



A P A T

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO

Servizio Geologico d'Italia

Organo Cartografico dello Stato (Legge N°. 68 del 2-2-1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME LXVIII

**Cartografia geochemica ambientale
dei suoli del complesso vulcanico del Somma – Vesuvio**

*Environmental geochemical mapping of soils of Somma-
Vesuvius volcanic complex*

di

COSTABILE S., DE VIVO B., ROLANDI G.

SYSTEMCART

Roma - 2004

Direttore responsabile : Leonello SERVA

REDAZIONE a cura del Servizio Cartografico, Relazioni e Documentazione di Base
Dirigente : Normanno ACCARDI

Coordinamento editoriale : Marina COSCI
Allestimento testi: Alessia MARINELLI

ROMA-2004

PREMESSA

Cartografia geochimica ambientale dei suoli del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio

La struttura morfologica dell'Italia, che ne determina la sua bellezza e varietà degli ambienti naturali è frutto di condizioni litologiche, morfologiche e climatiche molto articolate e ricche di particolari peculiarità che rendono tali ambienti unici al mondo. I suoli non potevano non ereditare tali peculiarità, rendendo la nostra penisola uno splendido esempio di articolata e variegata diffusione della tipica vegetazione mediterranea.

Purtroppo, oggi sull'evoluzione dei suoli non influiscono solo gli agenti naturali, come il clima e la morfologia, ma anche l'attività, talora nefasta, dell'uomo sia in relazione alle tecniche di produzione delle colture che delle attività extra-agricole.

Il suolo oggi viene raramente considerato come una risorsa territoriale da conservare con la massima cura. Esso costituisce, come è noto, il corpo naturale che mantella la superficie terrestre; si tratta pertanto di un sottile, ma essenziale, comparto ambientale, in cui si svolge il contatto tra l'interno e l'esterno del globo terrestre, cioè il contatto tra le rocce, i sedimenti e le acque sotterranee da un lato e la vegetazione, l'aria, le acque piovane, la fauna e l'essere umano, dall'altro. Il suolo ha perciò caratteristiche, da un lato simili agli strati geologici sottostanti (es. calcari, lave, argille), dall'altro diverse, proprio a causa della lunga ed intensa influenza del mondo biologico e atmosferico cui è sottoposto periodicamente.

A differenza degli strati geologici, il suolo ospita la parte ipogea della vegetazione, la fauna ed i microrganismi, ed in esso si svolgono i cicli della materia e dell'energia connessi con tali presenze. Per questi motivi il suolo si può definire giustamente "la pelle viva" della terra.

Il suolo è un fattore essenziale per il mantenimento dell'equilibrio globale della biosfera, attraverso le sue funzioni di produttore agricolo, di regolatore di altre componenti ambientali come le acque sotterranee, di substrato della maggior parte delle attività biologiche e sociali e di contenitore di informazioni.

La prima funzione del suolo, quella di produttore agricolo e forestale, è la più evidente ed è predominante: è ben noto come il suolo sia il substrato per la coltivazione dei prodotti agricoli, per la produzione legnosa e per il pascolo del bestiame. La funzione di regolatore delle altre componenti ambientali è meno nota, ma altrettanto importante: il suolo costituisce infatti un filtro biologico per le sostanze chimiche più o meno tossiche, trasformandole in sostanze innocue; esso rappresenta insieme alle acque superficiali, la sede ove si sviluppa la capacità di biodegradazione. Se non ci fosse, o se venisse distrutta, questa sua capacità, una quantità molto maggiore di sostanze chimiche non desiderate raggiungerebbe le falde acquifere e quindi le sorgenti e la catena alimentare.

Inoltre, il suolo costituisce la superficie su cui viviamo ed in questa veste esso, oltre all'espansione urbana, sopporta tutta una serie di pesi della società, compresa la produzione degli inquinanti e dei rifiuti.

Il suolo è un comparto ambientale che, una volta degradato, non raggiunge facilmente un nuovo equilibrio. Sotto questo aspetto esso è simile ad un corpo vivente; ha la capacità di resistere ed adattarsi al cambiamento delle condizioni ambientali; come nel mondo biologico, tali capacità sono funzionali finché non si supera una certa soglia, dopo di che, il suolo perde molte delle sue funzioni, rischiando di diventare la pelle morta della terra.

Un problema fondamentale da tenere ben presente è quello dell'incompatibilità tra le sue funzioni: una superficie pedologica non può essere usata contemporaneamente o successivamente come luogo per lo scarico dei rifiuti e come terreno per la produzione agricola o come aree adibite a verde pubblico. Nella pianificazione territoriale, la conoscenza del grado di compatibilità tra le varie funzioni è infatti di primaria importanza, e richiede quindi la conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo. È perciò necessario conoscere e prevedere, di volta in volta, sia il comportamento di ciascuna specifica funzione, come ad esempio la capacità produttiva, che la vulnerabilità nei confronti dei vari agenti degradanti.

Solo disponendo di strumenti quali le carte tematiche, possono essere operate scelte corrette nella pianificazione del territorio, come nel caso della destinazione dei terreni di minor "valore", dal punto di vista della funzione produttiva agricola, ad altre funzioni, ugualmente essenziali, quali lo smaltimento dei rifiuti o l'espansione urbana.

Le scienze ambientali sono attualmente protese al raggiungimento di un compromesso tra lo sviluppo economico e sociale del territorio e la salvaguardia dell'ambiente. Nelle numerose aree dove l'equilibrio degli ecosistemi è stato già ampiamente compromesso, esse si impegnano nella riabilitazione del territorio, proponendo criteri di intervento e di risanamento, cercando in qualche modo di minimizzare i danni provocati da uno degli esseri più pericolosi che vivono sulla terra: l'uomo.

Secondo un principio fondamentale del pensiero deterministico "lo stato attuale dell'universo si può considerare come l'effetto del suo passato e la causa del suo futuro, in una catena ininterrotta di cause". Il determinismo è la dottrina secondo la quale i comportamenti umani sarebbero rigidamente determinati dalle condizioni dell'ambiente; tale teoria rappresenta il tentativo di spiegare la molteplicità dei fenomeni e la direzione complessiva dello sviluppo storico a partire da un insieme di fattori considerati decisivi (DESSERT, 1983).

In conclusione, per poter gestire e conservare la risorsa suolo è indispensabile conoscere la distribuzione spaziale delle sue caratteristiche, onde poter evitare la diminuzione del valore economico, sociale ed ecologico a breve e lungo termine.

PREFACE

Environmental geochemical mapping of soils of Somma-Vesuvius volcanic complex

The morphological structure of Italy, which determines the beauty and variety of its natural environments, is caused by the particular lithologic and climatic conditions of the Country. These particular characteristics are reflected naturally in the soils, on which flourish the articulated and variegated Mediterranean vegetation. However, not only natural agents, such as morphology and climate influence soil evolution, but also, unfortunately, anthropic activities related to both industry and agriculture.

Rarely is soil considered a land resource to be preserved. The soil represents the superficial cover of the Earth; it is a thin layer occurring at the contacts between the internal and external portions of the Earth Globe, i.e., at the interface between rocks, sediments and underground waters, on one side, and vegetation, air, rain waters, fauna and human beings, on the other side.

Soil hosts the deep portions (roots) of vegetation, fauna and micro-organisms and in it occurs the matter and energy cycles related. For this reason the soil can be defined as the “live skin” of the Earth.

Soil is an essential factor for biosphere global equilibrium preservation, by means of its function as agriculture producer, as regulator of other environment components such as underground waters, as host of most of the biological and social activities and as an information container.

The first function of soil, i.e. agriculture and forestry producer, is the most evident and it is predominant. The function as regulator of other environment components is less evident, but nevertheless it is important: soils represent in fact a biological filter for harmful chemical elements, transforming them in harmless substances; they, together with surface waters, represent the site where bio-remediation activities develop. If this did not happen, or if this function were destroyed, a much larger amount of harmful chemical elements would reach underground waters, springs and hence the food chain. In addition, the soils represent the surface where people live, and as a consequence, are subject to the effects of pollutants and waste production.

Once soil is degraded, it does not easily reach a new equilibrium. From this point of view it behaves as a living body, which has the capability of resistance and adaptability to the environment change conditions; but as happens in the biological world, these capabilities function only until a certain threshold is reached, and when it is, the soil loses most of its functions, becoming the dead skin of the Earth.

A fundamental problem to keep in mind is the fact that soil cannot be at the same time the site where waste is disposed and where agriculture activities are carried out. In the land planning discipline the knowledge of the compatibility levels of the various functions is of primary importance. Therefore chemical-physical characteristics of the soils must be known and it is necessary to know and forecast, both the behavior of each specific function, such as the productive capacity, and the vulnerability with respect to different polluting agents.

Only with the availability of thematic maps, will it be possible to make the correct choices in land planning, such as, for example, to individuate areas for waste disposal or areas of urban expansion.

Environmental sciences are presently at a stage of trying to find a compromise between the economic and social development of the territory and the safeguard of the environment. In the areas where the ecosystems equilibrium has already been destroyed, they are involved in the remediation process of the territory, trying to minimize, as much as possible, the damage created by the most dangerous animal living on the Earth: man.

Following a fundamental determinism principle “*the present state of the Universe can be considered as the result of the past and the cause of the future, in a uninterrupted chain of causes*”. Determinism is the doctrine according to which the human behaviour is rigidly determined by the environment conditions; this theory represents the attempt to explain the variety of phenomena and the trend of historical development starting from a multiplicity of factors considered as decisive ones (DESSERT, 1983).

In conclusion, for the management and the preservation of soil resource, it is fundamental to know the spatial distribution of its characteristics, in order to prevent the loss of its economic, social and ecological value, both in the short and long term.

Cartografia geochemica ambientale dei suoli del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio

Environmental geochemical mapping of soils of Somma-Vesuvius volcanic complex

COSTABILE S., DE VIVO B., ROLANDI G. (*)

RIASSUNTO - È stata realizzata una cartografia geochemico-ambientale multielementale del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio, utilizzando una campionatura di 376 suoli, di cui 188 prelevati ad una profondità di 10 – 15 cm e 188 ad una profondità di 50 – 60 cm, con una densità di 1 campione/km². È stata inoltre effettuata una campionatura di 10 paleosuoli, prelevati alla base dell'eruzione del 79 d.C. (Pompei), per avere informazioni sulle concentrazioni *background* di elementi metallici nei suoli vulcanici dell'area vesuviana.

I campioni, dopo essere stati setacciati fino ad ottenere una frazione passante 150 µm, sono stati analizzati, previo attacco con Acqua Regia, per 31 elementi con ICP-AES.

Sono state compilate, attraverso metodologie statistiche e l'uso del GIS Arc/View, relativamente agli orizzonti 10 – 15 cm e 50 – 60 cm, carte per singolo elemento (62) e per associazioni di elementi (12) (distribuzione di *factor scores* risultanti dall'analisi fattoriale). Relativamente ad 11 elementi metallici (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, V e Zn), sono state compilate le carte di intervento per l'uso del suolo, in ottemperanza al D.M. 471/1999, che fissa per i suddetti elementi le soglie limite per l'uso residenziale e industriale del suolo.

PAROLE CHIAVE: Somma-Vesuvio; Suoli; Cartografia geochemica; Elementi metallici; Geochemica ambientale.

ABSTRACT - Multielement geochemical environmental maps of the Somma-Vesuvius volcanic complex have been compiled, using 376 soil samples, collected at 10 – 15 cm (50%) and 50 – 60 cm (50%) depths, with a density of 1 sample/km². 10 paleosoils, at the base of 79 A.D. (Pompei) eruption, have been collected in order to obtain informations on background values for volcanic soils of the vesuvian area.

The samples, after being sieved for the fraction <150 µm and Aqua Regia attack, have been analysed for 31 elements by ICP-AES.

Geochemical maps, for each of the sampled horizons (10 – 15 and 50 – 60 cm), for single elements (62) and for elements association (factor scores from R-mode factor analysis) have been produced by means of statistics methods and of a GIS (Arc/View). For 11 metallic elements (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, V e Zn) have been also produced geochemical intervention maps using as intervention criteria for residential and industrial land use the thresholds fixed by the Law D. M. 471/1999.

KEY WORDS: Somma-Vesuvius; Soils; Geochemical maps; Metallic elements; Environmental geochemistry

(*) Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia, Università di Napoli Federico II, Via Mezzocannone, 8 - 80134 Napoli

1. - INTRODUZIONE

L'area oggetto del presente studio è situata nella porzione di S-SE della Regione Campania, presso il margine della fascia costiera tirrenica.

L'area vesuviana va considerata, come un sistema ambientale complesso, e pertanto deve essere valutata con un approccio che evidenzi il suo costituirsi attraverso il rapporto tra la struttura geomorfologica ordinatrice (massiccio Monte Somma-Vesuvio) e le strutture dei suoi versanti esterni che degradano nell'adiacente piana (piana dell'agro napoletano, pomiglianese, nolano, dell'agro stabiese e sarnese) ivi compresa la fascia costiera del versante marino da S-SW a S-SE.

Il presente lavoro rappresenta una ricerca tesa a produrre una cartografia geochemica (DE VIVO *et alii*, 1997, 1998 a,b,c; 2001a, 2003) attraverso la caratterizzazione chimica dei suoli e dei paleosuoli dell'area vesuviana, avvalendosi di informazioni vulcanologiche, geochemiche, ambientali, unitamente a quelle relative ai processi di pedogenizzazione dei prodotti piroclastici eruttati, dai più recenti ai più antichi, del Somma-Vesuvio. Questo approccio rappresenta una estensione, a scala locale, di progetti più ampi (progetti MURST-PRIN & ANPA) tesi alla compilazione di una cartografia geochemica dell'intero territorio nazionale in scala 1:250.000. In questo contesto il gruppo di ricerca del Prof. DE VIVO ha prodotto una cartografia geochemica della Regione Campania (DE VIVO *et alii*, 2003). Queste iniziative si inquadrano nel contesto europeo e mondiale che vede la partecipazione di ricercatori italiani ai progetti internazionali IGCP/IUGS 360 e FOREGS, che si propongono la compilazione di una cartografia geochemica ambientale del globo terrestre (DARNLEY *et alii*, 1995) e dell'Europa (PLANT *et alii*, 1997).

La cartografia a differente tematismo-derivato, presenta una notevole importanza perché contribuisce ad incentivare la produttività del territorio mediante una più corretta gestione dei suoli o dell'ambiente, laddove questi risultano depauperati dei nutrienti chimici essenziali al ciclo biochimico oppure sono stravolti dai molteplici processi antropici (DE VIVO, 1995; DE VIVO *et alii*, 2004).

L'individuazione di aree interessate da concentrazioni anomale di elementi tossici per la vita delle piante e degli animali, permette inoltre di salvaguardare l'uomo da inevitabili ripercussioni legate agli equilibri della catena alimentare (HOWART & THORNTON, 1983; DE VIVO, 1995; DE VIVO *et alii*, 2004).

A tale riguardo non è superfluo evidenziare come le carte tematiche e in particolare modo la cartografia geochemica offrano un valido strumento di controllo del livello di inquinamento ambientale; potendo infatti disporre di una rappresentazione cartografica delle concentrazioni degli elementi chimici, è possibile

effettuare delle correlazioni a distanza di anni, con possibilità di confrontare i relativi dati.

Un chiaro esempio di tematismo, è la compilazione delle carte geochemiche di rischio (DE VIVO *et alii*, 1998a,b,c; 2001a), che costituiscono un valido strumento di prevenzione da forme di inquinamento naturale e non, in funzione dell'uso del territorio. I criteri di intervento da adottare per una corretta gestione dei suoli tengono conto della distribuzione delle concentrazioni limite, secondo quanto stabilito dal Decreto Ministeriale 471, 25 ottobre 1999 per i differenti usi del territorio, in particolare per quello industriale/commerciale e residenziale/ricreativo (MIN. AMBIENTE, 1999).

Lo studio si è sviluppato attraverso le seguenti fasi:

- ricerca bibliografica di materiale attinente la ricerca;
- informatizzazione dei dati cartografici sia in formato Raster che Vettoriale;
- rilevamento vulcanologico 1:10.000 e relativa cartografia;
- un modello digitale del terreno (DTM) completo di informazioni relativamente all'urbanizzazione;
- determinazione della maglia di prelievo dei campioni di suolo con una distribuzione regolare;
- prelievo di 344 campioni di suolo, di cui la metà in superficie (primi 10-15 cm) e i restanti ad una profondità di circa 50 cm, con una densità di circa 1 campione ogni Km²;
- prelievo di 10 campioni di paleosuoli situati alla base dei prodotti del 79 d.C.
- preparazione dei campioni per analisi chimiche con metodologia ICP-AES;
- progettazione ed implementazione di un database geochemico-vulcanologico;
- realizzazione di uno *script*, per la compilazione delle carte della distribuzione geochemica, che integra un metodo di interpolazione planare (*kriging*);
- realizzazione di un SITA. (Sistema Informativo Geografico Ambientale) con programmazione in linguaggio AVENUE;
- elaborazione statistica elementare e analisi fattoriale dei dati geochemici;
- stesura di 62 carte inerenti la distribuzione geochemica dei singoli elementi chimici analizzati per l'intero territorio del Somma-Vesuvio;
- stesura di 12 carte inerenti la distribuzione dei *factor scores* delle associazioni fattoriali;
- stesura di 11 carte del rischio secondo la normativa Italiana (DM 471/99);
- interpretazione delle carte tematiche mediante correlazioni con le caratteristiche geo-litologiche delle vulcaniti del Somma-Vesuvio e valutazioni di possibili fenomeni di contaminazione antropica.

La campionatura di due orizzonti dei suoli, superficiale (10 – 15 cm) e "profondo" (50 – 60 cm), è giustificata dal fatto che nell'orizzonte superficiale viene

riflesso l'eventuale contributo antropico, mentre il livello più profondo rappresenta un suolo relativamente incontaminato

2. - VULCANOLOGIA

Il Somma-Vesuvio si erge imponente presso il margine meridionale della Pianura Campana, la quale, come è noto, si caratterizza, sotto il profilo geologico, come una struttura ribassata tettonicamente rispetto alla porzione di Appennino che la circonda, dal monte Massico a nord, ai monti Tifata, di Avella e di Sarno ad est ed ai Lattari a sud, e che prende il nome di *Graben Campano*.

Lo sprofondamento, iniziato circa 2 milioni di anni fa, alla fine del Pliocene, e protrattosi per gran parte dell'Era Quaternaria, non è stato uniforme, come testimoniato dalla presenza, nell'ambito della zona ribassata, di blocchi calcarei che hanno subito un ribassamento di minore entità rispetto ad altri. Su uno di questi blocchi, marcato alle estremità da chiare evidenze di dislocazione per faglia, è ubicato, con la sua ampia base, il nostro vulcano.

La base, tuttavia, non poggia direttamente sul substrato calcareo, bensì su di un basamento vulcanico che si estende in profondità per almeno 1.800 m e che corrisponde, molto probabilmente, ad un edificio vulcanico più antico, la cui attività risale ad almeno 400.000 anni fa (BROCCHINI *et alii*, 2001) e del quale non si hanno evidenze dirette in superficie.

Questo antico vulcano, infatti, rimase probabilmente sepolto al di sotto di potenti coltri di prodotti derivanti da attività vulcanica, di enormi proporzioni, nota con il nome di *Attività Ignimbritica Campana*, che a partire da circa 205.000 anni fa (DE VIVO *et alii*, 2001b), inondò tutto il graben campano, colmandolo con una coltre tufacea di rilevante spessore e facendo assumere all'intera area l'attuale forma pianeggiante.

La storia eruttiva più recente del nostro vulcano inizia, quindi, dopo queste immani eruzioni ed è a partire da questo momento che possiamo seguire le varie tappe della sua evoluzione, che lo porteranno ad assumere, via via nel tempo, quella caratteristica forma bicuspidata, famosa in tutto il mondo e tanto cara ai napoletani (tav. 1).

2.1. - LE ERUZIONI PLINIANE ANTICHE DEL SOMMA E LA FORMAZIONE DELLA CALDERA

Dopo le grandi eruzioni ignimbritiche, riprese, nella stessa area, l'antica attività vulcanica, a carattere prevalentemente effusivo, che, in poco più di 10.000 anni, portò alla formazione di un nuovo vulcano, alto più di 2.000 m, a forma conica con un'ampia base dal

diametro di circa 16 km.

All'attività dal cratere centrale si associarono anche una *attività eccentrica*, dai fianchi del vulcano, ed un'*attività subterminale*, nelle zone basali dello stesso vulcano.

Circa 25.000 anni fa si ebbe una prima consistente eruzione esplosiva, i cui prodotti si deposero verso sud-est, in direzione di Salerno (*eruzione di Codola*), sovrapponendosi a quelli delle Ignimbriti Campane.

Per un certo periodo di tempo, probabilmente, il vulcano ritornò al suo vecchio tipo di attività effusiva ma, circa 17.000 anni fa, prese l'avvio una nuova fase a carattere fortemente esplosivo, che produsse almeno tre eruzioni *pliniane*. Eruzioni di *Sarno* (17.000 anni), *Novelle* (15.000 anni), *Ottaviano* (8.000 anni). Nei periodi che separano queste eruzioni non si ebbe un ritorno all'attività effusiva, vale a dire che, in circa 9.000 anni di attività, il vulcano diede solamente eruzioni esplosive di tipo pliniano, che fecero diminuire drasticamente la sua altezza, non potendosi ricostruire le parti dell'edificio smantellatesi durante le eruzioni esplosive.

Circa 3.550 anni fa si verificò una quinta eruzione pliniana, nota con il nome di *eruzione di Avellino* perché i suoi prodotti esplosivi sono giunti fino in questa località, ubicata a circa 40 km dal centro eruttivo (LIRER *et alii*, 1973; ROLANDI *et alii*, 1993). Questa eruzione si segnala per un fatto importante: è, infatti, la prima delle eruzioni pliniane del Somma a mostrare una notevole interazione *magma - acqua* verso la fase finale. Quando si verifica una tale fenomenologia fuoriescono dal cratere dei velocissimi flussi, essenzialmente costituiti da magma solidificato e frammentato e da vapore e gas (*base surge*), che discendono dal vulcano con la velocità di un uragano, espandendosi a grande distanza; nel caso della eruzione di Avellino i prodotti di questa fase si diressero verso nord, giungendo fin oltre Afragola, e verso sud, fino al mare. La enorme produzione di vapore originò, probabilmente, una sovrappressione tale da sventrare verso ovest il vulcano, già decapitato dalle precedenti eruzioni, facendogli assumere la forma di una caldera, in particolare di una *caldera avalanche*.

Il vulcano calderizzato continuò ancora la sua attività, in maniera non parossistica, debolmente esplosiva, per altri 800 anni, durante i quali si ebbero tre fasi eruttive; l'ultima terminò 2.700 anni fa circa. Seguì, poi, un periodo di riposo che ebbe termine, dopo circa 700 anni, con la famosa eruzione del 79 d.C. Questo tipo di eruzioni meno energetiche, che si concludono con un periodo di riposo e che si collocano tra due eruzioni pliniane, vengono chiamate di tipo *interpliniano*; nella fattispecie, l'attività successiva all'eruzione pliniana di Avellino viene indicata come *attività interpliniana protostorica* (ROLANDI *et alii*, 1998).

A quest'ultima è da ascrivere, molto probabilmente, anche la formazione del cono subterminale dei Camaldoli della Torre.

2.2. - L'ATTIVITÀ DEL SOMMA NELL'EPOCA STORICA ANTICA E LA NASCITA DEL VESUVIO

Fino a qualche tempo fa era opinione diffusa che un nuovo cono vulcanico si fosse formato all'interno della caldera in concomitanza dell'eruzione del 79 d.C. Questa ipotesi è priva di fondamento dal momento che un'eruzione pliniana di siffatta violenza non poteva costruire ma solo distruggere ed, infatti, in conseguenza di essa, la caldera si allargò verso est.

