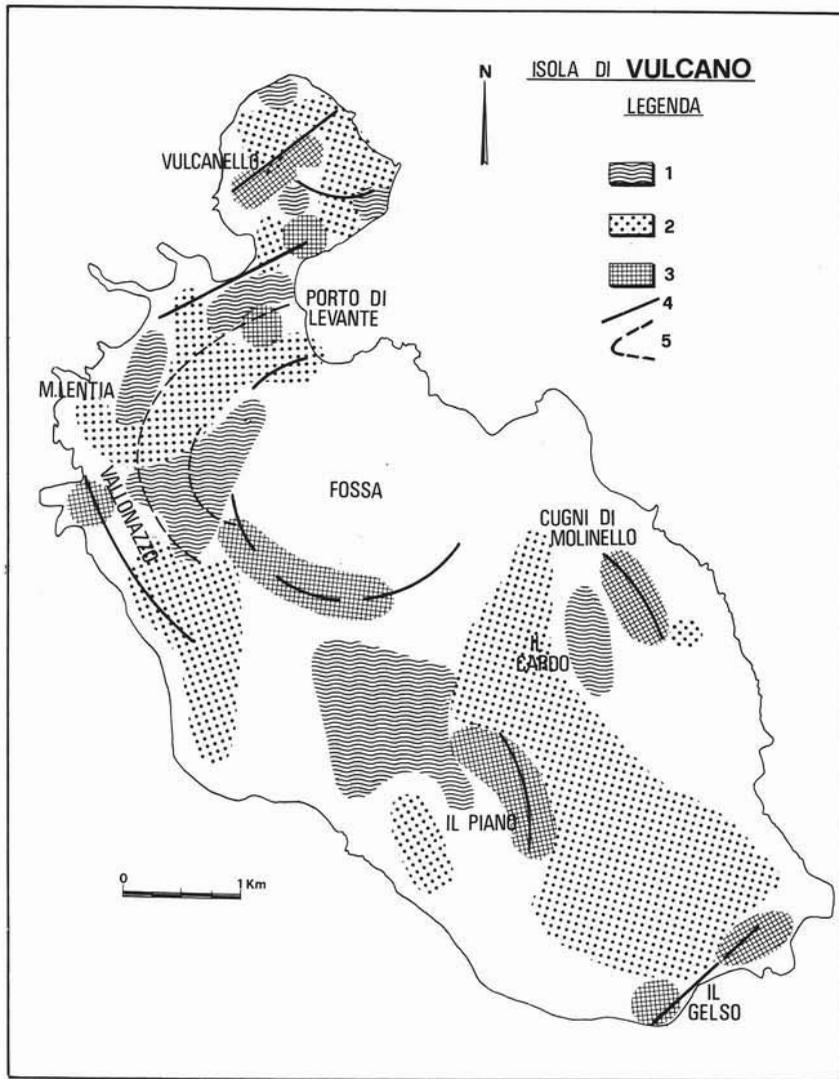


Fig. 6. — a) Distribuzione geografica delle concentrazioni dell'elio nei gas del suolo per il rilievo di riconoscimento generale. - 1: aree con valori negativi, zero incluso; 2: aree con valori tra +100 e +400 ppb; 3: aree con valori superiori a +400 ppb; 4: allineamenti caratteristici di valori positivi; 5: allineamenti caratteristici di valori negativi. Le concentrazioni sono riferite all'atmosfera presa come zero. I campioni provengono dalle postazioni indicate dai simboli 1 e 3 in fig. 1.

NE-SW, a Vulcanello nella parte settentrionale ed al Gelso in quella sud-orientale dell'isola;

NW-SE, a Grotta dei Palizzi ed a Vallonazzo;

NS, ai Cugni di Molinello, in prossimità del bordo orientale dell'isola.

Il motivo degli allineamenti N-S compare anche per fasce a valori positivi con concentrazioni dell'ordine delle 200 ppb, come ad esempio quella del Piano.

Un'altra anomalia positiva degna di menzione, con concentrazioni anche superiori alle 400 ppb, è quella che si estende tra Il Piano ed Il Cardo in forma arealmente diffusa.