Tra il 79 ed il 472 d.C., epoca, quest'ultima, in cui si verificò un nuovo parossismo pliniano, si ebbero delle deboli eruzioni esplosive che costituiscono l'*attività interpliniana storica antica*.

Dopo circa 200 anni di riposo, ebbe luogo l'eruzione pliniana del 472 d.C., anch'essa portatrice di enormi distruzioni e devastazioni nella regione del vulcano (ROLANDI *et alii*, 2004), ed, ancora una volta, è difficile far coincidere la nascita di un vulcano all'interno della caldera con questa violenta eruzione.

Dopo l'eruzione del 472 d.C., iniziò, nel 512 d.C., una lunga fase eruttiva di tipo interpliniano, nota come *attività interpliniana medioevale*, che terminò nel 1139. Durante questi 700 anni, l'attività effusiva ebbe un carattere predominante, come testimoniato da numerose cronache.

Solo attraverso questo tipo di attività prolungata nel tempo si poteva costruire un edificio vulcanico all'interno della caldera (ROLANDI *et alii*, 1998) ed originare, in tal modo, una morfologia bicuspidata come quella attuale.

Vale la pena segnalare che durante il periodo eruttivo interpliniano medioevale, che alternava fasi moderatamente esplosive ad altre effusive dal cratere centrale, si verificò anche una *attività subterminale*, che portò alla nascita dei conetti del Viulo e del Fossamonaca.

2.3. - L'ATTIVITÀ DEL VESUVIO NELL'EPOCA STORICA MODERNA

Dopo il 1139 si ebbero circa 500 anni di inattività, fino a quando, nel 1631, si verificò, questa volta dal Cono Vesuviano, l'ultima delle eruzioni a carattere pliniano, che fece più di 6.000 vittime tra una popolazione che non fu in grado di cogliere i segnali precursori dell'eruzione, avendo ormai perso la memoria storica del vulcano durante i 500 anni di inattività (ROLANDI *et alii*, 1993).

Nel 1649 iniziò un lungo periodo di attività effusiva, debolmente esplosiva, che va sotto il nome di *attività interpliniana storica recente*. Di essa si hanno numerosissime cronache che hanno permesso di definire dettagliatamente la sua particolare ciclicità eruttiva, nota come *ciclicità vesuviana*.

In circa 300 anni si sono verificati 17 *cicli vesuviani* intervallati da un periodo di riposo che oscilla dai 7 ai 30 anni. Ciascun ciclo è chiuso da una *fase parossistica* a

carattere effusivo subterminale (1760) o misto, effusivo-esplosivo (1872 - 1906, 1944).

L'ultimo ciclo vesuviano iniziò 7 anni dopo l'eruzione del 1906 e si concluse con la fase parossistica del 1944, che concluse anche quest'ultima attività interpliniana.

2.4. - ESEGESI DEI NOMI SOMMA E VESUVIO

È interessante, a questo punto, dare qualche cenno sull'origine dei nomi Somma e Vesuvio e, nel contempo, analizzare le vicende (*l'excursus*) che hanno portato, nel tempo, ad indicare il vulcano come Somma-Vesuvio.

L'analisi delle origini del nome *Vesuvio* viene effettuata dal Parascandola in un brano, che è contenuto in un suo bellissimo lavoro

Il nome *Somma* non presenta una derivazione dal significato univoco, al punto che ancora oggi la sua origine è oggetto di approfondite discussioni che si articolano, sostanzialmente, intorno a diverse ipotesi.

Nel 313 a.C. Quinto Fabio Labeone assalì e devastò la città di Nola. A proposito del suo arbitrato, che assegnò l'agro nolano a Roma, annullando in tal modo il contenzioso sorto tra Napoli e Nola, Marco Tullio Cicerone parla di *Summus jus*, *Summa iniuria*; il nome *Somma* sarebbe in relazione alla *somma abbondanza* di vino e di frutta che, fin dall'antichità, ha caratterizzato il versante settentrionale del vulcano; *Somma* potrebbe anche derivare da *Sommano Plutone*, dio degli inferi, o da *Giove Sommano* (Jupiter Summanus).

Secondo il Della Corte, il nome *Somma* sarebbe in relazione con un fenomeno linguistico in virtù del quale, dalla contemporanea presenza, nel termine latino, di un aggettivo ed un nome, ci ritroviamo in italiano il solo aggettivo dissociato dal nome. Nella fattispecie, l'aggettivo *Summa* sarebbe stato seguito, in origine, dal sostantivo *Villa*, soppresso successivamente. La *Summa Villa* è quella della *Gens Octavia*, nella quale sarebbe morto *Cesare Ottaviano Augusto* nel 14 d.C. e i cui ruderi sono stati identificati a circa 9 m di profondità, nei pressi del convento di S. Maria del Pozzo a Somma Vesuviana, ubicata, quindi, come scrive Tacito, "*ad Nolam*", cioè nelle adiacenze della città più importante dell'intera area.

L'ipotesi avanzata dal Della Corte non è però condivisa da tutti; per il Cantone, ad esempio, *Somma* non sarebbe l'aggettivo, bensì il sostantivo che assume il significato di "*ultima parte di una zona*" (*Summa* sinonimo di *plaga*, da cui in seguito il *territorio plagiense* della *tabula chorografica del Papasso*), intesa come estremo lembo o confine nei rapporti con il capoluogo.

Più recentemente, D'Avino, riprendendo il ragionamento di Della Corte, ritiene che il sostantivo scomparso debba identificarsi con *pars del predium della Gens Octavia*.

Non si può escludere, infine, che la *Summa pars* sia riferita proprio alla porzione più alta dell'edificio vul-

canico calderizzato, rappresentata, già a quell'epoca, dal versante settentrionale.

Prescindendo da quella che possa essere l'esatta derivazione del nome *Somma*, osserviamo che le ipotesi più significative in tal senso sono, in ogni caso, legate a vicende storiche riconducibili alla seconda metà dell'ultimo secolo prima della nascita di Cristo, epoca in cui il vulcano, come si è osservato, veniva identificato con il nome *Vesuvius*. Osserviamo, inoltre, che la sua prima citazione letteraria apparve (è citato per la prima volta in letteratura) soltanto verso la fine del 1° millennio e, precisamente nel 937, nei documenti del ducato napoletano. Si ha poi traccia di una seconda citazione, nel 1123, ad opera di Landolfo Sagace nell'*Historia romana*, citata nel testo di Giovanni Villano.

3. - CARATTERI MORFOLOGICI

L'analisi dell'evoluzione vulcanologica e vulcano-tettonica del Somma-Vesuvio ci consente di avere una più approfondita conoscenza delle sue attuali caratteristiche morfologiche, che sono riconducibili a quelle di un *vulcano a recinto* dalle fattezze inconfondibili, che ne fanno uno splendido esempio nell'ambito di questo genere di apparati vulcanici.

Il vulcano più antico, il *Somma*, mostra, nel settore settentrionale, la parete calderica (tav. 2), nella quale sono visibili le alternanze laviche e piroclastiche tipiche di un *vulcano-strato*, attraversate, con inclinazione variabile, da un bellissimo sistema di *dicchi*, costituenti parte dell'originario sistema di alimentazione delle attività laterali del Somma. Tale parete ha nella *Punta Nasone* il punto più alto, che raggiunge i 1.132 m s.l.m..

Il coronamento della parete calderica appare, inoltre, alquanto articolato ed irregolare; ciò è da porre in relazione con l'azione di decapitazione che subì il Somma in seguito alle eruzioni pliniane del periodo 17.000 - 8.000 anni dal presente. Tali articolazioni, in particolare, rimarcate viepiù dall'erosione meteorica, si evidenziano in una serie di dossi, noti con il nome di *cognoli*, che, da oriente ad occidente, prendono i seguenti nomi: *Cognoli di Ottaviano* (1.112 m), *Cognoli di S. Anastasia* (1.038 m), *Cognoli di Trocchia* (1.028 m), *Cognoli di Giacca* (961 m). Con la nascita del Vesuvio in epoca medioevale, ha preso via via corpo la tipica morfologia bicuspidata, nella quale il Vesuvio stesso si è mostrato, nel tempo, altimetricamente più elevato della cerchia del Somma, prima dell'eruzione del 1631, ovvero meno elevato rispetto alla medesima, in occasione delle violente fasi esplosive che lo hanno decapitato (1631, 1906); attualmente raggiunge una quota di 1.282 m s.l.m.

Si è formata, inoltre, un'ampia valle di separazione tra la parete calderica del Somma ed il versante settentrionale del cono vesuviano, che prende il nome di *Valle*

del Gigante, lunga circa 5 km, la quale si suddivide nell'*Atrio del Cavallo*, ad ovest, e nella *Valle dell'Inferno*, ad est; tale suddivisione rimarca anche il drenaggio antitetico che si osserva nell'ambito della intera valle attraverso il convogliamento dei deflussi, rispettivamente, verso ovest e verso est.

Dopo la formazione del cono vesuviano e prima dell'eruzione del 1631, la valle di separazione tra i due edifici era molto profonda; essa si è riempita man mano durante la successiva fase interpliniana, essendo stata invasa sistematicamente dalle lave emesse durante le fasi effusive dei vari cicli vesuviani. Tuttavia, poiché la maggior parte di queste lave si impaludavano regolarmente, gli originari alti morfologici, in entrambe le estremità della valle, si sono andati via via accentuando, prendendo, rispettivamente, i nomi di *Fosso della Vetrana*, ad ovest, e *Burrone della Cupaccia*, ad est.

Il *Vesuvio* non è concentrico con il *Somma*, essendo spostato di 250 m, verso sud, rispetto all'antico centro eruttivo; ciò è dovuto, probabilmente, alla migrazione dello stesso asse eruttivo avvenuta già a partire dall'eruzione del 79 d.C., che, come detto, sventrò ulteriormente l'edificio del Somma verso sud-sud-est. La situazione si è mantenuta tale anche in seguito, fino alla fase interpliniana medioevale che porterà alla nascita dello stesso Vesuvio.

L'antico piano calderico del Somma, che funse da platea per il cono vesuviano, doveva certamente essere inclinato di circa 6° verso sud, inclinazione che si rileva ancora attualmente.

La base del cono vesuviano non ha occupato, in realtà, tutto il piano craterico formatosi definitivamente con l'eruzione del 79 d.C., ma ha lasciato, a sud, lungo una quota di circa 500 m s.l.m., una ristretta zona marginale subpianeggiante che, estendendosi da ovest verso est, prende i nomi di: *Piano delle Ginestre*, nella porzione di arco che sottende Ercolano, *Pedemontina* e *le Piane*, a monte di Torre del Greco, *Piano del Demonio*, all'altezza di Trecase e Boscoreale. Questa piana costituisce, in pratica, una sorta di gigantesca *berma di pendio* naturale, sulla quale si sono sistematicamente riversate le colate laviche dirette nel settore meridionale durante l'attività interpliniana di epoca storica; si ricordano quelle del 1764, 1794, 1822, 1860 e 1906.

Verso ovest, il Piano delle Ginestre è separato dal Fosso della Vetrana dalla *Collina del Salvatore*, detta anche *Colle Canteroni*, sulla quale fu costruito, nel 1841, l'Osservatorio Vesuviano. La Collina del Salvatore, formata, come sappiamo, dai prodotti delle eruzioni di Avellino e del 79 d.C., costituisce, in realtà, un'altura che si protende verso l'interno della zona calderizzata, risultando troncata, ad un certo punto, da due cupole laviche formatesi durante l'attività interpliniana recente, precisamente ascrivibili al ciclo vesuviano 1874 - 1906, e che prendono, rispettivamente, il nome di Colle Umberto (1891 - 1893) e Colle Margherita (1895 - 1898).

3.1. - L'URBANIZZAZIONE NELLA PROVINCIA DI NAPOLI

Nell'ambito della provincia di Napoli la perdita di suoli fertili causata dall'espansione urbanistica incontrollata è valutabile, nel periodo 1981-1990, in circa 10.000 ettari, pari al 14 % della superficie agricola totale. La tendenza sembra essere inarrestabile. Nell'ultimo trentennio il settore agricolo ha perso circa 36.500 ettari, pari al 40 % della superficie agricola totale.

Le cause dell'urbanizzazione incontrollata del territorio della provincia di Napoli sono riconducibili in primo luogo ad una concentrazione demografica che non trova riscontro in Italia ed in Europa. Circa il 55 % della popolazione della regione Campania risiede infatti nella provincia partenopea che, con un'estensione di 117.000 ha, rappresenta appena l'8 % del territorio regionale.

L'esercizio carente, da parte degli enti competenti, delle funzioni istituzionali di pianificazione e di controllo dell'uso del territorio, ha contribuito senza dubbio ad amplificare gli effetti negativi di tale squilibrio (ULISSE, 1989)

3.2. - I SUOLI NELL'AREA VESUVIANA

Il suolo è una risorsa del territorio disponibile in quantità limitata, che può essere considerata, in molti casi, non rinnovabile nell'orizzonte temporale umano.

I rapporti che legano la natura dei suoli con le attività e le condizioni di vita degli uomini sono molteplici.

In ambito agro-forestale le caratteristiche e le qualità dei suoli influenzano la gamma delle scelte colturali praticabili, le tecniche agronomiche ed i livelli produttivi conseguibili, connotando in maniera specifica i diversi paesaggi agrari.

Anche le attività extra-agricole devono sovente fare i conti con la qualità delle terre.

Così, una conoscenza adeguata delle caratteristiche dei suoli si rende necessaria, ad esempio, per la progettazione di un parco pubblico, di una villetta monofamiliare, di una azienda agricola.

In ultimo, gli equilibri ambientali sono grandemente influenzati dalle proprietà chimico-fisiche dei suoli. Il sistema suolo-piante, infatti, esplica una fondamentale azione protettiva nei confronti delle acque superficiali e profonde, funzionando come un filtro chimico-biologico, in grado di trattenere e degradare molti composti a potenziale azione inquinante ad esso somministrati.

3.3. - I SUOLI DEL COMPLESSO VULCANICO DEL SOMMA-VESUVIO

Il Somma-Vesuvio costituisce un sistema di eccezionale valenza ambientale, paesaggistica, storico-culturale, naturale ed agricola, sottoposto in questi ultimi decenni

ad una elevata pressione, causata in primo luogo dall'espansione incontrollata ed inarrestabile della cinta dei popolosi comuni vesuviani.

Esso comprende suoli con grado di differenziazione iniziale, laddove il processo pedogenetico più evidente è rappresentato dalla formazione di orizzonti di superficie più o meno sottili, ricchi in sostanza organica umidificata, che sovrastano direttamente il substrato pedogenetico, oppure un orizzonte di alterazione debolmente differenziato. I suoli mostrano, negli strati superficiali, una debole alterazione del vetro primario. Si sono formati a partire da depositi piroclastici da caduta o da flusso, oppure da depositi vulcanoclastici risedimentati localmente ad opera di acque di scorrimento superficiale non organizzate e dal deflusso incanalato. La porzione meridionale del complesso comprende essenzialmente il cono vesuviano e rappresenta l'area di più recente formazione e morfogenesi. Le frequenti eruzioni di epoca medievale e storica recente hanno operato un continuo rinnovamento della superficie topografica non permettendo, tra l'altro, lo sviluppo di un suolo completo (tav. 3) (DI GENNARO *et alii*, 1995).

Questi suoli presentano un profilo poco differenziato, con proprietà andiche moderatamente o debolmente espresse, legate all'attività dei materiali vetrosi vulcanici primari; suoli calcarei, su depositi piroclastici contenenti carbonato di calcio; suoli minerali grezzi su depositi di lapilli e ceneri dell'eruzione del 1944.

3.3.1. - I suoli del cono attuale del Vesuvio (sottogruppo F11)

L'area in esame è collocata tra gli 800 e 1180 m.; il suo substrato è costituito da depositi piroclastici da caduta intercalati a depositi di colate laviche. La morfologia è caratterizzata da versanti a profilo rettilineo, più o meno ripidi, sui quali attecchisce una vegetazione spontanea, costituita da macchia di ginestra.

I suoli si manifestano nei primissimi stadi di formazione e si rinvengono nella parte bassa dei versanti, dove le pendenze meno accentuate e la maggiore disponibilità idrica favoriscono la colonizzazione da parte della vegetazione pioniera.

Essi rientrano nei *Vitrandic Xerorthents scoriacei* secondo la Tassonomia del suolo; mentre secondo la Legenda FAO sono classificabili *Ando-Eutric Leptosols* (DI GENNARO *et alii*, 1995).

Uso attuale: area protetta con macchia, pinete antropiche, boschi di caducifoglie mesofile e leccio.

3.3.2. - I suoli dei versanti alti del Vesuvio (sottogruppo F12)

L'unità comprende i versanti alti del Vesuvio, a quote comprese tra 350 e 800 m.

Il substrato pedogenetico è costituito da depositi piro-

clastici da caduta. La morfologia è caratterizzata da versanti a profilo irregolare, da molto inclinati a ripidi.

La vegetazione naturale è costituita da macchia mediterranea (arbusteto a ginestra, macchia di leccio) con vaste aree occupate da rimboschimento a *Pinus pinea*.

I suoli dominanti all'interno dell'unità sono moderatamente profondi, su depositi piroclastici da caduta con una tessitura grossolana.

Questi suoli rientrano nei *Typic Vitrixerands* franco-scoriacei, secondo la Tassonomia del suolo; nei *Vitric Andosols* secondo la Legenda FAO.

A partire dai sottili depositi piroclastici da caduta ricoperti le colate laviche si sviluppano invece suoli superficiali, aventi una tessitura grossolana.

Questi rientrano nei *Lythic Vitrixerands* franco-scoriacei, secondo la Tassonomia del suolo; negli *Andi-Entric Leptosols* secondo la Legenda FAO (DI GENNARO *et alii*, 1995).

Uso attuale: orti arborati e vitati, arboreti da frutto, colture orto-floricole protette.

3.3.3. - I suoli dei versanti bassi del Vesuvio (sottogruppo F2)

L'unità è presente sulle aree di versante medio e basso del Vesuvio ad esposizione prevalentemente a Sud, a quote comprese tra i 10 e 350 m.

Il substrato pedogenetico è costituito da depositi piroclastici da caduta, di colata piroclastica e vulcanoclastici. La morfologia è caratterizzata da versanti a profilo concavo-rettilineo, da subpianeggianti a molto inclinati, con frequenti terrazzamenti e ciglionamenti antropici.

I suoli che si evolvono a partire da depositi piroclastici e vulcanoclastici recenti, privi di carbonati, sono da moderatamente a molto profondi e presentano una tessitura moderatamente grossolana.

Essi rientrano nei *Typic Ustivitrands franco sabbiosi* secondo la Tassonomia del suolo; nei *Vitri-Mollic Andosols*, secondo la Legenda FAO.

Sui sottili depositi piroclastici da caduta che ricoprono le colate laviche, sono stati rilevati suoli da subpianeggianti a fortemente acclivi, moderatamente profondi, con tessitura moderatamente grossolana, con assenza di carbonati.

Essi rientrano negli *Humic Vitrixerands franco sabbiosi scoriacei*, secondo la Tassonomia del suolo; nei *Vitri-Mollic Andosols* secondo la Legenda FAO.

In corrispondenza delle aree interessate da depositi piroclastici e vulcanoclastici contenenti inclusi carbonatici, i suoli maggiormente diffusi sono molto profondi con tessitura moderatamente grossolana. Sono da non calcarei a scarsamente calcarei in superficie, calcarei in profondità.

Questi suoli rientrano nei *Vitrandic Haplustolls franco sabbiosi*, secondo la Tassonomia del suolo; negli

Andi-Calcaric Phaeozem secondo la Legenda FAO (DI GENNARO *et alii*, 1995).

Uso attuale: boschi di castagno, pinete antropiche, orti arborati e vitati.

3.3.4. - I suoli dei versanti del Monte Somma (sottogruppo F3)

L'area comprende il versante dell'edificio del Monte Somma, a quote comprese tra 200 e 850 m, a esposizione prevalentemente Nord.

Il substrato pedogenetico è costituito nella parte alta dell'area da depositi piroclastici da caduta ricoperti i dicchi e le colate laviche; nella parte bassa da depositi vulcanoclastici.

La morfologia è caratterizzata da un sistema di vallette con displuvi e compluvi angolari, con versanti a pendenza molto ripida.

I suoli dominanti nella fascia altimetrica più elevata dell'unità, sono molto ripidi, da moderatamente a molto profondi su depositi piroclastici da caduta, presentando una tessitura moderatamente grossolana.

Questi suoli rientrano negli *Humic Udivitrands franco sabbiosi*, secondo la Tassonomia del suolo; nei *Vitric-Mollic Andosols*, secondo la legenda FAO.

I suoli dominanti nella fascia bassa, interessati da terrazzamenti antropici, sono da subpianeggianti a dolcemente inclinati, molto profondi su depositi piroclastici da caduta e vulcanoclastici; hanno tessitura moderatamente grossolana.

Questi suoli sono destinati tipicamente all'orto arborato ed al vigneto.

Essi rientrano nei *Vitrandic Ustocbepts franco sabbiosi*, secondo la Tassonomia del suolo; negli *Andi-Entric Cambisols*, secondo la Legenda FAO (DI GENNARO *et alii*, 1995).

Uso attuale: arboreti da frutto, nocciolati, colture ortive, pinete antropiche e lembi di bosco mesofilo e di castagno.

3.3.5. - I suoli dell'area pedemontana del Monte Somma (sottogruppo F4)

L'unità comprende l'area pedemontana che raccorda i versanti dell'edificio Somma-Vesuvio con le piane alluvionali dei Regi Lagni e del Sarno, a quote comprese tra 50 e 150 m.

I suoli della pianura pedemontana si sono formati su depositi di ceneri e pomice da caduta e da flusso piroclastico, localmente rielaborati e risedimentati dalle acque di ruscellamento superficiale.

Il substrato pedogenetico è costituito da depositi vulcanoclastici. La morfologia è caratterizzata da superfici da subpianeggianti a dolcemente inclinate.

I suoli dominanti all'interno dell'unità sono subpia-

neggianti a dolcemente inclinati, molto profondi su depositi vulcanoclastici e piroclastici da caduta, con una tessitura moderatamente grossolana.

Il gruppo comprende: suoli con proprietà andiche moderatamente o debolmente espresse, legate all'attività dei materiali vetrosi vulcanici primari, a profilo moderatamente o debolmente differenziato (settore centrale); suoli a profilo fortemente differenziato in corrispondenza delle superfici da più tempo stabili (settore occidentale ed orientale).

Essi rientrano nei *Vitrandid Ustochrepts franco sabbiosi*, secondo la Tassonomia del suolo; negli *Andi Eutric Cambisols*, secondo la Legenda FAO.

Nelle aree orientali dell'unità è presente una copertura di lapilli del 1944, avente spessore variabile da 20 a 50 cm.

Questi suoli rientrano nei *Vitrandid Ustochrepts franco sabbiosi, con copertura di ceneri e lapilli del 1944*, secondo la Tassonomia del suolo; nella *fase sepolta degli Ande Eutric Cambisols*, secondo la Legenda FAO (DI GENNARO *et alii*, 1995).

3.3.6. - I suoli delle porzioni distali dell'area pedemontana del Monte Somma (sottogruppo G7)

L'unità occupa le porzioni distali, nord orientali dell'area pedemontana del Monte Somma, a quote prossime ai 50 m.

Il substrato pedogenetico è rappresentato da depositi piroclastici da caduta e vulcanoclastici.

La morfologia è pianeggiante o subpianeggiante, la profondità utile alle radici può essere limitata da uno strato compatto di ceneri, avente spessore decimetrico, solitamente presente nel profilo entro la profondità di 100 cm.

Questi suoli rientrano nei *Typic Ustivitrands franco sabbiosi*, secondo la Tassonomia del suolo; nei *Vitric-Mollic Andosols*, secondo la Legenda FAO (DI GENNARO *et alii*, 1995).

L'uso agricolo prevalente è quello di colture arboree specializzate e del seminativo arborato.

4. - PROCESSI ANTROPICI DI ALTERAZIONE DEI SUOLI

Il suolo rappresenta la sorgente dei nutrienti chimici indispensabili per la vita delle piante e l'anello di congiunzione tra il mondo vegetale e quello animale e quindi tra questi e l'uomo.

L'introduzione indiscriminata e continua nell'ambiente di numerosi prodotti chimici ha finito per influenzare pesantemente la circolazione e la distribuzione degli elementi presenti naturalmente nel suolo. La conseguenza è stata quella di limitare o incrementare in modo eccessivo l'assimilazione di alcuni elementi da parte delle piante e di accelerarne il trasporto verso le falde e l'ambiente acquatico.

4.1. - LA DEGRADAZIONE CHIMICA DEI SUOLI

A differenza dell'aria e dell'acqua, i suoli contaminati non possono essere facilmente decontaminati e i processi di "auto purificazione", attraverso il naturale ciclo degli elementi della litosfera, è estremamente lento e richiede migliaia di anni.

I contaminanti che si depositano sul suolo possono essere bloccati negli strati più superficiali o trasportati in soluzione, soprattutto in presenza di fenomeni di acidificazione. In questo ultimo caso gli inquinanti possono essere trasferiti negli orizzonti più profondi ed entrare più facilmente nel ciclo biologico.

I suoli degradati per cause chimiche mostrano variazioni nell'attività biologica; a queste si possono aggiungere variazioni nelle proprietà fisiche, con conseguente aumento nella vulnerabilità ai fenomeni erosivi.

La degradazione chimica del suolo legata a fattori antropici è dovuta principalmente a due cause:

- fenomeni che conducono ad una variazione di pH;
- fenomeni che conducono ad un accumulo di elementi in traccia, in particolar modo metalli pesanti.

Elementi come nichel, cromo, vanadio, bario e arsenico possono a loro volta essere presenti come inquinanti, ma la loro potenziale tossicità è di solito limitata a situazioni locali.

Inoltre, mentre per alcuni metalli è noto il ciclo biogeochimico, così come si conoscono gli effetti sugli organismi viventi, per altri queste conoscenze sono più lacunose e la loro partecipazione ai processi pedologici non è stata ancora completamente compresa.

Conseguenze gravissime nell'ecosistema vengono apportate dall'uso indiscriminato di pesticidi; tali sostanze tossiche si trovano concentrate negli organismi di vertebrati e invertebrati dopo aver percorso tutte le tappe della catena alimentare, dai vegetali ai consumatori.

Ne costituisce un esempio la crescente rarefazione di uccelli predatori; la causa è da ricercare nell'altissima concentrazione di pesticidi, assunti con l'alimentazione; i pesticidi vengono rilevati nell'organismo degli uccelli e sono responsabili della completa sterilità di questi animali.

Il fattore principale che regola il contenuto dei metalli nei suoli è la composizione della roccia madre. Molteplici studi indicano i rapporti che esistono tra contenuto dei metalli nelle rocce madre e nei suoli che si sviluppano in situ durante il processo di pedogenesi. L'arricchimento o l'impoverimento degli elementi metallici nei suoli è condizionato dalla mobilità relativa dei metalli nelle condizioni che regolano l'ambiente di alterazione superficiale (DE VIVO, 1995; DE VIVO *et alii*, 2004).

Il comportamento degli elementi chimici nei suoli è estremamente variabile, ad esempio l'alluminio, ferro e titanio sono immobili rispetto al luogo di alterazione e quindi vengono arricchiti nei suoli, mentre lo stron-

zio risulta impoverito. Il cobalto e il nichel sono leggermente arricchiti nei suoli che si formano a spese dei basalti (HOWART & THORNTON, 1983).

La distribuzione dei metalli nei profili dei suoli è controllata dai processi pedogenetici congiuntamente ai processi che regolano la distribuzione degli elementi nella vegetazione. Questi processi determinano differenti concentrazioni di elementi nei diversi orizzonti dei suoli.

Concentrazioni elevate di molti metalli nei suoli possono verificarsi sia naturalmente che non e produrre inquinamento nei suoli stessi. Le elevate concentrazioni naturali sono la conseguenza di processi naturali in presenza di corpi mineralizzati nelle rocce madri oppure possono essere causati da processi di dispersione secondaria. Le elevate concentrazioni "non naturali" sono il risultato di attività antropiche sia volontarie che accidentali. Queste possono essere schematizzate come sorgenti puntiformi e non; le sorgenti puntiformi sono quelle ubicate in prossimità dei suoli inquinati e che possono quindi essere individuate facilmente, al contrario di quanto si verifica per le sorgenti non puntiformi. L'inquinamento prodotto da quest'ultima è prodotto deliberatamente dall'uomo attraverso la fertilizzazione, l'irrigazione etc.,

Le sorgenti puntiformi possono essere: il traffico, salamoie geotermiche, attività minerarie estrattive e di raffinazione, attività industriali, radionuclidi. (DE VIVO, 1995; DE VIVO *et alii*, 2004).

Le sorgenti non puntiformi possono essere: fango da acque luride, ceneri di combustione, fertilizzanti, pesticidi, irrigazione.

Il suolo costituisce la risorsa fondamentale dell'agricoltura; esso costituisce il substrato essenziale per le radici delle piante e nello stesso tempo la sorgente dei nutrienti chimici.

4.2. - L'USO DEI FITOFARMACI NEI SUOLI

L'utilizzo di sostanze di sintesi chimica per la lotta contro gli agenti nocivi alle colture agricole ha rappresentato uno dei più potenti mezzi di affermazione dell'agricoltura moderna, praticata soprattutto nella seconda metà del 900, e che ha permesso il raggiungimento di ingenti rese produttive, tali da sostenere il *trend* progressivamente crescente della popolazione mondiale, soprattutto nei paesi industrializzati che ne sono stati, ovviamente, i maggiori beneficiari.

È innegabile che ciò rappresenti un merito di tale tipo di energia ausiliaria, ma come tutte le altre, essa è stata introdotta nelle aziende agricole semplicemente come strumento di massimizzazione delle produzioni agricole e quindi dei profitti economici, senza tenere conto della necessaria visione ecosistemica in cui inquadrare l'introduzione di una svariata gamma di

sostanze "xenobiotiche" (estrane ai processi biologici) nei comparti ambientali, avvenuta in modo sistematico e massivo, sovente ignorando gli effetti a carico di organismi non ritenuti potenziali bersaglio dei fitofarmaci, come pure la loro diffusione in aree estremamente distanti dai siti di immissione.

L'utilizzo di una molecola di sintesi chimica, ovvero che non è il risultato dell'evoluzione biogeochimica e quindi come tale del tutto incompatibile con gli equilibri biosferici, andrebbe seriamente verificato sia dal punto della tossicità che da quello della capacità di migrazione da un comparto ambientale all'altro e dei potenziali siti di concentrazione nei comparti stessi, che possono costituire delle aree a rischio proprio per un elevato accumulo dello xenobiotico.

I fitofarmaci sono stati sviluppati per abbattere drasticamente le densità popolazionali di tutti i competitori (erbe infestanti) delle colture agricole e degli organismi fitofagi e possono essere classificati o sulla base della loro composizione chimica o su quella del rispettivo organismo bersaglio.

La prima accorpa insieme composti caratterizzati dalla comunanza di gruppi chimici specifici e può dare indicazioni, oltre che sui possibili meccanismi di tossicità, sul grado di affinità verso i vari comparti ambientali (idromiscibilità, idrofobicità, interazione con matrici cariche, alifatiche od aromatiche, fotossidabilità, tasso di volatilizzazione ecc.), la seconda, di tipo funzionale, accorpa molecole anche molto eterogenee sulla base della tipologia di organismo, animale o vegetale, che risulta interessato dall'azione del fitofarmaco.

I prodotti che vengono commercializzati di solito sono caratterizzati dalla presenza non solo del principio attivo, ovvero la sostanza che esplica l'azione biocida, ma anche di coformulanti e sostanze inerti; i primi sono agenti chimici che migliorano l'azione ed aumentano la persistenza del principio attivo, mentre i secondi hanno la sola funzione di diluire il principio.

La somministrazione del fitofarmaco dovrebbe avvenire esclusivamente in presenza dell'agente nocivo, sia esso un fitofago, fitoparassita od un'erba infestante e comunque quando la densità popolativa ed il grado di attività dell'agente sia tale da giustificare l'intervento fitoterapico, ovvero quando il danno alle colture rischi di essere considerevole e quindi antieconomico. Spesso ci si limita ad effettuare trattamenti a scadenze predeterminate durante l'anno senza tenere in alcun conto degli aspetti ecologici e fenologici delle specie nocive; in alcuni casi, tuttavia, vengono imposte delle limitazioni ai trattamenti che vengono realizzati solo quando l'entità del danno arrecato alle colture diventa elevato e sviluppa una perdita economica superiore alla spesa necessaria a mettere in atto il trattamento (lotta chimica guidata).

Un'altra caratteristica importante del fitofarmaco deve essere un idoneo bilanciamento tra la persistenza

ed il decadimento delle molecole di pesticida. Infatti è indispensabile che dopo la somministrazione il fitofarmaco rimanga sui tessuti vegetali per un tempo sufficientemente lungo ad esercitare l'azione biocida sull'agente nocivo, ma, d'altro canto, è parimenti necessario che entro un determinato lasso di tempo dall'irrorazione le concentrazioni del fitofarmaco vadano riducendosi (per liscivazione od asportazione da parte della pioggia, fotoinattivazione ecc.) a livelli tali da risultare del tutto innocue alla salute umana.

L'immissione di una sostanza di sintesi chimica nell'ambiente dovrebbe prevedere un'analisi previsionale della distribuzione nei differenti comparti ambientali e sebbene ciò in alcuni casi venga fatto tuttavia non dà una visione ragionevole delle possibili conseguenze a livello ecosistemico in quanto gli attuali programmi utilizzati per lo più si basano sui coefficienti di ripartizione della molecola tra i vari stati di aggregazione della materia senza tenere conto dei processi di bioconcentrazione che si verificano nei vari anelli delle catene alimentari come pure della tossicità che può verificarsi a danno di organismi che non siano quelli bersaglio.

L'assunzione per via alimentare è invece un rischio al quale tutti i consumatori possono essere esposti nei seguenti casi:

- a) laddove il tempo di carenza non venga rispettato;
- b) quando si verificano processi più o meno estesi di contaminazione ambientale che portino, come detto, all'accumulo del pesticida nei tessuti di organismi animali che sono successivamente utilizzati dall'uomo quali componenti della dieta;
- c) a seguito di inquinamento della falda idrica destinata ad uso potabile.

È importante sottolineare che i volumi di pesticida che raggiungono la superficie del suolo o durante la fase di aspersione o per dilavamento pluviale, sulla base delle loro caratteristiche chimico fisiche possono:

- 1) essere più o meno rapidamente asportati dalla superficie del terreno, prima di penetrare in profondità, per azione eolica o dell'acqua di ruscellamento superficiale (pioggia o attività di irrigazione);
- 2) attraversare più o meno rapidamente gli orizzonti del suolo sulla base della permeabilità di quest'ultimo;
- 3) interagire con le frazioni minerale ed organica alle quali restano adese risultando così inertizzati e sequestrati dal contatto con gli organismi bersaglio.

La possibilità di interagire con le micelle organo minerali dipende soprattutto dalla quantità di carica che reca la molecola di pesticida e dal suo carattere idrofobico

Quelle aliquote di pesticida che non raggiungono gli organismi bersaglio e si depositano all'interno del suolo possono essere utilizzate quali substrati alimentari da svariate popolazioni di microrganismi; se non completamente metabolizzate possono convertirsi in interme-

di eventualmente a più bassa o più alta tossicità rispetto alla molecola originaria; la completa biodegradazione fa sì che esse contribuiscano ai processi di umificazione della sostanza organica. Qualora le molecole di pesticida, interagendo con i componenti minerali ed organici degli aggregati risultino completamente schermate dall'azione degli enzimi degradativi microbici, possono persistere per molto tempo inalterate nel suolo. La successiva decomposizione dell'aggregato, a seguito di processi meteorici e biologici può liberare il pesticida che, passando in soluzione, viene eventualmente assorbito dagli apparati radicali della copertura vegetale in quel momento in fase di crescita.

Lo studio dei meccanismi della tossicità dei fitofarmaci a danno delle popolazioni umane ha messo in evidenza che questi possono interessare vari aspetti strutturali e funzionali dei tessuti; tra i vari vale la pena di sottolineare i meccanismi di inibizione reversibile od irreversibile di enzimi che svolgono importanti funzioni metaboliche; va ricordato, in particolare, l'importante funzione di detossificazione.

Tra i biocidi che sono coinvolti in meccanismi di tossicità di questo tipo vanno ricordati gli azoto - organici eterociclici quali il paraquat ed il diquat.

I dinitrofenoli possono causare fenomeni di disaccoppiamento della fosforilazione ossidativa mentre i carbammati e gli organofosforici inibiscono la colinesterasi producendo fenomeni di rigidità muscolare. Uno dei casi di contaminazione ambientale più noti nella storia dell'uso dei pesticidi è quello dei clororganici, in particolare del DDT e dei suoi derivati. L'uso massivo a livello planetario e soprattutto nei paesi industrializzati negli anni 50 e 60 aveva portato quasi all'estinzione di alcune specie di rapaci in quanto tali pesticidi introdotti per via alimentare inibiscono l'enzima anidrasi carbonica che controlla l'assunzione del calcio da parte delle uova, con conseguente sviluppo di un guscio molto fragile, tendente a rompersi prima del completamento dell'ontogenesi.

Meno univoche sono le indicazioni sui possibili danni arrecati dai pesticidi alle popolazioni di microrganismi. Alcuni casi di studio specifici hanno messo in evidenza una possibile azione tossica, più o meno transitoria, nei confronti di determinate popolazioni; in particolare i fumiganti ed i fungicidi risultano inibire importanti attività microbiche quali la nitrificazione ed i processi di respirazione. Il destino ambientale del comparto suolo dipenderà quindi:

- 1) dalle quantità con le quali la molecola viene introdotta in ambiente;
- 2) dalle caratteristiche meteo - climatiche del sito di introduzione;
- 3) dal suo grado di volatilità;
- 4) dalla più o meno elevata inertizzazione su matrici solide presenti;
- 5) dal rapporto idrofilicità/idrofobicità;

- 6) dal trasporto a mezzo di processi di ruscellamento, lisciviazione ed eluviazione;
- 7) dai fenomeni di bioaccumulo;
- 8) dalla biodegradabilità.

4.3. - L'USO DEI FERTILIZZANTI MINERALI NEI SUOLI

La fertilizzazione minerale rappresenta uno dei molteplici sistemi di energie ausiliarie messi in atto nei moderni agroecosistemi per incrementare la produzione delle colture. Anche negli ecosistemi naturali si realizza un'introduzione di componenti minerali esterni al comparto suolo, essenzialmente attraverso i processi di deposizione atmosferica umida od a secco, sotto forma, prevalentemente, di derivati dell'azoto (NH_4^+ , NO_3^-) e dello zolfo (SO_4^{2-} , HSO_3^-), ma questa risulta sempre secondaria rispetto alle aggiunte principali che derivano dall'erosione della matrice minerale e dai processi di mineralizzazione dei substrati organici che giungono al suolo o della sostanza organica presistente (humus). È evidente che in tali ecosistemi il tasso di piovosità, le escursioni termiche ed il grado di attività biologica sono i tre fattori che massimamente influenzano lo sviluppo di forme minerali disponibili per l'assunzione da parte delle piante (oltre che altre componenti quali il pH, la permeabilità del suolo e l'immobilizzazione dei nutrienti nelle componenti microbiche ed animali).

L'importanza di un nutriente per una pianta consiste nella sua rappresentatività negli aspetti funzionali della pianta stessa. Da questo punto di vista i nutrienti possono essere classificati come essenziali o benefici.

Un elemento minerale si definisce essenziale quando:

- a) il ciclo vitale di una pianta non può essere completato senza quell'elemento;
- b) la funzione di quell'elemento non può essere svolta da un altro elemento;
- c) l'elemento in questione è direttamente coinvolto nell'attività metabolica di una pianta (ARNON & STOUT, 1939).

Nel caso in cui, invece, un elemento contrasti semplicemente gli effetti tossici dovuti ad altri elementi oppure sostituisca un secondo elemento in una funzione non di vitale importanza per la pianta, allora esso viene definito benefico.

Quando un elemento costituisce un componente presente in una percentuale rilevante nelle principali molecole biologiche, esso si definisce "macroelemento", diversamente, si indica come "microelemento".

I principali macroelementi essenziali per le piante sono: azoto (N), fosforo (P), zolfo (S), potassio (K), magnesio (Mg), carbonio (C), idrogeno (H), ossigeno (O) e calcio (Ca).

I micronutrienti aventi medesima funzione sono: ferro (Fe), manganese (Mn), zinco (Zn), rame (Cu),

boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl), silicio (Si) e cobalto (Co).

Tra i macronutrienti, calcio, magnesio e zolfo non sono mai presenti in quantità limitate nel terreno mentre possono esserlo l'azoto, il fosforo ed il potassio. Il primo è di sola derivazione organica, mentre i secondi possono provenire da input sia minerali che organici.

Gli elementi che, da un punto di vista nutritivo, sono essenziali per la vita degli animali, comprendono macronutrienti quali: Ca, N, P, S, K, Na, Cl, Mg, S (insieme a C, H, O) e micronutrienti quali: Cu, Co, I, Fe, Mn, Mo, Se, Zn. Un ruolo importante giocano: Ni, Si, Sn, V e F.

Le forme minerali di azoto nel terreno sono NH_4^+ (ammonio), NO_3^- (nitrati) ed NO_2^- (nitriti). Lo ione ammonio, avendo carica positiva viene intercettato dal complesso di scambio del suolo, i colloidi organo minerali aventi carica negativa, ed è successivamente rilasciato alla luce delle variazioni di pH della soluzione acquosa presente nel suolo.

Il fosforo è presente essenzialmente come PO_4^{3-} e può risultare, in parte intercettato dalle cariche positive degli idrossidi di ferro ed alluminio facenti parte della frazione minerale, precipitare come fosfato di calcio, od essere presente in forma organica come fosfati di inositolo (prevalentemente).

Parte del potassio, K^+ , del terreno risulta segregato a seguito della sua captazione negli interstrati dei fillosilicati ove esso è inaccessibile per le componenti biologiche del suolo; invece l'aliquota adsorbita alla superficie degli aggregati organo minerali può essere resa disponibile da variazioni del pH del terreno che inducono il passaggio del potassio in soluzione.

L'azoto viene assunto dalle piante prevalentemente come nitrato, ma talvolta anche come ammonio. Il fosforo è assorbito dalle radici sotto forma di fosfato ed il potassio, ovviamente, come K^+ .

I nitrati avendo carica negativa, non sono trattenuti dal complesso di scambio, carico negativamente, per cui tendono ad essere liscivati rapidamente a seconda della tessitura del suolo e della sua permeabilità. L'ammonio ed il potassio sviluppano interazioni attrattive di carica con il complesso di scambio, mentre i fosfati reagiscono, come detto, con gli idrossidi di ferro ed alluminio elettropositivi.

Nelle aziende agrarie si procede alla somministrazione sistematica, o secondo piani di fertilizzazione programmati, di sali dei tre summenzionati macroelementi essenziali alla crescita delle colture agricole. A seconda delle carenze nutrizionali del suolo o delle richieste della pianta si somministrano fertilizzanti contenenti uno, due o tutti e tre i macroelementi, ed in tal caso si parla rispettivamente di fertilizzanti "semplici" nel primo caso, e "complessi" binari o ternari negli altri due.

I fertilizzanti a base di azoto, sovente contengono nitrati, per cui vanno somministrati poco prima della

necessità della loro presenza nel suolo, per ridurre le perdite da liscivazione; fosforo e potassio invece, per la loro mobilità inferiore rispetto a quella dell' NO_3^- possono essere somministrati in modo più "dissipativo" (TROEH & THOMPSON, 1993).

Una somministrazione realizzata, invece, qualche centimetro in profondità, in adiacenza alle piante, può talvolta danneggiare le radici delle colture, riducendone la resa (LEYSHON, 1982).

L'introduzione negli agroecosistemi di quantità variabili di sali minerali di N, P e K, nonché una frequenza di somministrazione non sempre legata ad effettive necessità trofiche delle colture, può portare a un sovradimensionamento dei flussi e ad un conseguente incremento delle concentrazioni medie di tali elementi nei comparti suolo ed acqua con conseguenze sulle componenti biotiche a volte positive e a volte negative.

È noto che la risposta della crescita delle colture a progressivi incrementi nel tasso di fertilizzazione non è lineare, ma ha un andamento a campana; ovvero partendo da una condizione di assenza di fertilizzante, soprattutto a base di azoto, ed aumentando gradatamente le quantità somministrate si ottiene un corrispondente innalzamento delle rese produttive. Al di là di uno specifico valore soglia, che può variare da pianta a pianta, ulteriori incrementi del tasso di fertilizzazione non inducono nessun aumento del peso secco delle colture, anzi giungendo a somministrazioni alquanto sostenute si sviluppano danni alle piante con diminuzione delle rese stesse (GREENWOOD, 1980). Tale curva indica chiaramente come, un fertilizzante si comporti come un fattore limitante e segua la legge di Shelford, per cui carenze od eccessi della sua concentrazione in un comparto ambientale possono essere parimenti nocivi.

L'incremento delle concentrazioni dei fertilizzanti nel terreno si ripercuote, oltre che sugli apparati radicali vegetali, anche sulle popolazioni microbiche e su quelle degli invertebrati presenti nei suoli agricoli.

L'incidenza della fertilizzazione minerale sulle popolazioni microbiche è sostanzialmente positiva. Esperimenti condotti in aree prative o prativo - arbustive suggeriscono che la somministrazione di tale tipo di fertilizzanti stimola la crescita microbica (ULEHLOVA, 1979), le attività decompositive (JAKUBCZYK, 1971) ed il tasso respiratorio (KUBICKA, 1978). Nei suoli degli ecosistemi agricoli, ove esistono ben note carenze di sostanza organica, si assiste a notevoli stimolazioni della crescita microbica a seguito della somministrazione di fertilizzanti inorganici (HAY *et alii*, 1978) e talvolta anche delle popolazioni di protozoi che pascolano sui microrganismi edafici (ROSSWALL & PAUSTIAN, 1984).

Talvolta, comunque, quando la tessitura del suolo non consente un buon drenaggio, se il tasso di fertilizzazione risulta elevato, possono verificarsi fenomeni più o meno localizzati di eccessivo incremento della forza ionica con conseguenti processi di stress osmotico che causano lisi cellulare e riduzione della bio-

massa microbica vitale.

Va ricordato che un incremento del tasso di fertilizzazione azotata induce un aumento della concentrazione dei nitrati nel suolo. A seconda della tessitura e quindi della permeabilità del terreno i nitrati possono ricircolare più o meno a lungo nell'acqua presente nei pori, nel primo caso aumentando la possibilità che siano assorbiti in quantità eccessive dalle colture vegetali e esponendo le popolazioni umane al rischio di assunzione di concentrazioni eccessive, e nel secondo caso andando a contaminare la falda sottostante. Laddove quest'ultima risulti alquanto superficiale, fenomeni di risalita capillare possono riesporre gli apparati radicali a soluzioni concentrate di nitrati, riproponendo lo stesso rischio summenzionato; se invece la falda è più profonda, tale evenienza si riduce o scompare ma comunque resta lo stesso la possibilità di un effetto tossico sull'uomo se l'acqua della falda viene utilizzata per scopi irrigui o serve ad alimentare acquedotti.