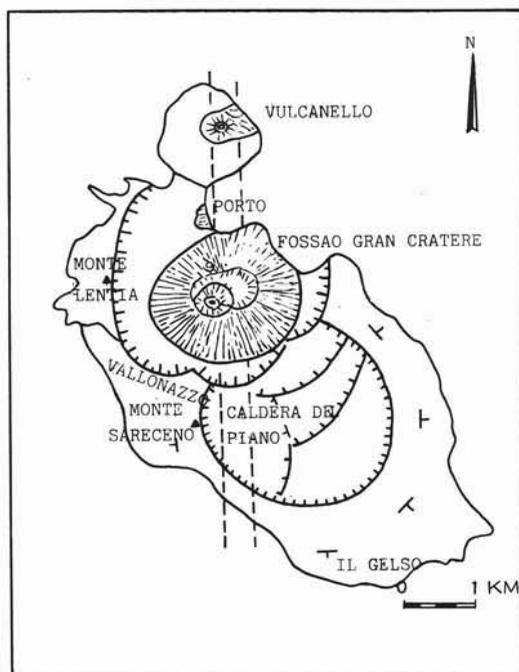


Fig. 6. — b) Mappa vulcano-tettonica schematica dell'Isola di Vulcano. Sono indicati i bordi delle principali strutture vulcaniche di collasso (KELLER J., 1980).

Gli allineamenti suddetti corrispondono alle principali direttrici tettoniche dell'isola (fig. 6 b).

L'anomalia de Il Piano - Il Cardo, per analogia con la spiegazione data in situazioni simili di altre aree geotermiche italiane, potrebbe essere attribuita anche ad una riduzione di spessore di coltri impervie ai gas, in corrispondenza di una struttura profonda di accumulo.

Nell'ambito dei valori positivi si distinguono i gas probabilmente di origine profonda della manifestazione Fossa, o fumarole del Gran Cratere, che hanno un contenuto in elio di circa 5500 ppb.

Per quanto riguarda i valori negativi si deve osservare innanzitutto che anche essi si dispongono lungo fasce secondo le seguenti direzioni:

NW-SE, da M. Sarceno al Piano ed in prossimità dei Cugni di Molinello;

EW, a Vulcanello;

a profilo arcuato, tra il cono del Gran Cratere ad Est ed il Monte Lentia e Vallonazzo ad Ovest.

L'interpretazione genetica dei gas con valori negativi di elio non è semplice. In numerose altre zone geotermiche italiane la presenza di valori negativi si osserva in corrispondenza di zone strutturalmente ribassate in presenza di sedimenti scarsamente permeabili (BALDI P. et al., 1984).

In questi casi i bassi tenori in elio sono forse attribuibili a diluizioni ad opera di gas poveri in questa specie (BERTRAMI R. et al.).

Il gas diluente può essere costituito dal prodotto del degasamento di falde per effetto di anomalie termiche, da gas di origine organogenica od anche, in particolari condizioni, da gas più profondi.

Val la pena di ricordare che i gas delle manifestazioni lungo la spiaggia di Porto risultano impoveriti in elio rispetto all'atmosfera.

Il rilievo di raffittimento conferma l'esistenza di forti anomalie positive in prossimità di Grotta dei Palizzi (fig. 7).

Fra il Gran Cratere ed il Monte Lentia è presente in questo caso una fascia di valori positivi superiori alla media che si prolunga attorno al cono vulcanico fino al Porto, e che viene quindi a cancellare i valori negativi osservati nel rilievo di riconoscimento generale.

Altri allineamenti con valori superiori alla media si riscontrano tra il Gran Cratere e Vulcanello, sia lungo la costa meridionale di quest'ultima località che lungo l'istmo.

Al Piano il panorama è piuttosto uniforme con solo valori sporadici superiori alla media ed anche in questo caso non compaiono più i valori negativi osservati precedentemente.

5.2. Altri componenti

In fig. 8 sono indicati i punti in cui si ha presenza di H_2 e quelli che risultano anomali per il contenuto in CO_2 .