Occorre aggiungere che i fenomeni di liscivazione e, soprattutto per i suoli in pendenza, quello del ruscellamento superficiale delle acque, che rimuove volumi non indifferenti di particelle di suolo, possono trasportare quantità variabili di fertilizzanti azotati fino ai corsi o bacini d'acqua circostanti favorendo lo sviluppo di processi di eutrofizzazione che possono avere drastiche conseguenze sugli equilibri chimici e biologici degli ecosistemi interessati (FERRARI *et alii*, 1996).

L'incremento dei nutrienti, infatti stimola fortemente la fioritura algale, riducendo drasticamente le concentrazioni di ossigeno disciolto con conseguente moria di molte specie di pesci ed innesco di processi putrefattivi legati alla condizione di anaerobiosi instauratasi. Tale rischio è particolarmente elevato nella stagione invernale, quando il suolo, arato e coltivato rimane "nudo" per periodi più o meno lunghi, senza l'azione di protezione di una coltura contro i fenomeni di erosione superficiale e l'immobilizzazione nelle biomasse vegetali dell'azoto somministrato attraverso la fertilizzazione minerale.

Una quantità eccessiva di alcuni elementi nei suoli può risultare tossica per le piante e/o gli animali e può quindi compromettere gli alimenti destinati all'uso umano. Gli elementi potenzialmente tossici sono: As, B, Cd, Cu, F, Pb, Hg, Mo, Ni, Se e Zn. Ugualmente deficienze di alcuni elementi possono portare conseguenze sulla crescita delle piante e determinare alcune malattie negli animali da pascolo, e quindi sull'uomo.

Per quanto riguarda i rapporti che intercorrono fra la geochimica e l'uomo, gli elementi chimici sono classificati in: macronutrienti per la salute dell'uomo (Ca, Cl, Mg, P, K, Na e S: è necessaria l'assunzione di almeno 100 mg/giorno), micronutrienti essenziali (Cr, Co, Cu, F, I, Fe, Mn, Mo, Se e Zn: è necessaria l'assunzione di alcuni mg/giorno); micronutrienti che probabilmente sono essenziali (Ni, Si, Sn e V); elementi traccia che pos-

sono risultare tossici (Al, As, Cd, Pb e Hg); e altri (Sb, Ba, Be, B, Br, Li, Rb, Ag, Sr e Ti). Assunzioni in eccesso o in difetto di molti di questi elementi possono avere conseguenze per la salute dell'uomo. Per alcune patologie è chiaramente dimostrata una causa/effetto; per molte altre il campo di ricerca è ancora del tutto aperto (DE VIVO, 1995; DE VIVO *et alii*, 2004).

4.4. - LA SPECIAZIONE CHIMICA NEL SUOLO

I fenomeni di speciazione chimica nei sistemi acqua-suolo risultano importanti sia nella definizione della disponibilità dei principali nutrienti per gli organismi vegetali in ambito agronomico, inclusa la ritenzione di specie tossiche quali Al, Cd e B, sia nella base informativa per l'ottenimento delle informazioni sul comportamento (mobilità, ritenzione, bio-degradazione) delle specie nelle risorse idriche superficiali e sotterranee.

Numerose e crescenti evidenze confermano che il comportamento (distribuzione, mobilità, disponibilità biologica, tossicologia) degli elementi chimici nei comparti ambientali non dipende unicamente dalla concentrazione totale, bensì (ed in maniera determinante) anche dalla natura e struttura delle diverse forme (specie) concorrenti alla concentrazione totale.

Di seguito si farà riferimento alle specie disciolte nella fase liquida di imbibizione delle fasi solide ed a quelle adsorbite sulle stesse fasi solide costitutive dei terreni, ovvero sugli ossidi metallici, sui silicati, sui carbonati, nonché quelle presenti sulla frazione organica (residui vegetali a struttura cellulosica). Nella fase di imbibizione le specie metalliche risultano essenzialmente idratate (acqua-complessi) o complessate con leganti organici (acidi umici, fulvici e residui proteici) o con leganti inorganici (cloruri, solfati, carbonati).

Ulteriori distinzioni sui fenomeni di speciazione nei terreni possono essere fatte in base al tipo di legame che le diverse specie formano con i solidi costitutivi (SPOSITO, 1981; BOLT & BRUGGENWERT, 1978).

Una specie ionica può interagire con i minerali argillosi, con gli ossidi idrati (-Al-OH; -Fe-OH) o con substrati organici carichi mediante forze elettrostatiche di natura coulombiana (scambio ionico) (PETRUZZELLI & LOPEZ, 1993), laddove la formazione di legami covalenti può determinare la interazione con substrati macromolecolari organici (LOPEZ & PETRUZZELLI, 1993).

Altri casi di speciazione chimica si possono associare ai processi assimilativi delle piante (ad es., le forme di fosforo disponibili per la loro nutrizione), alle forme tossiche, alla mobilità nei comparti acqua-suolo (ad esempio, composti prontamente o difficilmente eluibili dalle fasi solide). I citati esempi contribuiscono solo alla definizione parziale della problematica generale, che risulta molto complessa.

La presenza di una determinata specie nella specifi-

ca fase solida può risultare transitoria in quanto questo rappresenta solo uno dei sistemi coinvolti nel ciclo "biogeochimico" a cui sono soggetti il complesso degli individui chimici nell'ecosistema di riferimento (aria-acqua-suolo-biota).

I tempi di residenza e di esistenza delle diverse specie variano considerevolmente anche in base alla loro mobilità, alle cinetiche di trasformazione e di interconversione delle specie fra e nelle diverse fasi (LOPEZ & PETRUZZELLI, 1993).

Ad esempio, per l'alluminio, il ferro e il silicio, pur essendo fra gli elementi più abbondanti nella composizione naturale dei suoli, solo una frazione inferiore all'1% delle specie ad essi afferenti risulta mobilizzata nell'arco di un anno, a causa della essenziale insolubilità dei loro composti (PETRUZZELLI & LOPEZ, 1993; KERSTEN & FORSTNER, 1995).

Se ciò può rappresentare un vantaggio in riferimento alla specie alluminio (a causa della loro potenziale tossicità), risulta sfavorevole per le specie ferro, in virtù delle loro proprietà nutrizionali per le piante.

I fattori che influenzano la distribuzione delle specie ioniche e non fra le diverse forme possibili, sono il pH e la forza ionica dei liquidi di imbibizione, nonché la presenza di specifici leganti fra le fasi solide e/o liquide, le concentrazioni relative, le potenziali interazioni, i tempi di residenza.

Dal punto di vista operativo, nella impostazione delle indagini sperimentali, non esistono metodi univoci per discernere fra le diverse forme concorrenti alla concentrazione totale dello specifico elemento chimico.

Ad esempio, la determinazione della frazione assimilabile di nutrienti per le piante si basa, molto semplicemente, sulla presenza di forme solubili prontamente disponibili, piuttosto che su particolari e specifiche forme chimiche.

Lo ione calcio può essere adsorbito sui materiali argillosi o dalla sostanza organica, ma in ambedue i casi viene rilasciato facilmente al punto da essere facilmente assimilato.

Le frazioni disponibili per l'assimilazione vegetale, possono essere facilmente valutate al punto che costituiscono la base razionale per la definizione dei bilanci nutrizionali delle determinate attività agronomiche su ampia scala.

La comprensione dettagliata dei fenomeni di speciazione ionica nel suolo è ancora lontana dalla sua completa comprensione.

La discriminazione fra le specie metalliche nelle fasi solide costitutive del suolo può essere basata su:

- metodi fisici legati alla granulometria delle fasi;
- metodi geomineralogici legati alla frazione detritica (roccia, frammenti) e non detritica (ad esempio, materiale derivante da erosione meteorologica);
- metodi chimico-fisici legati alla solubilità relativa delle specie in soluzione saline, in acidi o basi;

- distribuzione di fasi solide, ovvero in base alla associazione con altri componenti del suolo.

La tabella 1 illustra schematicamente le associazioni delle specie metalliche nelle varie fasi solide naturali e l'origine dei metalli; inoltre illustra alcune delle reazioni chimiche che promuovono il rilascio delle specie metalliche dalle fasi solide a cui sono associate.

5. - ATTIVITÀ DI CAMPAGNA E DI LABORATORIO

5.1. - PRELIEVO DEI CAMPIONI

La campionatura, eseguita tra il mese di luglio e di ottobre 1998 è stata preceduta da uno studio preliminare del territorio, basato sull'individuazione in campagna delle differenti colate laviche e prodotti piroclastici, con l'aiuto di una carta vulcanologica in scala 1:

10.000 redatta dal Prof. ROLANDI (in stampa). Tale indagine, in particolare, è stata volta a individuare i siti di campionatura, suddividendo il territorio mediante una griglia regolare di 1 km x 1 km. La griglia regolare è stata integrata laddove si osservava variazioni litologico-vulcanologiche locali non interessate dalla campionatura con griglia regolare. Sono stati prelevati 376 campioni di suolo, di cui il 50 % in superficie (primi 10 -15 cm) e il 50 % restante ad una profondità di circa 50 - 60 cm, con una densità di 1 campione per 1 km².

È stata inoltre effettuata una campionatura di 10 palesuoli (tav. 4), per avere informazioni sulle concentrazioni "background" di elementi metallici nell'area vesuviana. Per questo scopo si sono utilizzati i palesuoli prelevati alla base dell'eruzione del 79 d.C.

Sotto il profilo granulometrico si sono prelevati campioni di suoli nella quantità di circa 2 Kg per la frazione più fine, 8 kg per quella grossolana.

L'individuazione del sito di prelievo dei campioni,

Tab.1 - Sistemi ambientali coinvolti nella speciazione chimica nei suoli.
- Environmental systems involved in the chemical speciations in soils.

Componenti del suolo	Origine del contenuto in metalli	Meccanismo di rilascio
Composti precipitati		
Carbonati (inclusi gusci e frammenti di conchiglie)	Adsorbimento fisico	Variazione nella pCO ₂
	Coprecipitazione	Dissoluzione in acidi deboli
Solfuri metallici, Idrossidi e Ossidi di Fe e Mn	Coprecipitazione	Ossidazione di S ²⁻
	Adsorbimento fisico	Riduzione di Fe/Mn a stati ossidativi bassi
	Chemiosorbimento	
Composti organici		
Poco solubili, complessi	Composti metallici	Acidificazione Distruzione della sostanza organica
Residui organici		
Lipidi, sostanze umiche	Adsorbimento fisico	Distruzione della sostanza organica, spostamento di leganti (EDTA)
Adsorbimento chimico	Complessi metallici	
Frammenti di roccia		
Reticoli cristallini	Metalli in materiali inerti	Distruzione reticolo

sul territorio, è stato effettuato sia con l'ausilio di una carta topografica in scala 1: 5.000 che con un G.P.S. (Global Position System), in modo da ottenere un'elevata affidabilità delle coordinate geografiche per le procedure di georeferenziazione dei campioni di suolo.

Non sempre, però è stata rispettata la griglia prestabilita; l'eccessiva urbanizzazione della fascia costiera, l'innalzarsi di barriere antropiche lungo i sentieri di campagna, gli ostacoli imposti dalla morfologia e dalla fitta vegetazione, hanno costretto infatti ad effettuare alcune lievi correzioni rispetto alla maglia prefissata sulle carte topografiche.

La carta della campionatura (tav. 4), mostra sia la distribuzione areale teorica dei campioni che quella effettivamente risultante dalla campagna di prospezione di suoli, su tutta l'area in esame.

5.2. - PREPARAZIONE DEI CAMPIONI E DETERMINAZIONI ANALITICHE

La prima operazione effettuata in laboratorio è stata l'eliminazione dell'umidità, tramite essiccamento sotto lampade ad una temperatura <40 °C. In seguito i campioni sono stati setacciati una prima volta con un setaccio di 10 mesh (2,00 mm). Tutta la frazione passante è stata ulteriormente ridotta con un mortaio di agata e setacciata con un setaccio di 100 mesh (149 µm) (PIRC *et alii*, 1991).

La frazione passante di 100 mesh è stata sottoposta per le determinazioni analitiche presso i laboratori *ACME Analytical Lab. Ltd., Vancouver, Canada* attraverso la sua affiliata italiana (ERS Srl, Napoli). Le analisi sono state eseguite con il metodo ICP-AES per 32 elementi chimici.

Le analisi effettuate sono state sottoposte a verifica di qualità determinando l'accuratezza e la precisione. La precisione e l'accuratezza sono state verificate attraverso analisi duplicate e attraverso analisi di *standards* a composizione nota. Gli elementi chimici analizzati, i limiti di rilevabilità strumentale, la precisione e l'accuratezza sono riportati nella tabella 2.

5.3. - I PALEOSUOLI COME INDICATORI DI VALORI BACKGROUND

In un'area fortemente urbanizzata come quella del Vesuvio, per discriminare il contributo antropico nella dispersione degli elementi metallici nei suoli, è fondamentale definire il contenuto naturale dei suoli stessi (concentrazioni "background"). A tale scopo sono state utilizzate le concentrazioni chimiche determinate nei paleosuoli, assumendo tali valori non siano alterati significativamente da attività umane. I paleosuoli presi in considerazione sono preservati da inquinamento antropico dalla copertura di prodotti effusivi e piroclastici di età più recenti ad essi sovrastanti.

Tab. 2 - Elementi analizzati con ICP-AES (attacco con *Acqua Regia*).
- Elements analyzed by ICP-AES (Aqua Regia attack).

Elemento	Limite di rilevabilità strumentale	Accuratezza (%)	Precisione (%)	Elemento	Limite di rilevabilità strumentale	Accuratezza (%)	Precisione (%)
Al (%)	0,01	3,3 - 3,7	0 - 0,04	Cr (ppm)	1	1,1 - 2	0 - 0,67
Ca (%)	0,01	5,0	0 - 0,05	Cu (ppm)	1	1 - 16,7	0 - 0,15
Fe (%)	0,01	3,1 - 6,4	0 - 0,06	Hg (ppm)	1	0,0	-
K (%)	0,01	4,1 - 9,3	0 - 0,06	La (ppm)	1	0 - 13	0 - 0,06
Mg (%)	0,01	6,7 - 9,4	0 - 0,06	Mn (ppm)	2	0,7 - 6,4	0 - 0,05
Na (%)	0,01	0 - 5,7	0 - 0,05	Mo (ppm)	1	2,6 - 21,5	0 - 0,40
P (%)	0,001	0 - 7,8	0 - 0,06	Ni (ppm)	1	0,4 - 2,1	0 - 0,22
Ti (%)	0,01	3 - 7,7	0 - 0,06	Pb (ppm)	3	0,0	0 - 0,2
Ag (ppm)	0,3	7,2	0	Sb (ppm)	2	5,9	0 - 0,21
As (ppm)	2	15	0 - 0,22	Sr (ppm)	1	2,8 - 4,7	0 - 0,06
Au (ppm)	2	50	-	Th (ppm)	2	4,3 - 8,8	0 - 0,12
B (ppm)	3	14 - 15,8	0 - 1,20	Tl (ppm)	5	0,0	0
Ba (ppm)	1	0,4 - 6,4	0 - 0,07	U (ppm)	5	4,5 - 33,3	0
Bi (ppm)	2	2,7	0	V (ppm)	1	1,6 - 3,9	0 - 0,07
Cd (ppm)	0,2	5,1	0	W (ppm)	10	0 - 23,4	0,29
Co (ppm)	1	4,2 - 12,5	0	Zn (ppm)	1	1,4 - 4,5	0 - 0,04

Come paleosuolo di riferimento è stato prescelto quello sottostante i prodotti dell'eruzione del 79 d.C. (tav. 4), in quanto occupa nella sequenza stratigrafica dei prodotti del Somma-Vesuvio, una posizione quasi intermedia;

In località Torre del Greco, Torre Annunziata, Pompei, Boscoreale e Terzigno sono stati prelevati 10 campioni alla profondità variabile tra i 2 m e 20 m.; in particolare per ogni sito si sono prelevati tre campioni, di cui uno nella zona sommitale dell'affioramento, uno al centro e un altro alla base.

I tre campioni prelevati in ogni sito sono stati omogenizzati e preparati per le determinazioni analitiche con la stessa procedura utilizzata per la preparazione dei suoli attuali; anche la metodologia per le determinazioni analitiche delle concentrazioni chimiche presente nei paleosuoli è stata la stessa che si è impiegata per i suoli attuali del Somma-Vesuvio.

I dati chimici ottenuti per i campioni di paleosuolo, sono stati confrontati con i dati chimici relativi agli stessi elementi, dei prodotti effusivi (piroclastiti e lave) del Somma-Vesuvio, riguardanti l'intera sequenza eruttiva compresa fra 25 ka e 1944 (AYUSO *et alii*, 1998).

Nella figura 1 sono riportate le concentrazioni medie riscontrate negli orizzonti 10 - 15 cm, 50 - 60 cm dei suoli, nei paleosuoli e nei prodotti eruttivi del Somma-Vesuvio (PAONE *et alii*, 2001).

Nelle figure 2a, b, c, d viene illustrata la distribuzione statistica comparativa degli elementi negli orizzonti (10 -15 cm e 50 - 60 cm) dei suoli attuali e nei paleosuoli attraverso una rappresentazione grafica di tipo box-plot. Questo tipo di grafico permette di avere informazioni speditive sul valore della tendenza centrale (mediana), sulla dispersione (altezza del rettangolo corrispondente all'intervallo interquartile), sullo scostamento dei valori estremi, e sull'eventuale presenza di valori anomali.

Le figure 1 e 2 mostrano una stretta analogia tra la media dei dati relativi ai prodotti eruttivi e i dati del paleosuolo scelto come suolo di riferimento non contaminato. Rispetto a questo andamento fanno eccezione Ba, Sr e Cr.

L'esame comparativo generale tra le medie dei valori delle concentrazioni per i suoli attuali, paleosuoli e rocce effusive porta ad individuare alcuni interessanti aspetti che verranno descritti di seguito.

Da un confronto diretto si osserva che gli elementi B, Pb, Cu e Zn presentano valori medi nei prodotti eruttivi e dei paleosuoli molto simili, mentre i valori medi nei suoli attuali sono marcatamente elevati. Anche Sb manifesta valori medi nei prodotti eruttivi molto inferiori alle altre tre medie, che invece sono molto simili tra loro.

I valori medi delle concentrazioni nei paleosuoli e nei due orizzonti dei suoli attuali, per Au e Ag sono generalmente molto simili, mancando come già detto dati relativi alla medie dei prodotti effusivi. U, W e Mo presentano valori medi dei valori delle concentrazioni nei

paleosuoli e nei due orizzonti di suolo leggermente inferiori rispetto ai valori medi dei prodotti effusivi. Infine il Ni e Co mostrano valori medi delle concentrazioni simili per i dati dei prodotti effusivi e quelli provenienti dai suoli attuali, mentre il valore medio dei paleosuoli risulta inferiore.

Questa analisi comparativa mostra, quindi, che gli elementi che si arricchiscono nei suoli attuali rispetto ai paleosuoli e ai prodotti eruttivi sono: B, Zn, Cu e Pb. I suoli attuali risultano inoltre arricchiti rispetto ai paleosuoli in Ni, Co, Ba e Sr.

Con un'ulteriore sintesi possiamo raggruppare gli elementi analizzati in due gruppi: il primo comprende i valori più anomali (Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Hg, Bi, Cd, Sb, Ag, Al e P) nell'orizzonte superiore (10-15 cm) e il secondo i valori anomali (Ca, Fe, Ti, P, Mg, Na, Ba, As, B, Co, Mn, Mo, Sr, V) nell'orizzonte inferiore (50- 60 cm).

Di seguito nella tabella 3 vengono riportati gli elementi anomali riscontrati nei due orizzonti dei suoli indagati, rapportati all'area di territorio interessata. Il livello di anomalia riportato è quello corrispondente al valore maggiore del percentile 97,5.

5.4. - INFORMATIZZAZIONE DEI DATI CARTOGRAFICI

Attraverso un software di vettorializzazione (AutoCad Map Vers. 2) sono state informatizzate 20 carte topografiche scala 1:5.000 ivi compreso un rilevamento vulcanologico (inedito) effettuato dal Prof. ROLANDI a scala 1:10.000; la vettorializzazione della morfologia, in particolare, è stata effettuata considerando solo le isolinee di 25 metri e i punti quotati.

Con una procedura di rasterizzazione sono state poi informatizzate le carte topografiche scala 1:25.000; in questo caso si è tenuto conto di tutte le informazioni riportate sulle carte (centri abitati, strade primarie e secondarie etc.).

Oltre a ciò è stata acquisita una carta orfotografica georeferenziata datata 1998 con una risoluzione di 3 X 3 metri sul territorio, al fine di poter correggere tutte quelle informazioni obsolete derivanti dalle carte dell'I.G.M. a scala 1: 25.000.

Per i dati geografici, nell'effettuare l'operazione di digitalizzazione, il dato numerico è ricostruito attraverso l'imprecisione del segno grafico. Infatti un tratto di 0,2 mm in scala 1:10.000 significa un errore di 2 metri in più o in meno nella realtà.

Se la carta originale comprende difetti intrinseci, questa operazione risulterà del tutto imprecisa a causa dell'errore posizionale aggiuntivo e ciò può renderla inutilizzabile per successivi aggiornamenti su base topografica o fotogrammetrica.

In altri termini, il significato di precisione del dato geografico non si riferisce tanto alla possibilità di misurare la realtà, pur rimanendo ciò un'esigenza irri-

Tab. 3. Elementi anomali riscontrati nei due orizzonti di suolo indagato.
- Anomalous concentrations found in the two investigated soil horizons.

Suoli - Orizzonte superiore (10-15 cm)				
TERZIGNO	COGNOLI DI OTTAVIANO	FASCIA COSTIERA	AREA NORD-EST	
V (> 173 ppm)	Zn (>20000 ppm)	Zn (>600 ppm)	W (>7 ppm)	
Th (> 37 ppm)	Cu (>32000 ppm)	U (>16 ppm)		
Sr (> 796 ppm)	Pb (>1700 ppm)	Mo (> 4 ppm)		
Mn (>1122 ppm)	Ni (>564 ppm)			
La (> 54 ppm)	Mo (>4 ppm)			
Co (> 25 ppm)	Hg (> 6.4 ppm)			
Cd (> 4 ppm)	Mn (>1122 ppm)			
Ba (> 1767 ppm)	Co (> 25 ppm)			
	Cd (> 4 ppm)			
	B (> 61 ppm)			
	Bi (> 29 ppm)			
	Ag (> 8 ppm)			
Suoli - Orizzonte inferiore(50 - 60 cm)				
TERZIGNO	VALLE DELL'INFERNO	COGNOLI DI OTTAVIANO	FASCIA COSTIERA	AREA NORD-EST
Zn (> 6150 ppm)	Zn (> 6150 ppm)	Ni (> 410 ppm)	Cr (> 69) ppm	
Cu (> 9695 ppm)	Sr (> 812 ppm)	Mo (> 7 ppm)	Bi (> 9 ppm)	
Pb (>2800 ppm)	Cu (> 9695 ppm)	Cd (> 3 ppm)		
Ni (> 410 ppm)	Co (> 29 ppm)			
Hg (> 4 ppm)	Cd (> 3 ppm)			
Co (> 29 ppm)	Bi (> 9 ppm)			
Ag (> 3 ppm)	Ba (> 1896 ppm)			
	As (> 160 ppm)			
	Ag (> 3 ppm)			

nunciabile, quanto invece alla possibilità di costruire un modello sempre più preciso della realtà stessa.