L'idrogeno è presente in prevalenza nei campioni localizzati attorno al cono del Gran Cratere ed al Porto. Esso si riscontra con minor frequenza nei campioni del Piano.

La CO_2 nel suolo, è distribuita un po' ovunque; in genere è assente nelle aree a valori negativi per l'elio.

È da sottolineare l'esistenza di una fascia con valori di CO_2 superiori ad 1% tra il Gran Cratere e Grotta dei Palizzi, dove si

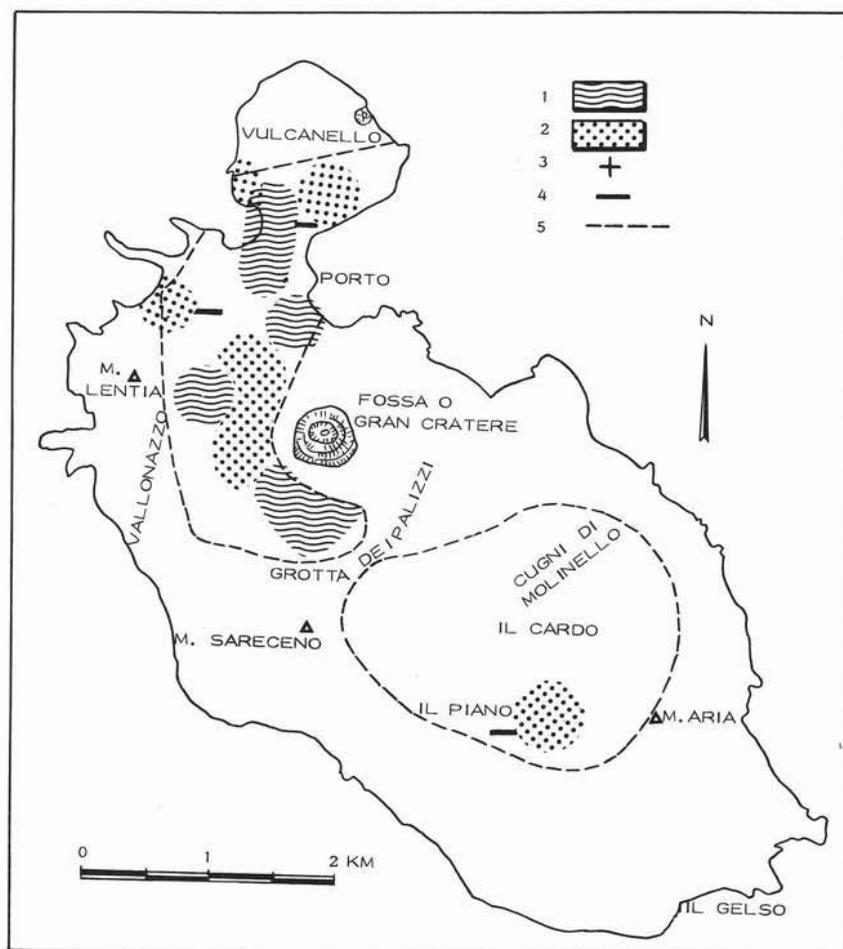


Fig. 7. — Distribuzione geografica delle concentrazioni dell'elio nei gas del suolo per il rilievo di raffinitamento. - 1: aree con valori compresi tra +100 e +200 ppb; 2: aree con valori superiori a +200 ppb; 3: valori positivi superiori a 500 ppb; 4: valori negativi; 5: perimetro delle aree studiate. Le concentrazioni sono riferite all'atmosfera presa come zero. I campioni provengono dalle postazioni indicate dai simboli 2 e 3 in fig. 1.

riscontra anche la persistenza nel tempo di anomalie molto accentuate per l'elio. Uno di questi campioni ha addirittura un contenuto di 80 % di CO_2 (fig. 4), simile a quello delle manifestazioni naturali del Gran Cratere e del Porto.

È interessante constatare come i gas del suolo risultino ricchi in componenti relativamente meno mobili dell'elio e senz'altro più reattivi in aree in cui non si hanno segnalazioni di manifestazioni naturali attive o fossili.

6. Osservazioni interpretative

I fatti salienti rilevati con la prospezione descritta sono essenzialmente due.

Il primo è costituito dalla associazione che si osserva tra tenori anomali di CO_2 , abbondanza di elio e presenza di idrogeno nei campioni di gas del suolo. In qualche caso ciò si verifica con valori di concentrazione particolarmente elevati per queste tre specie rispetto al valore di fondo di ciascuna.

L'interpretazione di questo fenomeno è

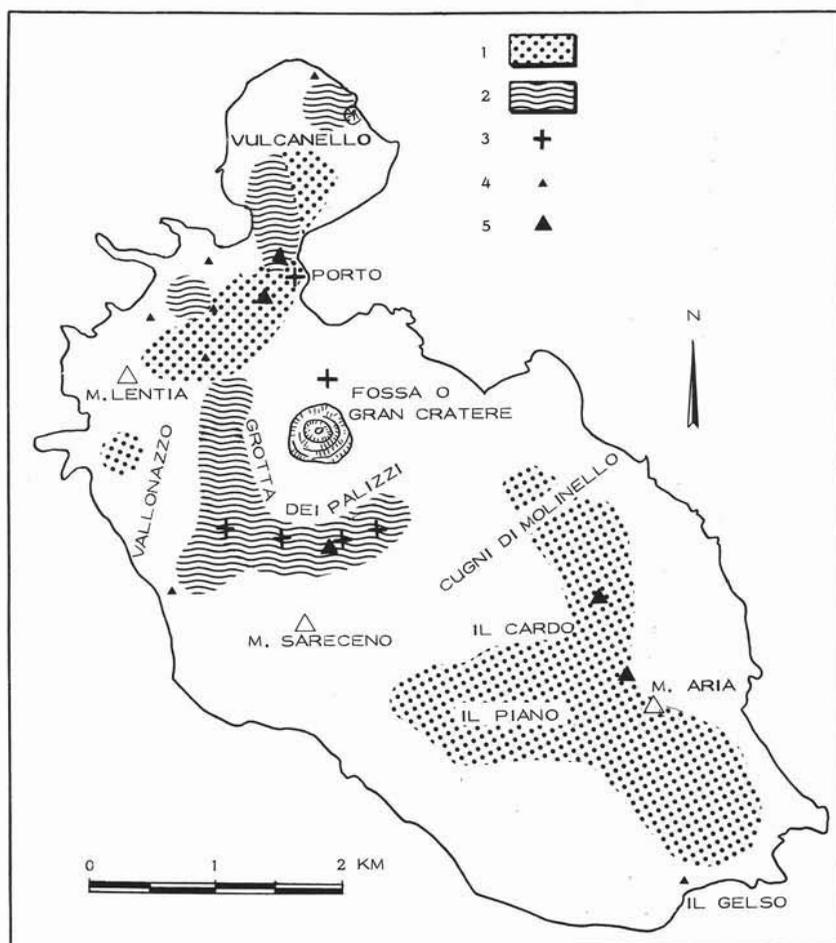


Fig. 8. — Distribuzioni geografiche delle concentrazioni di CO_2 ed H_2 nei gas del suolo per il rilievo di riconoscimento generale. - 1: aree con contenuti di CO_2 compresi tra 2000 e 4000 ppm; 2: aree con contenuti di CO_2 superiori alle 4000 ppm; 3: punti di campionamento, incluse le manifestazioni naturali, in cui si registrano contenuti di CO_2 superiori ad 1% in vol.; 4: punti di campionamento in cui si hanno contenuti in H_2 fino a 10 ppm in vol.; 5: punti di campionamento in cui si hanno contenuti in H_2 compresi tra 10 e 40 ppm in vol. I campioni provengono dalle postazioni indicate dai simboli 1 e 3 in fig. 1.

legata alla possibile genesi di questi gas. Per essi, ed in particolare per idrogeno ed elio, l'origine profonda è senz'altro la più probabile, anche se legata a meccanismi di produzione diversi per i vari gas.

Esiste la possibilità che la CO_2 sia di origine superficiale (ROSE A.W. et al., 1979), ma l'associazione sopra descritta e la natura dell'isola rendono ciò poco verosimile in questo caso.