Per quanto riguarda la componente descrittiva del dato territoriale, a causa della gran diversità degli approcci delle numerose discipline che si occupano di sistemi ambientali, il livello di dettaglio, l'integrazione

dei vari contributi così come l'accuratezza e la precisione delle diverse misure ambientali dipendono dal particolare scopo del lavoro.

Tutte queste informatizzazioni sia *raster* che *vector* sono state inserite nel *database* che si è provveduto a realizzare con il lavoro di ricerca.

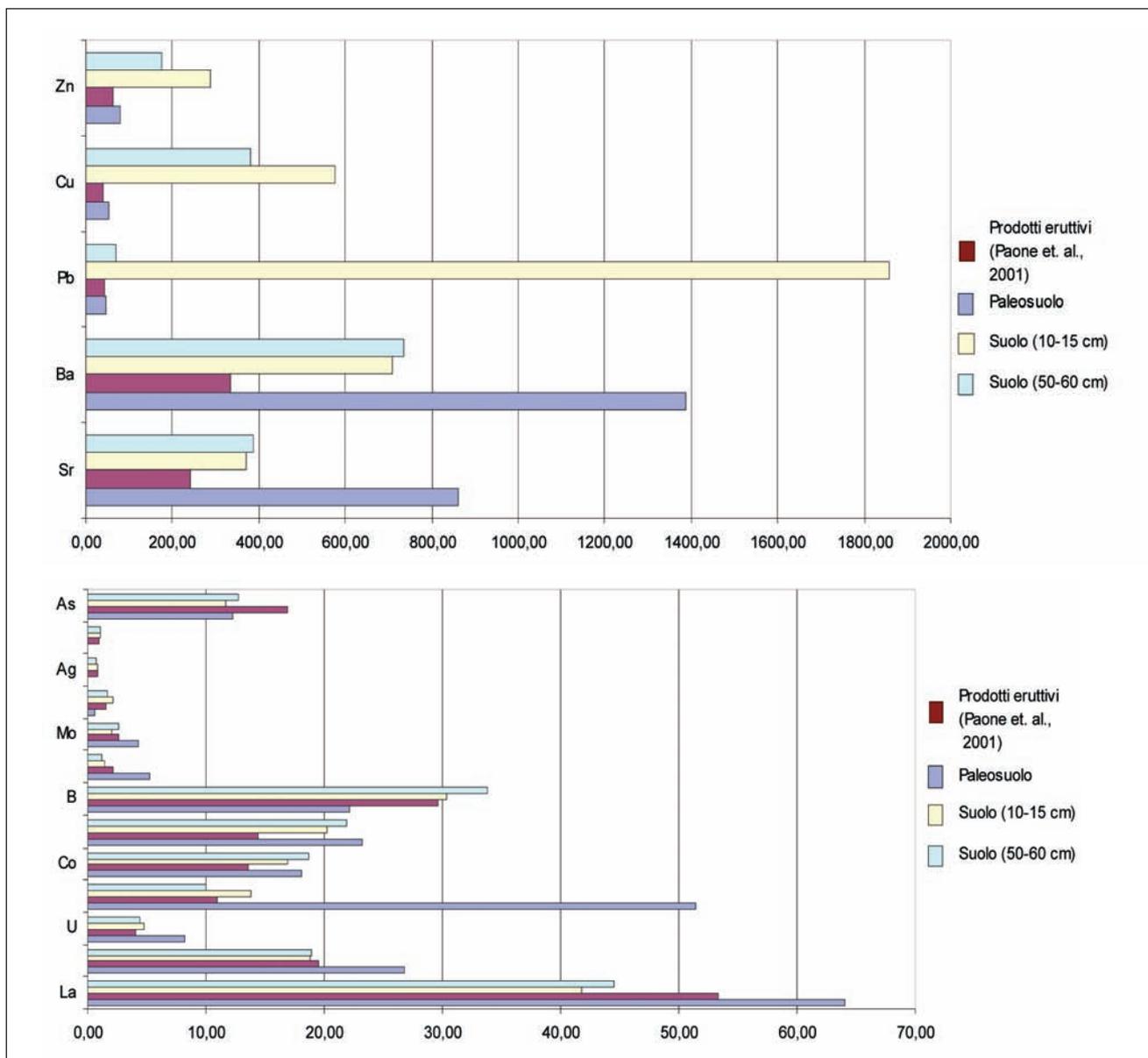


Fig. 1. - Concentrazioni medie tra gli orizzonti 10 - 15cm, 50 - 60cm dei suoli, i paleosuoli e nei prodotti effusivi del Somma-Vesuvio (AYUSO et alii, 1998).

- Chemical elements average concentrations in horizons 10-15 cm, 50-60 cm, in paleosols and in effusive products of Somma-Vesuvius (AYUSO et alii, 1998).

5.5. - REALIZZAZIONE DEL DATABASE

Un'ulteriore fase del lavoro di ricerca è consistita nella progettazione ed implementazione di un database specifico per questo tipo di lavoro; in esso sono state inserite tutte le informazioni alfanumeriche fino ad ora descritte. Le informazioni sono state suddivise in due aree distinte relazionate tra di loro, per poter permettere tutte le potenziali interrogazioni possibili (struttura logica).

La priorità nell'organizzazione del database è stata data alla procedura di aggiornamento dei dati, dovendo

essere quest'ultimi più possibile protetti contro manovre errate o intrusioni dolose, ed al tempo stesso in grado di verificare la capacità di gestire informazioni complesse su un sistema dinamico, di effettuare elaborazioni matematico-statistiche su tutto l'insieme di dati o in parte, di verifica dell'aumento dei dati la cui organizzazione non si modifica nel tempo e di occupare poco spazio, e conseguentemente non essere ridondanti.

Il database realizzato è del tipo "dati orientato", intendendo con ciò un modello di dati che tenga conto di come questi debbano essere organizzati per rispon-

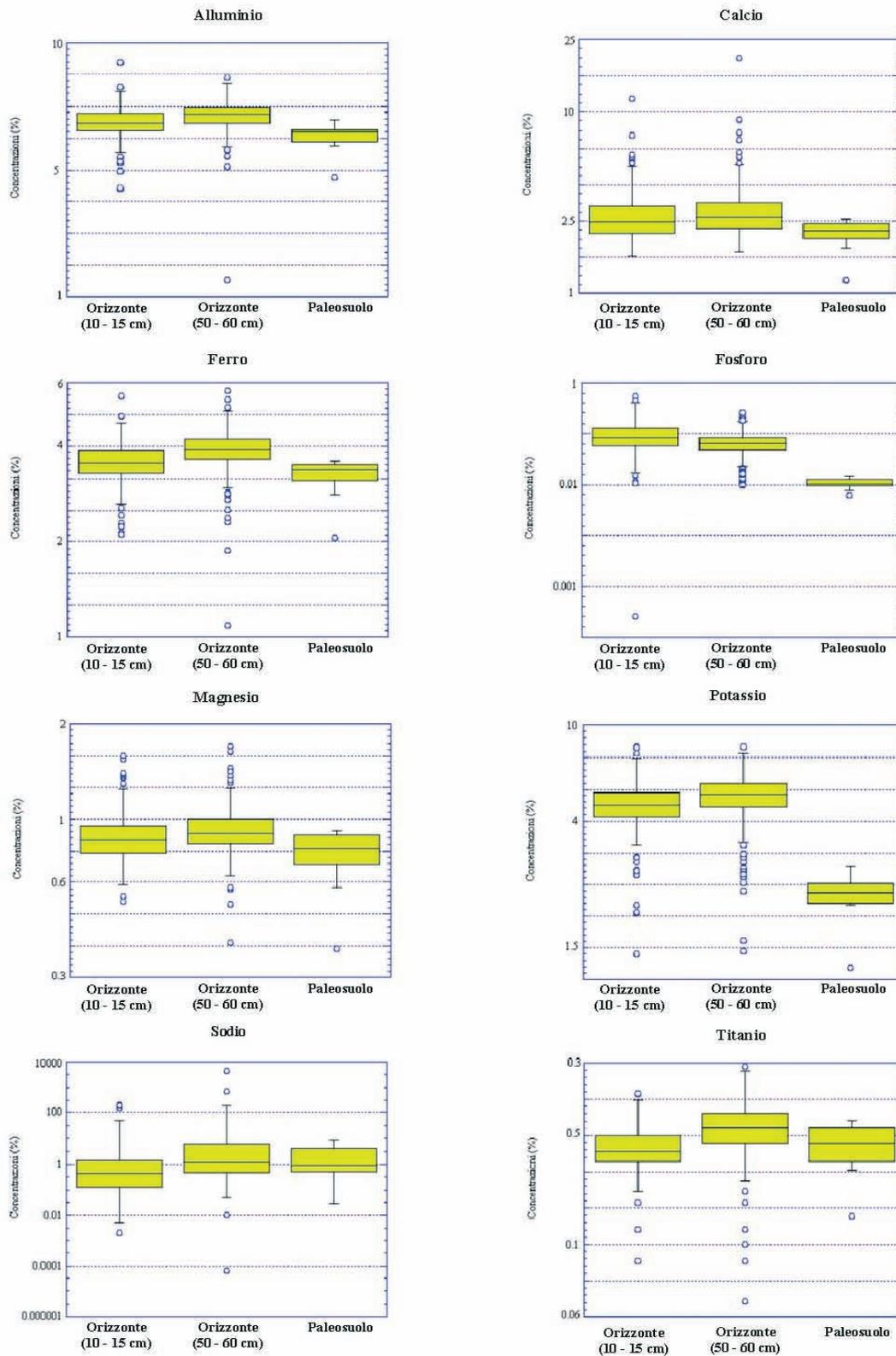


Fig. 2a. - Box plots degli elementi maggiori.
- Box plots of major elements.

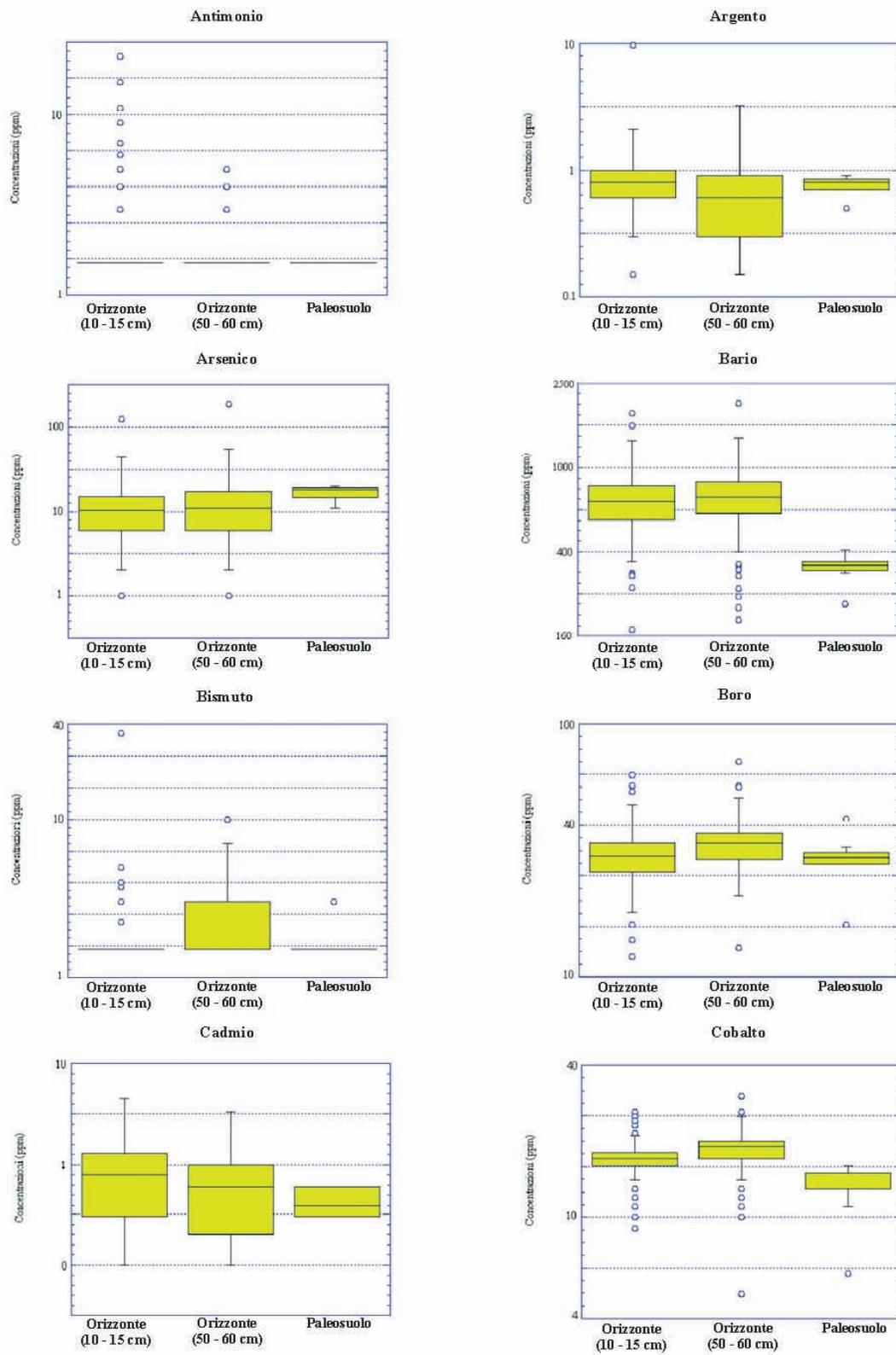


Fig. 2b. - Box plots degli elementi minori.
- *Box plots of minor elements.*

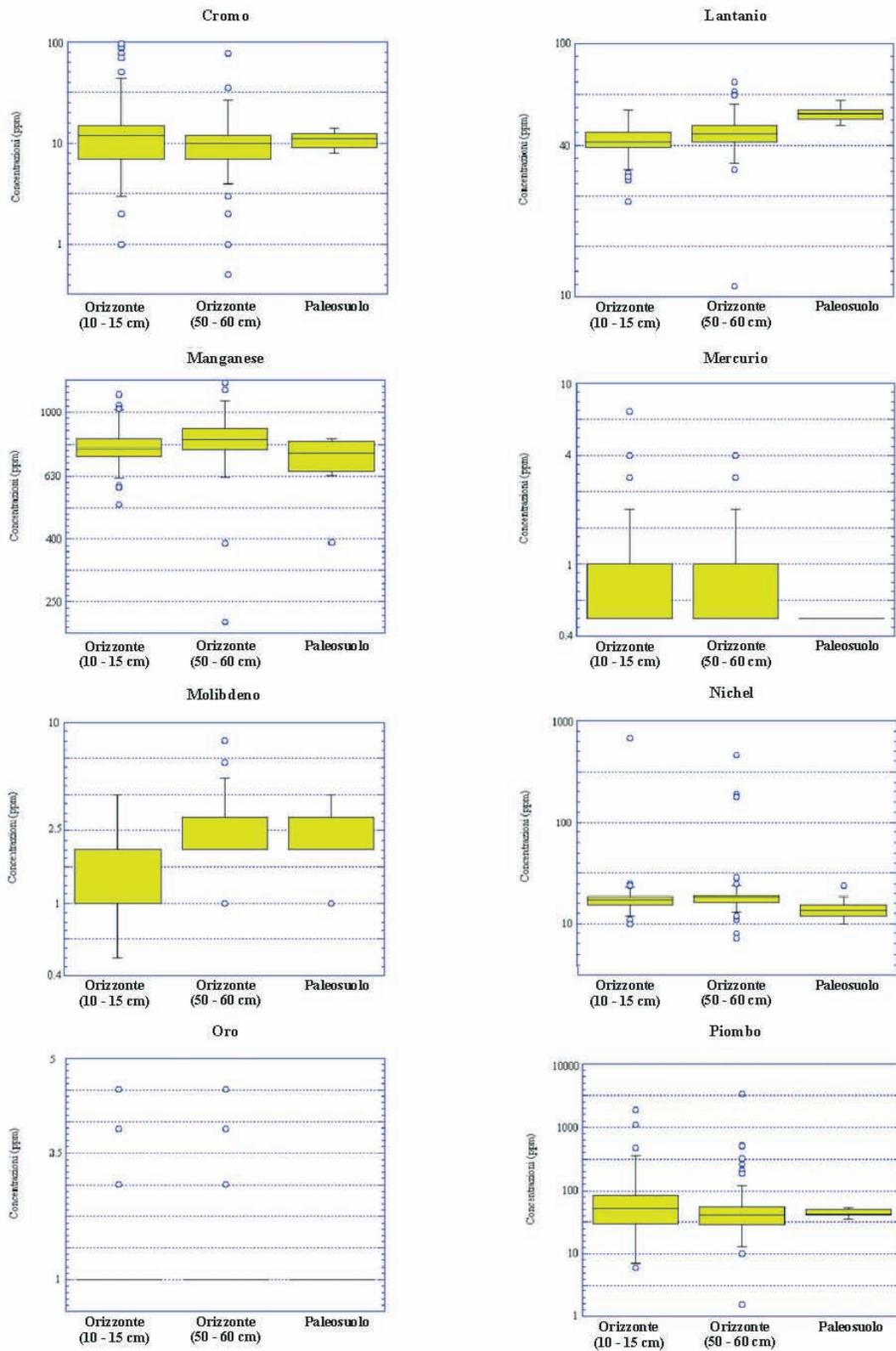


Fig. 2c. - Box plots degli elementi minori.
- Box plots of minor elements.

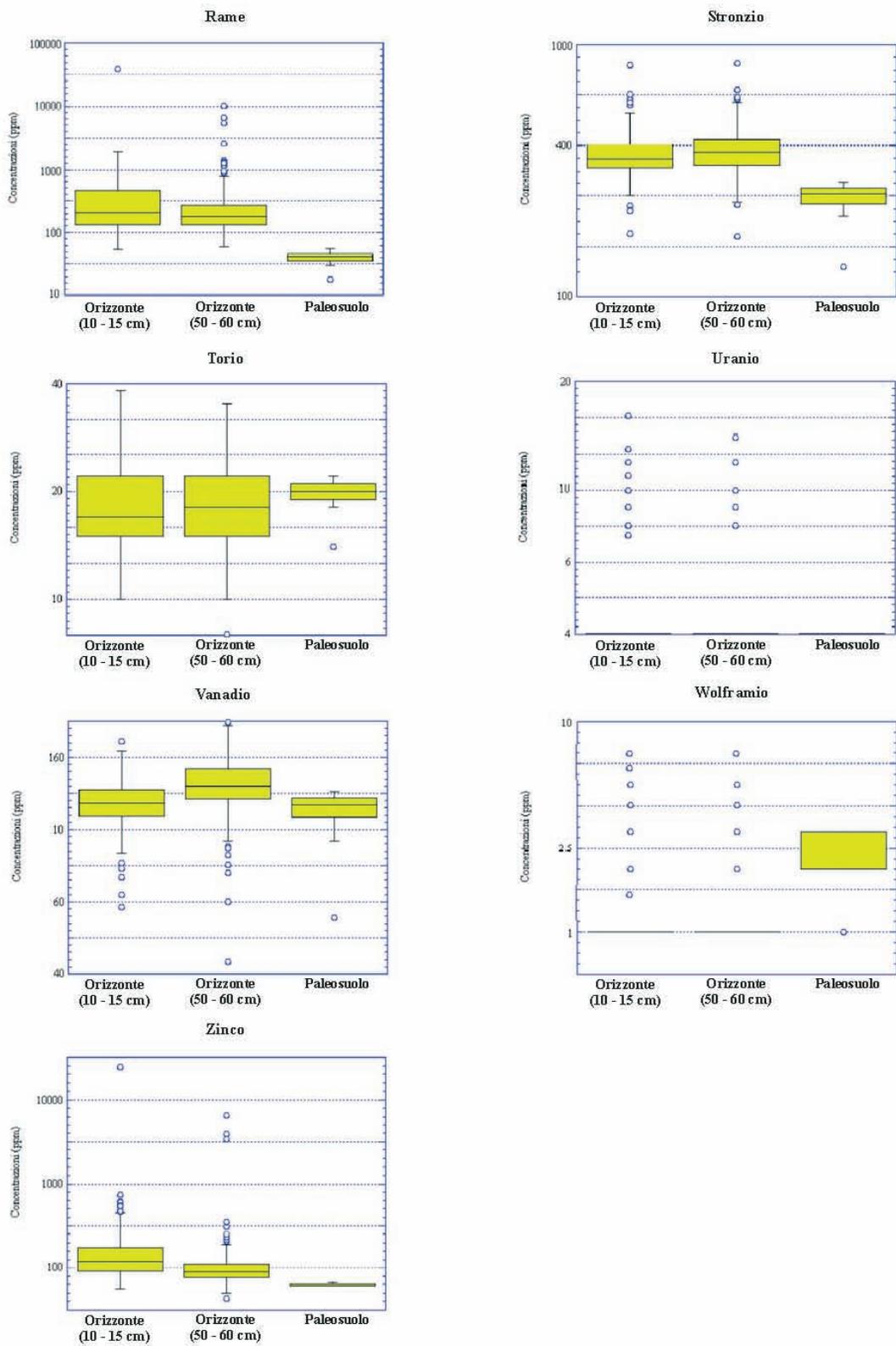


Fig. 2d. - Box plots degli elementi minori.
- Box plots of minor elements.

dere alle domande che si vorranno porre al sistema.

In sintesi la logica del modello "dati orientato" si basa su specifici concetti di spazio quali:

1) lo spazio geografico è visto come una gamma di valori discreti supportati da specifiche misure;

2) lo spazio geografico è visto in una visione estesa e di continuità; essendo allo stesso tempo, in grado di discriminare tra limiti morfologici e confini o barriere di studio.

3) lo spazio reale non viene suddiviso in oggetti discreti e valori di attributo, ma rappresenta una gamma più ampia di valori, tale che ad ogni valore corrisponde il valore di una parte di spazio

4) ogni oggetto spaziale può essere considerato come un'estensione spaziale che include un infinito numero di punti, cioè lo spazio dei valori è continuo;

5) esistono funzioni di attributo dalle quali derivano gli attributi; queste sono delle funzioni continue, integrabili e differenziabili. Cioè gli attributi del campo corrispondono sia a campi scalari che a campi vettoriali. Queste funzioni attributo possono riguardare non solo i punti, ma anche delle zone.

L'inserimento degli attributi relativi al dato georeferenziato si effettua attraverso due maschere sviluppate con il linguaggio di programmazione Avenue in ambiente di sviluppo *Map Object*.

La prima maschera permette l'immissione delle informazioni come le coordinate geografiche, concentrazioni chimiche, parametri fisico-chimici, data del prelievo, nome del campionatore e uso attuale del territorio; la seconda maschera consente di inserire informazioni sul tipo di suolo, coordinate geografiche, granulometria, tipi di depositi piroclastici o lave, geometria dei depositi piroclastici o delle lave, morfologia, urbanizzazione (centri abitati, strade principali e secondarie, ecc.); Le due tabelle in questo modo presentano due ID# number univoci differenti tra di loro. Le eventuali relazioni da ricercare nelle due tabelle si realizzano attraverso la definizione di oggetti o forme geometriche regolari o irregolari individuate attraverso le coordinate geografiche. Tale struttura permette una interrogazione (*query*) differente del *database*, poiché gli unici limiti posti (*query* senza risposta) sono dettati solo ed esclusivamente dalle coordinate geografiche esterne all'area in esame.

Il *database* inoltre, permette di memorizzare un insieme di dati stabilendone l'organizzazione; infatti, mentre il singolo dato, in quanto unità elementare di informazione, ha una forma di memorizzazione ben definita, ciò che può variare è il modo in cui i dati possono essere messi in relazione fra loro in maniera funzionale.