Le aree anomale sono quelle in cui quindi

più intense sarebbero le fughe di vari gas da una zona di accumulo sottostante, probabilmente grazie alla presenza di vie di sfuggita particolarmente permeabili o numerose.

A questo riguardo va anzi detto che sia la presenza di numerose zone anomale sia l'entità del « fondo », soprattutto per i valori di elio, sottolineano la particolarità dell'isola da questo punto di vista rispetto ad altre aree geotermiche italiane. Ciò sembra ragionevolmente da riconnettere con la pre-

presenza di numerosi elementi tettonici, alcuni dei quali sicuramente ancora attivi.

L'altro aspetto interessante emerso con il rilievo condotto è la presenza di aree in cui si riscontrano deficienze di elio; l'estensione di queste e l'entità dei valori negativi misurati variano nel tempo (figg. 6 a e 7).

Aree con deficienze per l'elio si riscontrano anche in altre zone geotermiche italiane; a Vulcano si registra tuttavia una particolarità in quanto queste aree non sono chiaramente ed univocamente associate con strutture ribassate in presenza di coltri impermeabili di una certa potenza, come invece accade altrove.

Concentrazioni in elio inferiori a quella dell'aria possono essere spiegate solo con la presenza di gas poveri in questa specie (BERTRAMI R. et al.), la cui azione diluente può localmente essere favorita dall'esistenza di setti impervi ai gas profondi.

Il problema che si pone è quindi essenzialmente quello di individuare il possibile gas diluente per l'elio e ciò può essere fatto sulla base delle seguenti evidenze sperimentali.

I campioni in cui si ha deficienza di elio risultano contenere CO_2 a livelli pari od inferiori al « fondo » della distribuzione nel suolo di quest'ultimo gas. Quindi il fluido diluente non è da ricercare tra quelli particolarmente ricchi in questo componente.

Nelle manifestazioni naturali sulla spiaggia di Porto si osservano contenuti in ossigeno ed azoto fino al 56 %, a differenza di quanto avviene per le esalazioni a mare della stessa località e per le fumarole del Gran Cratere (CARAPEZZA M. et al., 1981), le quali ultime sembrano risentire di apporti molto profondi (OXBURGH E. R. et al.). Il rapporto tra le concentrazioni di ossigeno ed azoto è pari a 0,42, contro un valore di circa 0,5 calcolato per questi stessi gas disciolti in acqua alla temperatura delle manifestazioni (BERTRAMI R. et al.).

Un campione di gas del suolo povero in elio raccolto sull'istmo che unisce Vulcanello al resto dell'isola è costituito da N_2 , O_2 e CO_2 come componenti principali con N_2 in eccesso rispetto al rapporto stechiometrico con O_2 nell'aria (punto C in fig. 4).

In base a ciò si può affermare che il gas diluente deve essere costituito da gas di

origine atmosferica, eventualmente impoveriti in ossigeno o per ossidazioni di materiale organico nel suolo o per ossidazione di composti solforati od ammoniaci per azione batterica, trasportati da acqua di mare o forse di falda fino in vicinanza di una zona di anomalia termica, dove si possono sviluppare dalla fase liquida e migrare nuovamente verso la superficie.

La variabilità stagionale dell'estensione delle aree a valori negativi e dell'entità di questi depongono a favore della interpretazione proposta. Queste aree sarebbero quindi quelle in cui ci si possono aspettare disturbi legati ad infiltrazioni di acqua di mare o ad influenze superficiali in genere.

Resta comunque da spiegare perchè le manifestazioni a mare di Porto non risentano di queste perturbazioni, almeno in base ai dati finora noti, pur essendo molto vicine a quelle campionate per il presente rilievo.

7. Note conclusive

Le numerose anomalie positive di elio e CO_2 che si riscontrano in tutta l'Isola e la presenza di H_2 nei gas del suolo sono da ricondurre alla presenza di vie preferenziali di sfuggita dei gas profondi.

L'entità delle anomalie sottolinea, in funzione della particolare situazione vulcano-tettonica dell'isola, la presenza, in strutture favorevoli all'accumulo, di una cospicua fonte di gas che sfuggono verso la superficie attraverso vie preferenziali.

Tra le altre, si segnala per la sua entità e per la persistenza nel tempo la fascia anomala di Grotte dei Palizzi.

Le aree di anomalia negativa per l'elio con il tempo cambiano di estensione e l'entità della stessa varia. La causa di ciò è probabilmente da ricercare in fenomeni che avvengono in orizzonti prossimi alla superficie e che risentono di fattori stagionali, quali il degasamento di acque marine di ingressione o forse di acquiferi freatici.

Al momento non è possibile scendere in maggior dettaglio nella formulazione di modelli interpretativi. Ulteriori indagini geochimiche sono necessarie per confermare e precisare le interrelazioni che si intravedono per i costituenti dei gas del suolo nell'isola di Vulcano.

Il confronto tra la distribuzione dei vari componenti dei gas del suolo può fornire comunque il mezzo per discriminare tra i possibili contributi delle diverse fonti da cui essi si originano e ciò può essere importante per la ricostruzione del modello geochimico di una zona.

Le prospezioni condotte sull'isola di Vulcano pongono infine l'accento sul fatto che una buona comprensione delle distribuzioni

dei gas del suolo può aversi solo eseguendo più campagne, in modo da verificare le eventuali variazioni stagionali.

Ringraziamenti. — Si ringraziano il Prof. S. LOMBARDI (Univ. di Roma) e il Dr. A. CECCARELLI (ENEL-UNG) per i suggerimenti e la fattiva discussione dei risultati.

Il lavoro è stato effettuato nell'ambito della J.V. AGIP - ENEL - ENTE MINERARIO SICILIANO.

BIBLIOGRAFIA

- BALDI P., CECCARELLI A., BERTRAMI R., FRIEDMAN I., LOMBARDI S. (1984) - *Helium in soil gases in geothermal areas*. U.N. Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Firenze, 14-17 maggio.
- BERTRAMI R., CECCARELLI A., FRIEDMAN I., DOERING W., LOMBARDI S. (1980) - *Helium prospecting in geothermal areas. Preliminary data on Larderello-Travale and Cesano geothermal fields*. Proc. of Second DOE-ENEL, Workshop for Cooperative Research in Geothermal Energy, 20-22 October, Berkeley, California, pp. 483-500 d.
- BERTRAMI R., CECCARELLI A., LOMBARDI S. - *L'elio dei gas del suolo nella prospezione geotermica*. In questo volume.
- CARAPEZZA M., NUCCIO P. M., VALENZA M. (1981) - *Genesis and evolution of the fumaroles of Vulcano (Aeolian Islands, Italy): a geochemical model*. Bulletin Volcanologique, vol. 44, p. 3.
- GLUECKAUF E. (1946) - *A microanalysis of helium and neon contents of air*. Proc. Royal Society, London, ser. A, vol. 185, p. 98.
- KELLER J. (1980) - *The Island of Vulcano*. Rendiconti della Soc. Ital. di Min. e Petr., vol. 36, p. 369.
- OSBURN E.R. et al. - Comunicazione personale su lavori in corso.
- REIMER G. M., BOWLES C. G. (1979) - *Soil-gas helium concentrations in the vicinity of a uranium deposit, Red Desert, Wyoming*. U.S. Dept. of the Interior, Geological Survey, Open File Report, 79-975.
- REIMER G. M., DENTON E. H., FRIEDMAN I., OTTON J.K. (1979 b) - *Recent development in uranium exploration using the U.S. Geological Survey's mobile helium detector*. Journal of Geochemical Exploration, v. 17, pp. 1-12.
- ROBERTS A. A., FRIEDMAN I., DONOVAN T. J., DENTON E.H. (1975) - *Helium survey, a possible technique for locating geothermal reservoirs*. Geophysical Research Letters, June, v. 2, n. 6, pp. 209-210.
- ROSE A. W., HAWKES H. E., WEBB J. S. (1979) - *Geochemical behaviour of selected gases*. In «Geochemistry in mineral exploration», Academic Press, 2^a Ed., p. 506.