L'organizzazione dei dati dipende quindi dal tipo di utilizzo che si dovrà fare di essi. Le procedure di gestione dei *database* (DBMS) permettono poi all'utente di accedere all'organizzazione dei dati ed attuare così le operazioni di controllo e selezione, che predispongono alla vera e propria elaborazione attraverso script applicativi,

che determinano il carattere individuale di ogni Sistema Informativo Territoriale Ambientale.

Richiamando la nozione di "dato territoriale", è evidente come le varie tecniche di conservazione e elaborazione del dato possano interessare, una sola delle sue componenti, quella geografica o quella descrittiva, o entrambe, in modo interdipendente.

6. - NORMATIVA PER LA TUTELA AMBIENTALE

Alle soglie del terzo millennio, l'ambiente è diventato materia di approfondito studio, non solo in campo scientifico, ma anche umanistico (economia, sociologia e filosofia). La "questione ambientale" è stata assunta persino ai livelli più alti dell'ordine religioso ed ha imposto un approccio globale ed interdisciplinare che coinvolge tutti i fattori naturali ed antropici in un rapporto di stretta interconnessione. Tale approccio interdisciplinare ha portato all'elaborazione della Seconda Strategia Mondiale per la Conservazione della Natura che propone l'evoluzione dell'attuale rapporto uomo-natura verso un "vivere sostenibile", cioè l'adozione su scala globale di "Stili di vita" individuali e collettivi, sociali ed istituzionali che tengano conto della "capacità di carico" del Pianeta.

In presenza di un utilizzo intensivo e dissennato dell'ambiente che dura ormai da alcuni decenni, anche il diritto ha dovuto prendere atto di una realtà che per secoli gli è stata estranea. La cultura giuridica occidentale, infatti, ha ereditato dal diritto romano un sistema impostato interamente sull'istituto della proprietà privata, intesa come diritto pieno ed assoluto.

È noto che la società preindustriale non richiedeva l'emanazione di norme specifiche a tutela dell'ambiente, in quanto era caratterizzata da una "economia del circolo" che utilizzava risorse rinnovabili e i rifiuti, di natura organica, rientravano integralmente nei processi naturali. La struttura giuridica, pertanto, si configurava come "diritto a protezione dell'ambiente", in quanto funzionale alla conservazione delle risorse naturali quali beni economici necessari alla sopravvivenza.

In tale contesto, l'ambiente, poteva essere definito come "equilibrio ecologico della biosfera o dei singoli ecosistemi di volta in volta considerati"

Solo dalla metà degli anni '70 vengono emanate norme che pongono limiti di sicurezza a tutela della salute e dell'ambiente. Tra le tante leggi emanate di tutti gli ordini e gradi (Nazionali, Regionali, Comunitarie ecc.), si è ritenuto interessante focalizzare l'attenzione sul decreto Ministeriale n. 471 del 25 ottobre 1999, il primo in assoluto a definire le soglie limite ammissibili nei suoli delle concentrazioni chimiche secondo l'uso di destinazione del suolo stesso (residenziale, industriale/commerciale).

Nella tabella 4 vengono riportati i valori delle concentrazioni limite nei suoli riferiti alla specifica destinazione d'uso riportata nel D.M. 471/1999.

Tab. 4 - Valori di concentrazione limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare.
- Intervention limits in the two soil horizons investigated as a function of land use.

		A	B
		Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (mg/Kg espressi come ss)	Siti ad uso commerciale e industriale (mg/Kg espressi come ss)
	Composti inorganici		
1	Antimonio	10	30
2	Arsenico	20	50
3	Berillio	2	10
4	Cadmio	2	15
5	Cobalto	20	250
6	Cromo totale	150	800
7	Cromo VI	2	15
8	Mercurio	1	5
9	Nichel	120	500
10	Piombo	100	1000
11	Rame	120	600
12	Selenio	3	15
13	Stagno	1	350
14	Tallio	1	10
15	Vanadio	90	250
16	Zinco	150	1500
17	Cianuri (liberi)	1	100
18	Fluoruri	100	2000

7. – CARTE DELLA DISTRIBUZIONE GEOCHIMICA

7.1. – ALLUMINIO

L'alluminio ha numero atomico 13 e un solo nuclide stabile ^{27}Al , è un elemento litofilo fortemente concentrato nella crosta terrestre. Presenta un solo stato di ossidazione Al^{3+} e tre differenti numeri di coordinazione (4-5-6) nei solidi. L'alluminio, che presenta una bassa solubilità sulla superficie terrestre, dipendendo dal pH della soluzione, è il metallo più abbondante della crosta terrestre 8.3 % ed è superato come abbondanza solo dall' O^2 (45,5%) e dal silicio (25,7%). È il maggior costituente di molti minerali ignei come i feldspati e di minerali accessori. Durante l'azione degli agenti atmosferici sulle rocce della crosta, l'alluminio si accumula nei minerali argillosi (kaolinite, smectite, vermiculite, ecc.). La concentrazione di alluminio nelle condriti indiffe-

renziate e di circa 0,86%. Nel mantello la quantità di alluminio è molto bassa (2,3%), giocando comunque un ruolo fondamentale per la stabilizzazione della struttura del granato nella zona di transizione.

7.1.1. - Uso

Allo stato puro è un metallo dal colore bianco argentato, è leggero, non è magnetico e non è scintillante. L'alluminio puro è tenero, ma le leghe con piccole quantità di rame, magnesio, silicio, manganese ed altri elementi hanno molte proprietà utili.

L'alluminio è un elemento abbondante della crosta terrestre, ma non è libero in natura; attraverso il processo "Bayer" esso viene estratto dalla bauxite.

L'alluminio viene usato per la produzione di scatole e lamiere metalliche, utensili da cucina, applicazioni

Tab. 5 - Parametri statistici per singolo elemento (orizzonte 10-15 cm).
- Single elements statistical parameters (horizon 10-15 cm).

Al	%	3,48	8,69	5,63	1,79	5,59	0,64
Ca	%	1,61	11,79	2,79	255,31	2,49	1,11
Fe	%	2,11	5,72	3,57	52,26	3,51	0,51
K	%	1,52	6,82	4,47	137,62	4,46	0,82
Mg	%	0,55	1,58	0,89	0,73	0,86	0,17
Na	%	0,54	1,71	0,94	16,77	0,92	0,22
P	%	0,005	0,75	0,31	16,71	0,29	0,11
Ti	%	0,09	0,26	0,18	773,58	0,18	0,03
Ag	ppm	0,2	9,7	0,8	3,5	0,8	0,7
As	ppm	1	123	12	8	11	11
Au	ppm	1	4	1,1	4,4	1,0	0,4
B	ppm	12	63	30	1	30	7,7
Ba	ppm	172	1813	708	18	685	212
Bi	ppm	1,5	35	1,9	362,0	1,5	2,5
Cd	ppm	0,1	4,5	0,8	0,6	0,8	0,6
Co	ppm	9	26	17	2	17	2,4
Cr	ppm	1	96	14	2	12	13
Cu	ppm	54	39065	576	117	208	2848
Hg	ppm	0,5	7	0,8	2,6	0,5	0,7
La	ppm	24	55	42	0	41	4,9
Mn	ppm	512	1139	779	41	768	91
Mo	ppm	0,5	4	2,0	1,8	2	0,8
Ni	ppm	10	689	20	1	17	49
Pb	ppm	6	1859	82	678	52	163
Sb	ppm	1,5	21	2,1	0,2	1,5	2,2
Sr	ppm	178	835	369	29	354	80
Th	ppm	10	38	19	6	17	5,2
Tl	ppm	2,5	2,5	2,5	0,9	2,5	0,0
U	ppm	4	16	4,7	4,4	4,0	2,1
V	ppm	61	175	118	1	119	18
W	ppm	1	7	1,4	2,5	1,0	1,0
Zn	ppm	57	24532	287	1	120	1781

industriali qualora sia richiesto un materiale forte, leggero e facilmente utilizzabile.

Sebbene la sua conduttività elettrica sia solo il 60 % rispetto al rame è spesso usato nelle linee di trasmissione elettriche per la sua leggerezza e per il suo basso prezzo. Le sue leghe sono di fondamentale importan-

za per la costruzione di aereoaltri e missili.

L'alluminio gassoso sotto vuoto forma una copertura altamente riflettente sia per la luce visibile sia per le radiazioni del colore, usata per gli specchi dei telescopi.

L'ossido di alluminio serve per la produzione di rubini, zaffiri, smerigli e vetri, tutti utilizzati nella costruzione di laser.

Tab. 6 - Parametri statistici per singolo elemento (orizzonte 50-60 cm).
 - Single elements statistical parameters (horizon 50-60 cm).

Elemento		Min	Max	Media	Media Geo.	Mediana	Dev. Stand
Al	%	1,79	7,78	5,92	2,42	5,95	0,62
Ca	%	1,70	19,77	3,00	212,62	2,62	1,61
Fe	%	1,09	5,96	3,87	40,87	3,88	0,58
K	%	1,55	6,79	4,73	102,16	4,83	0,82
Mg	%	0,41	1,70	0,94	0,53	0,90	0,17
Na	%	0,38	2,32	1,07	18,34	1,02	0,22
P	%	0,10	0,51	0,25	18,38	0,26	0,07
Ti	%	0,07	0,31	0,21	816,76	0,21	0,04
Ag	ppm	0,15	3,2	0,7	3,8	0,6	0,5
As	ppm	1	185	13	8	11	15
Au	ppm	1	4	1,1	4,3	1,0	0,5
B	ppm	13	71	34	1	34	7
Ba	ppm	190	2016	735	18	722	223
Bi	ppm	1,5	10	2,3	379,0	1,5	1,4
Cd	ppm	0,1	3,3	0,7	0,5	0,6	0,5
Co	ppm	5	30	19	2	19	2,9
Cr	ppm	0,5	77	10	2	10	7
Cu	ppm	60	10410	380	131	182	987
Hg	ppm	0,5	4	0,8	2,8	0,5	0,6
La	ppm	11	71	45	0	44	6
Mn	ppm	217	1239	825	44	822	108
Mo	ppm	1	8	2,6	8,3	3,0	1,0
Ni	ppm	7	462	22	1	18	37
Pb	ppm	1,5	3334	70	701	41	247
Sb	ppm	1,5	5	1,6	0,2	1,5	0,5
Sr	ppm	174	848	387	33	375	82
Th	ppm	8	35	19	6	18	4,9
Tl	ppm	2,5	2,5	2,5	1,0	2,5	0,0
U	ppm	4	14	4,4	4,6	4,0	1,6
V	ppm	43	199	133	1	132	23
W	ppm	1	7	1,2	2,5	1,0	0,7
Zn	ppm	43	6672	175	1	90	601

7.1.2. - Ruolo biologico

L'alluminio è coinvolto nell'azione degli enzimi quali succinato, deidrogenasi ed è coinvolto nella sintesi della porfina. I composti dell'alluminio sono tossici per

diverse specie di piante e qualche volta sono tossici anche per i mammiferi. L'alluminio viene collegato con il morbo di Alzheimer, poiché si accumula nell'organismo. Inoltre quando è in polvere presenta un alto pericolo di infiammabilità.

7.1.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La carta geochemica prodotta, tavola 5, evidenzia le concentrazioni massime nell'area ad ovest di Terzigno con valori di 8 %, in corrispondenza dei terreni del sottogruppo F2. I valori 6,8 % (percentile 99) li ritroviamo da S. Giuseppe Vesuviano fino a Pompei e nella valle dell'Inferno su i terreni del sottogruppo F4, F2, G7 e F1 rispettivamente. I valori più bassi, individuati dal percentile 5 (5,05 %) si ritrovano nel territorio di Ottaviano, Pollena, a Terzigno e tra Boscoreale e Pompei.

7.1.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

Dalla tavola 6 si evidenzia che le concentrazioni massime (7,53 %) di alluminio si rinvencono nella valle dell'Inferno, nella Piana delle Ginestre e ad ovest di Terzigno in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F1 e F2; valori di circa 6,75 % (percentile 99) si osservano nel territorio di Pompei, di Boscotrecase, Ottaviano e ad ovest di Terzigno nei suoli F2, F1, F3 rispettivamente. I valori minimi compresi tra 5,22 – 5,44 % (percentile 5 – 10) si osservano con un'ampia distribuzione areale nelle zone di Sant'Anastasia, Pollena Trocchia e nella fascia costiera che va da Portici fino a Torre Annunziata, un'area, quest'ultima, caratterizzata da un elevato grado di urbanizzazione.

7.2. - ANTIMONIO

In natura si rinviene comunemente come ione Sb^{+3} . Il suo comportamento cristallografico e geochemico è simile a quello dell'arsenico, suo vicino nella tavola periodica degli elementi, ma, con una concentrazione media crostale di 0,2 ppm, risulta molto meno abbondante di quest'ultimo (MASON, 1966). Nei processi magmatici l'antimonio può vicariare il ferro in minerali come l'olivina e l'ilmenite, ma non tende ad essere arricchito in maniera preferenziale in nessuna fase di frazionamento magmatico (URE & BERROW, 1982). Pertanto le concentrazioni medie che si riscontrano nelle rocce intermedie e acide (0,2 ppm) sono simili a quelle nelle rocce basiche (0,1 - 0,2 ppm). L'antimonio è un elemento minore calcofilo, e per questa ragione la sua distribuzione nelle rocce è legata a quella dei minerali dello zolfo (BOYLE, 1968). Le sue più alte concentrazioni (>3 ppm) si rinvencono tipicamente in prossimità di depositi idrotermali di galena e sfalerite. I minerali contenenti concentrazioni significative di antimonio sono la stibnite (Sb_2S_3), che è il più comune, l'antimonite e una serie di solfuri, solfuri complessi e ossidi.

L'antimonio è stato talvolta rinvenuto in forma elementare (WEDEPOHL, 1978). Può essere utilizzato come tracciante, insieme all'arsenico, argento, mercurio e al bismuto, nella ricerca di mineralizzazioni aurifere (PLANT *et alii*, 1989, 1991).

I sedimenti argillosi a grana fine e ricchi in materia organica sono tipicamente ricchi di antimonio (>1 ppm) rispetto alle rocce ignee; ciò riflette la forte tendenza di questo elemento ad essere adsorbito da ossidi idrati, da residui organici e da minerali argillosi (URE & BERROW, 1982). Anche argilliti piritiche nere e siltiti possono essere caratterizzate da livelli relativamente alti di antimonio.

Sedimenti grossolani quarzoso-feldspatici, quarziti e rocce carbonatiche mostrano di solito valori di concentrazione inferiori a 0,5 ppm.

7.2.1. - *Uso*

L'antimonio è un semimetallo estremamente fragile a causa dell'elevata sfaldabilità del suo reticolo cristallino; è un cattivo conduttore di calore e di elettricità ed a temperatura ambiente non è reattivo, bruciando se riscaldato, con formazione di fumi bianchi. Viene impiegato come semiconduttore per realizzare i rilevatori di infrarossi e diodi; nelle leghe (da 1% a 20%) incrementa la durezza e la forza meccanica delle batterie al Pb, nei proiettili traccianti per piccole armi, nei rivestimenti per cavi di rame, nello smalto per le ceramiche e conferisce resistenza ai bicchieri e alle stoviglie.

7.2.2. - *Ruolo biologico*

L'antimonio non riveste un ruolo biologico, ma in piccole quantità può stimolare il metabolismo; i suoi composti sono tossici, tuttavia i polmoni ed i capelli ne contengono piccole quantità. Tutti i composti dell'antimonio, possono causare seri danni ai polmoni ed al fegato. È un potente irritante, ma si trova nel codice farmaceutico britannico dal 1907 come componente di medicinali che inducono il vomito e la sudorazione; di fatto è un potente veleno naturale e in medicina viene usato come tartaro ematico .

7.2.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

Dalla tavola 7 si osserva che la maggior parte dei dati risulta al di sotto del limite di rilevanza strumentale, di conseguenza nel rappresentare i valori delle concentrazioni, sono stati individuati solo sei intervalli a partire dal percentile 50. La quasi totalità del territorio cartografato mostra valori inferiori a 1,5 ppm, eccezione fatta per i valori massimi rilevabili (18,1 ppm)

nell'area compresa tra T. Annunziata e Pompei, in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F2 e G7 e nell'area intorno a S. Giuseppe Vesuviano con concentrazioni massime in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F4. Valori di concentrazioni di circa 5 ppm si rilevano nelle aree di Ottaviano e dei Cognoli di S. Anastasia in terreni del sottogruppo F3.

7.2.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 8 evidenzia come il 75 % dei dati presenti lo stesso valore di 1,5 ppm, interessando tutti i suoli presenti nell'area di studio. I valori massimi (5 ppm) si individuano, nell'area di Pollena Trocchia e a nord est di Ottaviano rispettivamente nei suoli individuati dai sottogruppi F3 e F4. Inoltre vi sono aree limitate con valori del percentile 95% (2,25 ppm) tra il cratere del Vesuvio e Torre del Greco, a Boscoreale, a ridosso di Ottaviano, S. Giuseppe Vesuviano e Terzigno e fra il cratere del Vesuvio e l'orlo del Monte Somma.

7.3 - ARGENTO

L'argento non mostra consistente affinità né con i magmi basici né con quelli acidi, sebbene la sostituzione degli ioni Na^+ con gli ioni Ag^+ ne determini un arricchimento nelle rocce alcaline (BOYLE, 1968). Ha proprietà fortemente calcofile ed è diffuso in mineralizzazioni a solfuri; spesso è associato con altri elementi calcofili come Pb, Co, Ni, Sb e As (URE & BERROW, 1982). Rinvenimenti di argento e di leghe native di Ag-Au sono piuttosto frequenti (BOYLE, 1968). Nei minerali delle argille, Ag^+ può sostituire K^+ in condizioni di bassa acidità (URE & BERROW, 1982). Questo comportamento, accoppiato con un assorbimento preferenziale, determina una maggiore concentrazione dell'argento nelle argille che non nei silt o nelle sabbie (CHAO & ANDERSON, 1974). Nella maggior parte dei suoli, i sali di argento sono immobili a condizioni di $\text{pH} > 4,0$, mentre la ritenzione di argento in soluzione richiede un alto potenziale di ossido-riduzione. Concentrazioni secondarie di argento, causate dalla formazione di complessi metallo - organici e da processi di adsorbimento, possono aversi in diverse condizioni. BOYLE (1968) ha evidenziato che i solfati basici di Fe possono spazzare via l'argento dai suoli (CHAO & ANDERSON, 1974).

7.3.1. - *Uso*

L'elemento puro è bianco brillante con lucentezza metallica, è leggermente più duro dell'oro ed è molto duttile e malleabile; è l'elemento più conduttivo di tutti

i metalli e possiede il più basso punto di resistenza; inoltre è stabile sia in aria che in acqua pura, ma scurisce se viene a contatto con ossigeno, con acido solforico oppure all'aria con solfuri. Il suo ioduro è utilizzato per produrre artificialmente la pioggia. Il suo impiego principale è nel campo della gioielleria in leghe con contenuti in Ag fino al 92,5%, ma anche nella fotografia (AgBr), nelle protesi dentarie, nei contatti elettrici, nelle batterie e nei circuiti stampati; viene usato in modo minore nella confezione di bicchieri. Quando è fresco è il miglior riflettore della luce visibile, ma poiché si ossida facilmente perde molto di questa sua capacità.

7.3.2. - *Ruolo Biologico*

L'argento è molto tossico solo per pochi organismi, in realtà, il metallo in sé provoca pochi problemi, ma i suoi sali irritano la pelle e le mucose. Questi ultimi se ingeriti possono causare la morte, mentre piccolissime quantità possono sviluppare tumori.

7.3.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

Dalla tavola 9 si evidenzia che le alte concentrazioni di argento si rinvenivano nell'area dei Cognoli di Ottaviano con valori massimi di 7,8 ppm in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F3; valori di circa 2,4 ppm (percentile 99) si rilevano nella fascia costiera fortemente urbanizzata che va da Portici ad Ercolano. I valori minimi compresi tra 0,4 - 0,5 ppm (percentile 5-10) si osservano con un'ampia distribuzione areale nelle zone alte di Torre del Greco, nell'area urbana di Torre Annunziata, e nei territori di Boscotrecase, Boscoreale, Terzigno, Ottaviano, e Somma Vesuviana, in corrispondenza a loro volta dei suoli dei sottogruppi F2, F3, F4.

7.3.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 10 mostra i valori più bassi (percentile 5%) distribuiti in un'ampia fascia che interessa tutto l'area a sud del territorio in esame, in corrispondenza dei suoli dei sottogruppi F2 e G7. Le concentrazioni massime, che si attestano a 2,4 ppm, viceversa le ritroviamo ad ovest della località di Terzigno e nella valle dell'Inferno. Inoltre i valori compresi fra 1,4 e 1,6 ppm (percentile 95 e 99) si manifestano a Torre del Greco, ad Ottaviano, S. Anastasia e a Pollena Trocchia interessando sia aree urbanizzate che i suoli dei sottogruppi F3 e F4.

7.4. – ARSENICO

Un arricchimento preferenziale di questo elemento non viene riscontrato né nei magmi basici né in quelli acidi, mentre è riconosciuta una sua affinità per l'attività idrotermale. Elevati valori anomali sono caratteristici di depositi auriferi epitermali e mesotermali (spesso associati a Bi, Sb e Se); questa caratteristica fa sì che l'arsenico venga frequentemente utilizzato come tracciante per Au e Ag (BOYLE & JOHNSON, 1973; DUNN, 1989; PLANT *et alii* 1989).

L'arsenico è fortemente calcofilo e si rinviene in solfuri e solfoarsenuri (arsenopirite, FeAsS). Nello stadio magmatico tende a vicariare Fe³⁺ o Al³⁺ nella matrice silicatica dei minerali. Per sostituzione di P⁵⁺ con As⁵⁺ può risultare concentrato anche nei fosfati come l'apatite, in quanto il gruppo anionico AsO₄³⁺ può prendere il posto del gruppo PO₄³⁺ (TREMEARNE & JACOB, 1941).

Nelle rocce sedimentarie l'arsenico è concentrato nelle argille, negli ossidi idrati di ferro e manganese, nei solfati e nei fosfati (URE & BERROW, 1982). Le concentrazioni medie dell'arsenico nelle argilliti (13 ppm) sono superiori a quelle nelle arenarie (<5 ppm) e a quelle nelle rocce carbonatiche (WEDEPOHL, 1978). Le più alte concentrazioni sono tipiche dei sedimenti fosfatici (~20 ppm), benché rocce carbonifere e ferrifere possano contenere apprezzabili concentrazioni di questo elemento.

7.4.1. - Uso

L'arsenico come elemento si trova in due forme solide di cui una di colore gialla e un'altra di colore grigio o metallico, con peso specifico rispettivamente di 1,97 e 5,73; è un solido semimetallico (metalloide) che si ossida all'aria molto rapidamente, ed è molto fragile e cristallino. Trova impiego nella bronzatura, nella pirotecnica, e come agente dopante nei transistor. Viene utilizzato anche come materiale per i laser nel convertire l'elettricità in luce stabile.

7.4.2. - Ruolo biologico

L'arsenico ed i suoi composti sono molto velenosi; riscaldando l'elemento ed alcuni minerali contenenti As, si ha sublimazione. L'arsenico a dispetto della sua reputazione di veleno, probabilmente è un micronutriente necessario per la vita umana; lo è sicuramente per le alghe rosse, per i polli, per i ratti ed i maiali. Una sua deficienza sembra inibire la crescita; tuttavia in concentrazioni eccessive è estremamente velenoso per piante ed animali e può causare il cancro.

7.4.3. - Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)

La carta geochimica (tav. 11), evidenzia le concentrazioni più elevate nelle aree a nord di Ottaviano con valori di 52 ppm nei suoli del sottogruppo G7; i valori 201 ppm e 37 ppm, individuati dai percentili 95 e 99, si ritrovano nella valle dell'Inferno, a Terzigno e tra Boscoreale e Pompei in corrispondenza dei suoli F1 e G7 rispettivamente. I valori minimi (6 ppm) si manifestano a ovest di Cercola, e in una fascia estesa da Torre del Greco a Torre Annunziata.

7.4.4. - Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)

La tavola 12 per grosse linee ripropone la stessa distribuzione geochimica senza molte variazioni di quella precedente fatta eccezione per le concentrazioni più elevate (185 ppm), nell'area a nord di Ottaviano nei suoli del sottogruppo F3. Nella Valle dell'Inferno, nell'area a sud di Boscoreale e nell'area compresa tra S. Anastasia e Pollena Trocchia si registrano concentrazioni di circa 92 ppm (percentile 99) nei suoli del sottogruppo F1, F2 e F4. I valori minimi delle concentrazioni sono distribuiti nell'area immediatamente a ovest e a sud del cono Vesuviano, nei suoli del sottogruppo F1, e nella fascia costiera tra Portici fino a Torre annunziata con valori < 3 ppm.

7.5. - BARIO

Nei processi magmatici il bario si rinviene con maggior frequenza nei K-feldspati e nelle miche, laddove si verifica la sostituzione di K⁺ con Ba⁺, entrambi dotati di raggio ionico di circa 1,45 Å (WEDEPOHL, 1978). Le concentrazioni di bario sono generalmente più alte nei K-feldspati che nei fillosilicati. Il bario tende anche a vicariare il Ca²⁺ nei plagioclasti, nei pirosseni e negli anfiboli e in minerali non silicatici come l'apatite e la calcite. Il suo contenuto nelle rocce ignee generalmente aumenta con l'aumentare del contenuto in silicio (URE & BERROW, 1982), anche se concentrazioni molto basse (< 200 ppm) sono state riscontrate in graniti molto evoluti (PLANT *et alii*, 1980). Il minerale principale del bario è la barite che si rinviene spesso associata a depositi metalliferi. Il bario viene considerato un elemento immobile nel corso del metamorfismo progrado, ma può concentrarsi in corrispondenza di *shear-zones* durante una fase retrograda di metamorfismo *post-greenschist* (DRURY, 1973).

Nelle rocce sedimentarie la sua concentrazione riflette l'abbondanza di K-feldspato, di minerali argillosi e di ossidi idrati di ferro e manganese che general-

mente l'adsorbono (WEDEPOHL, 1978). Il contenuto medio di bario nelle rocce sedimentarie è valutato intorno a 538 ppm; le concentrazioni più alte di bario sono state rinvenute in arcosi e argilliti (> 600 ppm), le più basse in rocce carbonatiche (~ 90 ppm) (URE & BERROW, 1982).

7.5.1. - *Uso*

Il bario è un metallo alcalino; è un elemento tenero e quando è puro è di colore bianco argentato come il piombo. Gli ossidi del metallo si ottengono facilmente, reagendo sia con l'acqua che con gli alcoli. Il solfato è usato in pittura e nei lavori diagnostici a raggi X (BaSO_4). Inoltre il bario ha un ruolo molto importante nel rendere l'olio ad uso industriale più pesante, nella fabbricazione della gomma e del vetro. Il clorato di bario dà il colore verde ai fuochi d'artificio. La polvere del metallo presenta elevata pericolosità di incendio ed esplosione.

7.5.2. - *Ruolo biologico*

Il bario non ha un vero e proprio ruolo biologico; il codice farmaceutico britannico indica dal 1907 che il cloruro di bario ha un'azione stimolante sul cuore ed altri muscoli. Il carbonato di bario è ampiamente utilizzato come veleno per topi, mentre il solfito di bario veniva usato come agente depilatorio. Comunque la maggior parte dei composti del bario dovrebbero essere riconosciuti come altamente tossici, ad esempio i sali provocano innumerevoli danni al fegato.

7.5.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 13, mostra che i valori più elevati (> 1259 ppm, percentile 99) delle concentrazioni del bario, si rinvencono in una zona che si estende dalla Valle dell'Inferno fino al territorio di Terzigno nei suoli F1, F2 e F3. I valori minimi (533 ppm, percentile 10 %) si distribuiscono sia nella zona nord dell'area in esame, tra Ottaviano e Pollena Trocchia, sia tra S. Giorgio a Cremano ed Ercolano, in concomitanza dei suoli F4, F2 e F1 rispettivamente.

7.5.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

Dalla tavola 14 si osserva come i valori elevati (>1133 ppm - percentile 99) si ritrovino nella Valle dell'Inferno e nella Piana delle Ginestre in suoli del

sottogruppo F1. I valori minimi confermano per grosse linee la distribuzione registrata nel livello superiore (10-15 cm) dei suoli in esame; le concentrazioni < 556 ppm (percentile 10) le ritroviamo nella fascia nord del Vesuvio che va da S. Giuseppe Vesuviano fino a S. Sebastiano al Vesuvio e nell'area compresa tra S. Giorgio e Torre del Greco interessando i suoli dei sottogruppi F4, F3, F2 rispettivamente.

7.6. - BISMUTO

Il bismuto, comunemente trivalente e con un raggio ionico piuttosto grande (1,1 Å), durante i processi magmatici può vicariare il Pb^{2+} , Y^{3+} , le Terre Rare leggere trivalenti e probabilmente il Ca^{2+} nell'apatite. Tutti questi elementi mostrano infatti similitudini in termini di carica o di raggio ionico (GOLDSCHMIDT, 1954). Come il piombo si comporta come un elemento incompatibile e si concentra nelle rocce più differenziate come graniti e pegmatiti. Ha spiccate proprietà calcofile, anche se meno pronunciate dell'As e del Sb, e si rinviene spesso in solfuri come la galena dove la sostituzione al Pb^{2+} è particolarmente favorita. I minerali del bismuto, piuttosto rari, sono la bismutinite (Bi_2S_3) e la bismutite (Bi_2O_3), che occasionalmente si rinvencono in limitate concentrazioni in associazione con la galena (PbS) e altri minerali dell'As e del Sb. La sua abbondanza nelle rocce sedimentarie riflette la presenza di detriti granitici e di materiale organico.

L'elemento mostra anche una tendenza a coprecipitare con ossidi idrati di Fe e Mn. La bismutite è stata osservata come minerale secondario in alcuni sedimenti (WEDEPOHL, 1978), dove si accumula in seguito all'ossidazione dei solfuri. Le più alte concentrazioni (> 5 ppm) sono state riscontrate in materiale bituminoso e carbone (BRANDENSTEIN *et alii*, 1960); GOLDSCHMIDT (1954) ha documentato arricchimenti comparabili in bauxiti ferrose e in minerali di ferro sedimentario; valori >20 ppm sono stati riscontrati in noduli oceanici ferromanganesiferi (AHRENS *et alii*, 1967). Valori più bassi sono tipici di argilliti (0,2-1,0 ppm) e arenarie (~ 0,3 ppm).

Il bismuto è un utile tracciante nella ricerca dell'oro, in quanto spesso indica la presenza di corpi intrusivi granitici e di strutture discordanti che evidenziano sistemi di vene aurifere. Come l'arsenico, l'antimonio e il piombo, il bismuto è facilmente adsorbito da ossidi secondari di ferro e manganese e da materiale organico nei suoli.

7.6.1. - *Uso*

Il bismuto è un metallo bianco cristallino fragile con sfumature rosa. Il bismuto è il meno magnetico di tutti i metalli; la conduzione termica è più bassa che in

qualunque altro metallo, eccetto il mercurio. Ha un'alta resistenza elettrica. Il bismuto è usato nella realizzazione di ferro malleabile da impiegare come catalizzatore per la produzione di fibre acriliche, come materiale termoaccoppiante, grazie alla sua alta termonegatività. Inoltre può essere impiegato sia come vettore per il combustibile d'uranio nei reattori nucleari che per i sistemi di spegnimento del fuoco.

7.6.2. - *Ruolo biologico*

Il bismuto è ampiamente utilizzato nella medicina cosmetica; esso non ha una vera e propria valenza biologica. In ogni caso è usato come medicina nel trattamento dei dolori di stomaco, in combinazione con antibiotici è molto utile per le ulcere dello stomaco; viene utilizzato anche nelle creme per la cura delle emorroidi. Il bismuto è uno dei metalli pesanti meno tossici, ma se ampiamente ingerito può causare seri danni al rene.

7.6.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

Dalla tavola 15 si osserva che il 50% della superficie presenta valori <1,5 ppm; questo è dovuto in particolar modo al fatto che gran parte dei dati analitici hanno valori inferiori al limite di rilevabilità strumentale. Invece i valori più elevati delle concentrazioni si ritrovano nei suoli del sottogruppo F1, nella Valle dell'Inferno (> 10 ppm, percentile 99), mentre i valori compresi tra 2,8 e 10 ppm (percentili 95 e 99) sono dislocati nell'area del Colle Umberto, a Pollena Trocchia, a Portici, a Torre del Greco, a Torre Annunziata e nell'area di Boscotrecase nei suoli F1, F2, F3 e F4 rispettivamente.

7.6.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

Dalla tavola 16 si rileva, come per l'orizzonte superiore, una vasta area del territorio in esame con valori inferiori a 1,5 ppm (percentile 25%).

I valori elevati (> 4,2 ppm, percentile 95) li ritroviamo nella Valle dell'Inferno, a S. Maria del Castello (nord di Cognoli di Ottaviano) e nella fascia costiera compresa tra Portici e Torre del Greco nei suoli F1, F2, F3 e F4. Infine i valori tra 3,5 e 4,2 ppm (percentili 90 e 95) si localizzano in una fascia che si estende tra Somma Vesuviana ed Ercolano in suoli del sottogruppo F2, F3, F4, a Torre del Greco e a Torre Annunziata.

7.7. - BORO

Nei processi magmatici il boro forma ossidi complessi stabili come $(\text{BO}_4)^{5-}$ con comportamento incompatibile, per cui si accumula nei prodotti più differenziati come le pegmatiti (URE & BERROW, 1982). Il boro è principalmente contenuto nelle tormaline (2,8-3,6 % B) e nei fillosilicati come le miche (WEDEPOHL, 1978). Rimobilizzazioni di boro sono state riportate sia durante l'alterazione idrotermale che durante il metamorfismo di alto grado (REYNOLDS, 1965). Arricchimenti sono stati riscontrati in rocce metasomatizzate, specialmente in quelle che hanno subito un processo di tormalinizzazione, mentre quantità residuali di boro, elemento relativamente volatile, sono state registrate in rocce di alto grado metamorfico come granuliti e anfiboliti.

Nelle rocce sedimentarie le più alte concentrazioni di boro sono generalmente riscontrate nelle facies argillose ricche di materia organica (~120 ppm), nelle quali l'elemento si concentra per adsorbimento superficiale. Valori estremamente alti (~9000 ppm) sono stati trovati in campioni di ceneri di carbone (SOONG & BERROW, 1979), mostrando la marcata affinità dell'elemento con la materia organica. Le condizioni climatiche influiscono notevolmente sulla distribuzione del boro; borati idrati si accumulano rapidamente in depositi evaporitici in zone aride o in bacini chiusi (URE & BERROW, 1982). A causa della maggiore solubilità dell'acido borico in soluzioni leggermente alcaline, le acque oceaniche contengono concentrazioni relativamente alte di boro. I sedimenti marini (soprattutto quelli argillosi ricchi in materia organica) hanno per questa ragione concentrazioni di boro relativamente alte rispetto ai sedimenti lacustri e fluviali (URE & BERROW, 1982).

7.7.1. - *Uso*

Il boro è un elemento del gruppo 13, pertanto le proprie caratteristiche sono sulla linea di confine tra i metalloidi e i non metalli. È un semiconduttore, piuttosto che un conduttore metallico; le caratteristiche chimiche sono molto più simili al silicio che all'alluminio, al litio e al gallio. Il boro amorfo è impiegato nei fuochi d'artificio e nei missili, come detergente per le saldature e nell'addolcimento delle acque di lavaggio delle polveri. I composti del boro, sono usati nella produzione di vernici per la copertura dell'acciaio dei frigoriferi e delle lavatrici. Il ^{10}B è impiegato per il controllo dei reattori nucleari negli strumenti atti al rilevamento dei neutroni. Il nitrato di boro è duro come il diamante e si comporta come un'isolante elettrico ma non come un'isolante termico, conducendo il calore come un metallo, ed ha proprietà lubrificanti simili alla

grafite. Gli idrati di boro sono largamente usati come combustibili per i missili. I filamenti di boro essendo molto forti e leggeri sono usati per le avanzate strutture aerospaziali e per le fibre ottiche. L'acido borico è usato in Nord America come insetticida per l'eliminazione di scarafaggi, formiche, pulci e altri insetti.

7.7.2. - *Ruolo biologico*

Il boro molto probabilmente non è richiesto nella dieta umana, mentre è molto richiesto dalle alghe verdi e dalle piante ad alto fusto. L'acido borico è usato come leggero antisettico e mostra buoni risultati nel trattamento delle artriti. I composti del boro sono tossici e se accumulati nell'organismo possono essere fortemente cancerogeni.

7.7.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 17 mostra che i valori minimi (< 24 ppm, percentile 10 %) sono raggruppati in modo particolare nella area del Cono del Vesuvio espandendosi sia nella valle del Gigante che nella piana delle Ginestre nei suoli del sottogruppo F1 e F3; e nell'area altamente urbanizzata di Torre del Greco e a ovest di Terzigno nei suoli del sottogruppo F3. I valori elevati (>45 ppm - percentile 99), si rilevano a Terzigno in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F2, nell'area tra Somma Vesuviana e Ottaviano nei suoli F4. Le concentrazioni comprese fra 40 e 45 (percentile 95 e 99) si registrano a Torre Annunziata e ad Ottaviano in corrispondenza dei suoli F2 e F4, a Portici e nella zona a nord-ovest di Cercola in corrispondenza di suoli con una densità di urbanizzazione molto spinta.

7.7.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

Dalla tavola 18 si osserva che le differenze esistenti tra la distribuzione delle concentrazioni del livello più profondo e quello superficiale sono minime: in particolare rispetto alle concentrazioni riscontrate nei suoli superficiali (10-15 cm), l'area del cratere presenta valori minimi (< 28 ppm) e con una ristretta superficie areale nei suoli del sottogruppo F1, mentre nell'area di Terzigno sono del tutto assenti i valori massimi. I valori elevati (> 45 ppm - percentile 99) li ritroviamo ancora una volta nel territorio che va da Ottaviano fino a Pollena Trocchia interessando in particolare i suoli del sottogruppo F4. I valori compresi fra 41 e 45 ppm (percentile 95 - 99) si individuano a Torre del Greco e a Portici in suoli fortemente urbanizzati.

7.8. - CADMIO

La concentrazione media del cadmio nella crosta è piuttosto bassa (~ 0,2 ppm), le concentrazioni più esigue si trovano generalmente nelle rocce ignee e metamorfiche (~ 0,09 ppm nei graniti; 0,13 ppm nei basalti), nelle arenarie e nei calcari; concentrazioni più elevate si riscontrano in argilliti (0,8 ppm), specialmente in sedimenti ricchi di materia organica, nei noduli oceanici manganesiferi e in rocce fosfatiche (FERGUSON, 1990). Lo ione Cd^{2+} ha un raggio ionico di 0,95 Å, maggiore rispetto a quello dello Zn^{2+} (0,73 Å), l'elemento con cui è più di frequente associato, e minore di quello di Hg^{2+} e Pb^{2+} .

Il cadmio è un elemento fortemente calcofilo e di conseguenza è concentrato nei solfuri, occasionalmente sotto forma di minerale puro (greenockite, CdS), più frequentemente come elemento vicario in altri solfuri di mercurio, rame, piombo e zinco; il contenuto di cadmio nella sfalerite (ZnS), per esempio, è mediamente del 3% con punte fino al 5% (FERGUSON, 1990). È stata documentata un'affinità del Cd con la materia organica; alcuni carboni (20 ppm), torbe (fino a 190 ppm) e petroli grezzi (16 ppm) contengono concentrazioni di Cd che possono essere messe in relazione con fenomeni di adsorbimento selettivo e di complessazione da parte di composti presenti nell'humus dei suoli.

I solfati e i carbonati di cadmio sono meno solubili di quelli di zinco (RUBIN, 1974), per cui la mobilità di Cd^{2+} è più limitata nei suoli (BOWEN, 1982). Il cadmio, in misura maggiore dello zinco, può essere selettivamente adsorbito e complessato da composti umici, da minerali argillosi e da ossidi secondari di ferro. Ciò può determinare una differenziazione nei modelli di dispersione di Zn e Cd, anche se provenienti dalla stessa fonte, e potrebbe costituire la causa di anomalie di Cd. In ambiente acquatico il cadmio è molto tossico e tende ad accumularsi negli organismi viventi e a concentrarsi nella catena alimentare, per questo motivo l'alto grado di adsorbimento nei sedimenti è un importante fattore di controllo sulla sua biodisponibilità.

7.8.1. - *Uso*

Il cadmio è un metallo morbido che può essere facilmente tagliato con un coltello. Allo stesso modo dello zinco viene utilizzato nel processo di galvanizzazione dei metalli. Il suo uso è comunque limitato per i problemi ambientali ad esso associati. Il cadmio è uno dei principali componenti di numerose leghe speciali per il suo basso coefficiente di frizione e per possedere una buona resistenza. Inoltre il cadmio è utilizzato nelle batterie al Ni-Cd, negli scudi dei reattori nucleari, nei televisori in bianco e nero e nei tubi catodici di quelli a colori. Il solfuro di cadmio è utilizzato come pigmento giallo e alcuni composti sono utilizzati come stabilizzanti nel PVC.

7.8.2. - *Ruolo biologico*

Il cadmio attualmente non viene ritenuto un elemento importante per la dieta umana, mentre è considerato un elemento fondamentale in quantità molto piccole per la dieta dei ratti. L'inalazione delle polveri di cadmio causa sia problemi respiratori che ai reni tanto da condurre alla morte; anche l'ingestione provoca un immediato avvelenamento, danneggiando fegato e reni. È un elemento velenoso per accumulo ed è da considerare estremamente tossico. I suoi composti possono provocare cancro, tuttavia il codice farmaceutico britannico lo contempla tra i medicinali.

7.8.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 19 mostra che la distribuzione dei valori minimi (< 0,3 ppm) si posiziona in un'area che interessa tutto il territorio che va da Ottaviano, Somma Vesuviana, S. Anastasia, Pollena Trocchia fino a raggiungere la fascia costiera di Torre del Greco, estendendosi al Colle Umberto nei suoli F4, F3, F1 e F2. I valori tra 1,7 e 1,9 ppm (percentili 95 e 99) si individuano a Boscotrecase nei suoli del sottogruppo F2, a Portici e a Torre Annunziata in suoli altamente urbanizzati. Mentre i valori elevati (> 1,9 ppm) vengono registrati a Pompei nei suoli del sottogruppo G7, tra San Giuseppe Vesuviano e a ovest di Terzigno e presso i Cognoli di Ottaviano rispettivamente nei suoli F3 e F4.

7.8.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 20 mostra una marcata differenza tra le distribuzioni delle concentrazioni nel livello inferiore di suolo rispetto al livello superiore. I valori più bassi (< 0,3 ppm) si registrano in una fascia che va da Portici fino a S. Giuseppe Vesuviano interessando i territori di Ercolano, Torre del Greco, Torre Annunziata, Boscoreale e Terzigno nei suoli classificati F2, F3 e F4. I valori elevati (> 1,4 ppm - percentile 95) vengono individuati nella Piana delle Ginestre e in località Valle dell'Inferno in corrispondenza dei suoli F1. I valori massimi (2,0 ppm) si ritrovano in località Valle dell'Inferno su suoli F1

7.9. - CALCIO

Il calcio è il quinto elemento in ordine di abbondanza fra tutti gli elementi; costituisce il 3,5 % in peso della crosta continentale superiore (URE & BERROW, 1982). È uno dei maggiori costituenti dei minerali primari come i plagioclasti e i pirosseni, ed è maggiormente arricchito

nelle rocce basiche ed ultrabasiche.

Generalmente non viene coinvolto nel metamorfismo di medio e alto grado ma può essere mobilizzato durante processi di alterazione a basse temperature e formare minerali secondari come dolomite, calcite e granato (WEDEPOHL, 1978). La calcite e la fluorite si rinvencono spesso anche come minerali idrotermali in vene.

I sedimenti carbonatici (soprattutto calcari e dolomie) costituiscono una importante fonte di Ca. Nella maggior parte delle rocce sedimentarie la concentrazione di Ca riflette l'abbondanza di calcite e dolomite, benché altri minerali solfati come gesso e anidrite rivestano una certa importanza, soprattutto nelle arenarie e nelle evaporiti. In certi sedimenti detritici il plagioclasio è il minerale che ospita la maggiore quantità di Ca. I livelli di calcio nelle peliti sono molto variabili; argilliti del Paleozoico inferiore di ambiente profondo hanno mostrato una concentrazione < 0,05% di CaO, mentre marne calcaree possono contenere una apprezzabile quantità di CaO e sfumare in calcari impuri.

La disponibilità di sufficienti quantità di calcio solubile nei suoli è di importanza fondamentale per la loro fertilità.

7.9.1. - *Uso*

Il calcio si presenta con un colore argentato ed è piuttosto duro, in condizioni ambientali normali reagisce con l'aria formando un mantello di nitrato, inoltre reagisce con l'acqua e brucia con una fiamma giallo-rosa formando in larga misura dei nitrati. Il calcio viene usato come agente riduttivo per la preparazione di alcuni metalli come il torio, l'uranio, zirconio, ecc. È impegnato come deossidante e decarbonizzante per la produzione di varie leghe; tra le leghe dove viene usato il calcio ricordiamo quelle con l'alluminio, berillio, rame, piombo e magnesio. Il calcio derivante dal calcare è un componente del cemento Portland; mischiato con sabbia si indurisce diventando intonaco

7.9.2. - *Ruolo Biologico*

Il calcio risulta essere un elemento essenziale per la vita, formando pareti cellulari, ossa, denti, conchiglie e foglie; inoltre è importante per la coagulazione del sangue. I sali del calcio risultano essere relativamente innocui, mentre presenta una predisposizione per il pericolo d'incendio.

7.9.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 21 mostra i valori più bassi (< 2,0 %) della concentrazione del calcio, distribuiti in tutta la zona ovest e nord dell'area in esame e nell'area di Ercolano in

corrispondenza dei suoli classificati come F4, G7 e F2 rispettivamente. I valori ($> 4,2\%$) si riscontrano nell'area della fascia costiera di Torre del Greco e a nord di quest'ultimo in suoli F2, a Torre Annunziata e a Terzigno in corrispondenza di suoli del sottogruppo F2. Mentre i valori massimi ($7,5\%$) si riscontrano solo nella zona circostante la località di Torre del Greco.

7.9.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 22 relativa all'orizzonte 50-60 cm, per grosse linee, mostra una distribuzione simile a quella dell'orizzonte 10-15 cm. I valori bassi ($< 2,24\%$) si ritrovano nell'area nord e nord-occidentale del territorio in esame, e a sud-est di Boscoreale in corrispondenza dei suoli F4, G7 e F2 rispettivamente. I valori elevati ($> 4,49\%$) si posizionano nelle aree a sud-est di Torre del Greco e nella piana delle Ginestre nei suoli F1 e F2. Altre aree con valori elevati ($> 4,49\%$) si riscontrano a Torre Annunziata, San Sebastiano ed a sud della Valle dell'Inferno in corrispondenza dei suoli F2, F4 e F1.

7.10. - COBALTO

Il cobalto è generalmente arricchito nelle rocce basiche in quanto nei primi stadi della cristallizzazione magmatica tende a sostituire Fe^{2+} e Mg^{2+} con i quali ha simile carica e raggio ionico (WEDEPOHL, 1978). Mostra proprietà calcofile e si divide tra solfuri e solfoarsenuri tra cui la linnaeite e la cobaltite; può rinvenirsi associato a pirite, arsenopirite, pirrotina e in ossidi accessori come la magnetite (URE & BERROW, 1982). Il cobalto è considerato immobile durante il metamorfismo (NICOLLET & ANDRIAMBOLOLONA, 1980).

Nelle rocce sedimentarie tende a variare insieme a Fe e Mn ed a concentrarsi nella frazione più fine. In genere arenarie e calcari hanno bassi contenuti in cobalto (< 2 ppm); arcose e grovacche hanno contenuti mediamente superiori e comunque legati all'abbondanza di minerali mafici (URE & BERROW, 1982). Concentrazioni di Co di circa 50 ppm sono comuni in marne a grana molto fine, mentre le concentrazioni medie di Co che si riscontrano nelle argilliti nere sono più basse (VINE & TOURTELOT, 1970), indicando che la complessazione organo-metallica non costituisce un importante meccanismo di arricchimento del Co nei processi sedimentari.

Nell'ambiente idrotermale si ritrova in filoni assieme a nichel, arsenico, argento e rame, come smaltite ($CoAs_2$) e cobaltite ($CoAsS$). In ambiente magmatico e vulcanico possiamo trovare una pirite ed una pirrotite cobaltifera.

La sua mobilità è considerata intermedia ed è controllata principalmente da fenomeni di adsorbimento e coprecipitazione di ferro e manganese, quindi dai fatto-

ri Eh e pH che a loro volta influenzano il comportamento di tutti gli elementi.

Per alterazione di minerali ferro magnesiaci in condizioni acide, ossidi e solfuri possono liberare cobalto bivalente (MCKENZIE, 1975).

7.10.1. - *Uso*

Il cobalto aggiunto al Ni e altri metalli forma l'alnico, una lega con proprietà magnetiche inusuali che trova impiego nell'ingegneria aeronautica nella realizzazione di turbine e generatori di turbine a gas. I sali di cobalto sono usati per la produzione di brillanti e del colore blu permanente della porcellana, bicchieri, ceramiche piastrelle e vernici. Il ^{60}Co , un isotopo artificiale, è un importante risorsa di raggi gamma, ed è molto usato come tracciante e come agente radioterapeutico.

7.10.2. - *Ruolo Biologico*

I sali di cobalto in piccole quantità sono essenziali per molte forme viventi, incluso quella umana. Il cobalto è presente nel nucleo della vitamina-B12. L'elemento metallico è infiammabile e tutti i composti del Co andrebbero trattati come tossici, sebbene molto probabilmente non siano tali. Alcuni composti del Co sono comunque considerati cancerogeni.

7.10.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 23 mostra i valori più bassi del cobalto ($< 14,9$ ppm) distribuiti lungo l'area che va da Ottaviano a Santa Anastasia in corrispondenza dei suoli denominati F4, ad ovest di San Sebastiano al Vesuvio e nell'area circostante Torre Annunziata in suoli con un'altissimo grado di urbanizzazione. I valori più elevati ($> 21,4$ ppm) si distribuiscono nell'area della valle del Inferno, a sud di essa e nell'area di Terzigno nei suoli del sottogruppo F1, F2 e F3 rispettivamente.

7.10.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 24 mostra una distribuzione delle concentrazioni molto simili a quelle riscontrate nell'orizzonte 10-15 cm. I valori elevati ($> 22,9$ ppm) vengono registrati ancora una volta nella Valle dell'Inferno e nella piana delle Ginestre nei suoli del sottogruppo F1; ad ovest di Terzigno e nell'area circostante Ottaviano in corrispondenza dei suoli F2 e F4. Infine i valori più bassi ($< 16,4$ ppm) si distribuiscono da Ottaviano fino

a Pollena Trocchia nei suoli F4, da San Sebastiano a San Giorgio, a Torre del Greco e per ultimo nelle zone circostanti la località di Torre Annunziata.

7.11. - CROMO

Il cromo è essenzialmente concentrato nelle rocce ultrabasiche (1000-3000 ppm), insieme ad elementi come magnesio e nickel, in quanto il Cr^{3+} , nei primi stadi della cristallizzazione frazionata, entra a far parte di minerali come spinelli e pirosseni. Il minerale principale del cromo è la cromite ($FeCr_2O_4$) che insieme alle magnetiti cromifere e all'ilmenite contiene la maggior parte del cromo dei magmi basaltici (WEDEPOHL, 1978). Le olivine contengono generalmente basse concentrazioni di cromo, mentre i pirosseni, gli anfiboli e le miche possono risultarne arricchiti (URE & BERROW, 1982).

Il cromo è immobile durante il metamorfismo, sia in facies granulitica che nelle facies anfibolitica e greenschist (FIELD & ELLIOT, 1974), mentre c'è evidenza di un accumulo nell'orneblenda durante fasi retrograde granulitico-anfibolitiche (BEACH & TARNEY, 1978).

Nelle rocce sedimentarie il cromo può essere presente in fasi detritiche primarie; durante l'alterazione il Cr^{3+} si comporta come il Fe^{3+} e l' Al^{3+} dando luogo a diffusi accumuli in ossidi secondari e argille. La concentrazione media del Cr nelle argilliti è di 83 ppm, mentre valori relativamente più bassi caratterizzano le arenarie (27 ppm) e i carbonati (1-16 ppm).

7.11.1. - Uso

Il cromo è impiegato per indurire l'acciaio, per forgiare acciaio puro e per formare in genere le leghe; viene anche usato nella realizzazione di superfici resistenti alla corrosione. Usato nella realizzazione di specchi per ottenere un colore verde smeraldo e per dare il colore rosso ai rubini. Il cromo è anche largamente usato come agente catalizzatore. I dicromati quali il $K_2Cr_2O_7$ sono agenti ossidanti molto usati per l'analisi quantitativa e per la conciatura delle pelli; il piombo cromato così come il cromo giallo è un pigmento. La cromite viene usata per la fabbricazione di mattoni che necessitano di un alto punto di fusione, una moderata espansione termica ed una stabile struttura cristallina.

7.11.2. - Ruolo Biologico

Il cromo è un elemento essenziale in tracce, in quanto ha un ruolo nel metabolismo del glucosio, sembra infatti che abbia effetto sull'azione dell'insulina. In ogni caso tracce più ampie dei composti del

cromo potrebbero avere un effetto altamente tossico. Cromati e dicromati (contenenti Cr VI) sono talvolta contenuti negli scarichi industriali (tintura delle pelli, produzione di apparecchiature elettriche) e sono altamente tossici per la vita acquatica. La polvere metallica del cromo è infiammabile; tutti i composti del cromo devono essere considerati come altamente tossici e potenziali agenti cancerogeni per l'organismo umano.

7.11.3. - Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)

La tavola 25 mostra una vasta zona omogenea, posizionata nell'area centrale del complesso Somma-Vesuvio, con concentrazioni (< 8 ppm) in presenza di suoli del sottogruppo F3 e F1. I valori più elevati (> 35 ppm) sono riscontrati ad ovest della località di Terzigno in presenza dei suoli F3, e nell'area della fascia costiera in località Ercolano, Torre del Greco e Torre Annunziata.

7.11.4. - Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)

La tavola 26 mostra, per quanto riguarda la distribuzione dei valori bassi, una stretta similitudine con quella dell'orizzonte superficiale, essendo questi ultimi (< 6 ppm) concentrati soprattutto nell'area centrale dell'apparato del Somma - Vesuvio. I valori più elevati (> 36 ppm) si distribuiscono ad est di Somma Vesuviana in presenza dei suoli del sottogruppo F2, e nella fascia costiera ad ovest di Torre Annunziata e a Torre del Greco.

7.12. - FERRO

Il ferro è un elemento relativamente abbondante non solo sulla terra ma nell'universo; esso si rinviene infatti, nel sole ed in molti tipi di stelle in quantità considerevoli ed è il quarto in ordine di abbondanza sulla superficie terrestre.

Il ferro è uno dei maggiori costituenti dei silicati ferromagnesiaci come olivina, pirosseni, anfiboli e biotiti. È anche abbondante sotto forma di ossidi (per es. magnetite) e sotto forma di solfuri (pirite, pirrotite ecc.). Durante i processi magmatici tende a concentrarsi durante gli stadi intermedi del frazionamento ed è solitamente più abbondante nelle rocce basiche. Il ferro, nelle rocce basiche, è immobile durante il metamorfismo di medio e alto grado (NICOLLET & ANDRIAMBOLOLONA, 1980), mentre SHERATON *et alii* (1973), BEACH & TARNEY (1978) suggeriscono l'ipotesi che il Fe possa diminuire durante

fasi metamorfiche retrograde.

Durante l'alterazione metasomatica può essere concentrato dai fluidi mineralizzanti sotto forma di ossidi (es. ematite) e sotto forma di solfuri (es. pirite). La concentrazione di Fe nelle rocce sedimentarie è influenzata da una serie di fattori, tra cui le condizioni di pH-Eh, l'entità dell'alterazione diagenetica, e la granulometria dei sedimenti. Nella maggior parte dei casi la fase più comune è rappresentata da ossidi idrati secondari di Fe, benché ossidi primari (ad es. magnetite), silicati ferromagnesiaci (anfibioli, pirosseni) e solfuri (ad es. pirrotite) possano contenerne una certa quantità. Pirite autigena (FeS_2) e siderite (FeCO_3) possono essere identificate nelle facies a grana fine (BERNER, 1970; 1981). La tendenza delle fasi idrate di Fe a formare patine superficiali di ossidi può essere attribuita ad una relazione diretta tra il contenuto totale di Fe e le superfici specifiche delle particelle sedimentarie (URE & BERROW, 1982). Le concentrazioni del ferro nelle rocce sedimentarie sono più alte nelle argilliti, negli scisti e nelle grovacche (> 6%) rispetto alle arcose (circa 3%), alle arenarie quarzoso-feldspatiche (0,5%) e alle rocce carbonatiche (circa 0,5%). Sedimenti ferrosi nei quali i minerali dominanti sono siderite, ankerite o ossidi del tipo limonite e goethite possono arrivare a concentrazioni >30% di Fe_2O_3 .

7.12.1. - *Uso*

Il metallo puro è molto reattivo chimicamente e si ossida facilmente in presenza di ossigeno e temperature elevate. Inoltre è un elemento con importanti proprietà magnetiche. La ghisa di prima fusione d'altoforno è un a lega contenente circa il 3% di C con varie quantità di S, Si, Mn, e P; essa è dura, fragile, facilmente rifondibile ed è usata per produrre altre leghe, incluso il ferro battuto contenente basse percentuali di carbonio, a sua volta, meno resistente, malleabile normalmente con una struttura fibrosa. Le leghe d'acciaio si ottengono con altri additivi come nichel, cromo, vanadio ecc. I composti del Fe sono essenziali per la vita, ad esempio ricordiamo che i suoi atomi sono presenti nell'emoglobina.

7.12.2. - *Ruolo Biologico*

Il ferro tipicamente siderofilo, appartiene agli elementi di transizione; i suoi nuclei sono molto stabili e rappresentano dei costituenti fondamentali per la vita delle piante e degli animali; esso è uno dei capisaldi dell'emoglobina, responsabile del trasporto dell'ossigeno nel sistema sanguigno. La polvere metallica è infiammabile, e i suoi composti, dovrebbero essere considerati tossici. Si sa che una deficienza in Fe provoca anemia ed

un eccesso provoca danni al fegato. Alcuni composti del Fe sono sospettati di essere cancerogeni.

7.12.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

Dalla tavola 27 si evince come i valori bassi (< 3,16 %) si posizionino in una fascia a nord del territorio in esame, estesa da Ottaviano a San Giorgio-Portici e nella zona costiera da Torre Annunziata a Torre del Greco. Le concentrazioni più elevate (> 4,27%) le ritroviamo nell'area di Terzigno in corrispondenza dei suoli F2; nell'area di San Giuseppe Vesuviano e nella Valle dell'Inferno in presenza di suoli del tipo F4 e F1.

7.12.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 28 mostra che i valori bassi (< 3,5 %) si distribuiscono in una fascia che va da Somma Vesuviana fino a San Giorgio a Cremano in presenza di suoli del sottogruppo F4; e nella fascia costiera tra Torre Annunziata e Torre del Greco in corrispondenza di suoli del sottogruppo F2 e F4. I valori elevati (> 4,47 %) si manifestano nell'area a sud del Cono del Vesuvio e nella località Piana delle Ginestre in presenza di suoli del tipo F1, e ad ovest di Terzigno nei suoli denominati F2.

7.13. - FOSFORO

Il fosforo è un elemento non metallico, litofilo, con una mobilità medio-bassa limitata dalla solubilità dei fosfati di calcio; la fosforite e l'apatite sono i suoi minerali principali. Associato ad elementi quali Terre Rare e niobio è presente in rocce alcaline e con l'uranio in fosforiti sedimentarie. Queste ultime possono avere un contenuto di fosforo che raggiunge valori superiori al 30% in P_2O_5 . Il fosforo elementare non si trova libero in natura perché si ossida immediatamente in fosfato e brucia spontaneamente all'aria. Il più comune minerale del fosforo, l'apatite, si ritrova associata in filoni nelle rocce alcaline. Esistono 16 differenti isotopi del fosforo ma il 100% di tutto il fosforo stabile è composto da ^{31}P , ^{32}P e ^{33}P .

7.13.1. - *Uso*

I suoi minerali esistono in numerose forme allotropiche tra cui quella bianca, viola, rossa e gialla, ma la forma ordinaria in cui si rinviene è quella di un solido bianco-cereo, che risulta insolubile in acqua e brucia spontaneamente all'aria. È utilizzato nella manifattura

tura di fiammiferi, nei fuochi pirotecnici, nelle bombe fumogene, nei proiettili traccianti, come fertilizzante e come pesticida; il suo fosfato di calcio, mescolato ad altri composti, trova impiego nella produzione di porcellane. I fosfati sono usati nella produzione di vetri speciali quali quelli usati per le lampadine al Na^{2+} . Il fosfato di sodio (Na_3PO_4) è usato come agente sgrassante e come addolcente per le acque per prevenire la corrosione di caldaie e condotti.

7.13.2. - *Ruolo Biologico*

Il fosforo è un macronutriente essenziale per la vita e si trova nei tessuti nervosi, nelle ossa, nei denti e, nel protoplasma cellulare. È un componente chiave del DNA e del RNA. Il fosforo è molto tossico, la sua forma bianca molto più di quella rossa. Le persone che lavorano con il fosforo bianco senza protezione contraggono un avvelenamento cronico che porta alla necrosi delle mascelle. I fosfati inorganici sono relativamente innocui, bisogna però ricordare che tutti producono contaminazione ed in particolare i fertilizzanti ed i detersivi che li contengono.

7.13.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 29 mostra i valori bassi (< 0,23 %) raggruppati in modo particolare nell'area che va da Somma Vesuviana fino a Pollena Trocchia e nella zona tra il Monte Somma e San Giuseppe Vesuviano nei suoli del sottogruppo F3; nell'area della Piana delle Ginestre in presenza dei suoli del sottogruppo F1. I valori elevati (> 0,58 %), si rilevano in località di Torre Annunziata in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F2. I valori pari a 0,45 % li ritroviamo ad ovest e a nord di Terzigno e a S. Giuseppe Vesuviano in corrispondenza dei suoli F3.

7.13.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 30 mostra che le differenze esistenti tra la distribuzione delle concentrazioni nell'orizzonte profondo e in quello superficiale sono minime. I valori bassi (< 0,19 %) si distribuiscono in un'area che va da Somma Vesuviana fino a Pollena Trocchia nei suoli del sottogruppo F3, in località Cercola in suoli ad elevata urbanizzazione e inoltre nell'area della Piana delle Ginestre in presenza dei suoli del sottogruppo F1. I valori elevati (> 0,34 %) li ritroviamo ancora una volta nel territorio di Torre Annunziata interessando i suoli del sottogruppo F2 in particolare, e a S. Giuseppe Vesuviano in presenza di suoli del sottogruppo F3.

7.14. - LANTANIO

Il lantanio fa parte delle Terre Rare leggere; lo ione La^{3+} , come il cerio, si concentra in minerali accessori quali monazite e allanite. Entrambi hanno affinità per le rocce ignee molto acide; in rocce ultrabasiche le concentrazioni sono molto basse (< 10 ppm). Il comportamento del lantanio durante il metamorfismo non è ben conosciuto. Ci sono buone evidenze che il lantanio, come la maggior parte delle Terre Rare, possa essere trasportato in soluzioni idrotermali di tipo alcalino (KOSTERIN, 1959).

Nelle rocce sedimentarie il lantanio è trattenuto principalmente nei minerali resistenti all'alterazione come la monazite dalla quale viene rilasciato molto lentamente. Il lantanio è contenuto anche in minerali come l'apatite e la biotite dai quali, in condizioni di basso pH, viene lisciviato abbastanza rapidamente (RONOV *et alii*, 1974). Le arenarie quarzitiche hanno tipicamente concentrazioni di lantanio molto basse (~ 20 ppm) in confronto alle argilliti o alle grovacche (~ 50 ppm).

Nei calcari il lantanio è per lo più associato alle impurità clastiche di piccole dimensioni, anche se è stata anche osservata la precipitazione diretta di La nei carbonati (WEDEPOHL, 1978). Un arricchimento diagenetico in La e altre Terre Rare è largamente associato a ossidi idrati in lateriti, bauxiti e minerali di ferro oolitici (URE & BERROW, 1982).

7.14.1. - *Uso*

Il lantanio si presenta di colore bianco argenteo, è duttile, malleabile e soffice abbastanza da essere tagliato con un coltello, tra gli elementi delle Terre Rare e tra i più reattivi. Si ossida rapidamente se esposto all'aria; l'acqua fredda lo attacca lentamente, mentre l'acqua calda molto più rapidamente. Il lantanio reagisce con elementi quale il carbonio, il boro, il selenio, il silicio, il fosforo, lo zolfo ed alogeni. I suoi composti sono molto rari da rinvenire. Il lantanio è molto impiegato nell'industria del cinema sia per le luci degli studi che nelle proiezioni e nella generazione di flash al carbonio. Il ^{203}La migliora la resistenza alcalina del vetro, ed è usato per la formazione di speciali lenti ottiche; piccole quantità sono usate come additivo nella produzione di ghisa.

7.14.2. - *Ruolo Biologico*

Il lantanio non ha alcuna valenza biologica; tutti i composti del lantanio sono segnalati come altamente tossici anche se sembra che il pericolo sia limitato. I sali di lantanio, se ingeriti, possono danneggiare gravemente il fegato, inoltre presentano un'elevata pericolosità di incendio ed esplosione.

7.14.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

Come si può osservare dalla tavola 31 aree ben definite con valori elevati (> 47 ppm) sono individuate a Terzigno, San Giorgio e tra Somma Vesuviana e Sant Anastasia e a Portici in corrispondenza dei suoli F2, F3 e F4. I valori bassi (< 38 ppm) si manifestano a nord-est di Ottaviano, ad ovest di Terzigno, a Torre Annunziata e nella Piana delle Ginestre fino al cono del Vesuvio in suoli dei sottogruppi F1, F2 e F4.

7.14.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 32 ci mostra come le basse concentrazioni (< 38 ppm) si distribuiscono in un'area del territorio in esame che va dal cono del Vesuvio fino alla fascia costiera tra Ercolano e Torre del Greco in corrispondenza dei suoli F1 e F2. I valori elevati (> 52 ppm) si registrano in una fascia estesa da ovest di Ottaviano fino a San Sebastiano al Vesuvio.

7.15. - MAGNESIO

Il magnesio è l'ottavo elemento più abbondante della crosta terrestre; esso non viene mai ritrovato in forma elementare. Durante i processi magmatici il magnesio si concentra nelle fasi di prima cristallizzazione come olivina e pirosseno. In condizioni di alta fugacità di O_2 e in presenza di H_2O viene ripartito anche tra anfibolo e mica. Le concentrazioni di MgO nelle rocce basiche ($\sim 4,5\%$) e ultrabasiche ($\sim 6\%$) sono di gran lunga superiori a quelle delle rocce ignee acide ($< 1\%$). Durante il metamorfismo il magnesio può essere mobilizzato in maniera significativa solo quando litologie calcaree sono interessate da metamorfismo in facies di greenschist o da metamorfismo di contatto con formazione di dolomite, calcite magnesiacca, magnesite, periclasi e talco (WEDEPOHL, 1978).

Nelle rocce sedimentarie Mg è contenuto in minerali come ankerite, dolomite, clorite e glauconite. È un comune costituente dei sedimenti arenacei, anche se la maggiore concentrazione di Mg si osserva nelle rocce argillose (USDOWSKI, 1970), particolarmente in quelle con alto contenuto di clorite o mica. Nei calcari il contenuto di MgO dipende dal grado di dolomitizzazione, la sostituzione del calcio da parte del magnesio comunque è molto diffusa.

7.15.1. - *Uso*

Il magnesio si annerisce debolmente all'aria, e si divide finemente incendiandosi a contatto con l'aria, pro-

ducendo una lucente fiamma bianca. Normalmente il magnesio è coperto da uno strato di ossido MgO il quale protegge il magnesio dall'attacco sia dell'aria che dell'acqua. Il magnesio viene largamente utilizzato per la produzione dei fuochi di segnalazione e di artificio, delle bombe incendiarie, nei flash delle macchine fotografiche, essendo più luminoso dell'alluminio; inoltre è usato nell'industria aerospaziale come rivestimento dei motori e nella costruzione dei missili; aggiunto in proporzione del 5% migliora le proprietà meccaniche. È usato inoltre anche come agente riducente per la produzione di uranio. L'ossido di magnesio è refrattario ed è usato nelle fornaci per i mattoni, nei computer per le frequenze radio protette.

7.15.2. - *Ruolo Biologico*

Il magnesio riveste un ruolo molto importante nella dieta umana essenzialmente nel buon funzionamento di alcuni enzimi. È un elemento importante per le piante, in particolare, per la clorofilla responsabile del colore verde delle piante. Il fabbisogno giornaliero di magnesio in un adulto è di 0,3 gr/giorno. L'idrossido, il cloruro, il solfato ed il citrato sono ampiamente usati nel campo medico. Il magnesio è a forte rischio di incendio; i suoi composti non sono particolarmente tossici.

7.15.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 33 mostra come il magnesio presenta una distribuzione molto puntuale con aree ristrette e ben distinte, dove i valori elevati ($> 1,07\%$) si evidenziano nell'area di Terzigno, nella Valle dell'Inferno in presenza di suoli del sottogruppo F2 e F4; nell'area di Somma Vesuviana e a Torre del Greco in suoli urbanizzati. I valori bassi ($< 0,77\%$) si riscontrano a nord-est di Ottaviano in corrispondenza dei suoli del sottogruppo G7 e F4, a San Giorgio a Cremano, nell'area del comune di Ercolano e ad est di Torre Annunziata.

7.15.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 34 mostra che i valori bassi ($< 0,82\%$) si distribuiscono nell'area ad est di Torre Annunziata, a San Giuseppe Vesuviano, ad nord-est e a sud ovest di Ottaviano e a nord di Cercola in corrispondenza di suoli con un'urbanizzazione molto spinta. I valori elevati ($> 1,14\%$) si hanno nella valle dell'Inferno e nella Piana delle Ginestre in presenza di suoli del tipo F1, a Pollena Troccia, a San Sebastiano sul Vesuvio e a Torre del Greco in suoli del sottogruppo F2.

7.16. - MANGANESE

Durante i processi magmatici (a bassa fugacità di O_2) il Mn è presente sotto forma di ione bivalente (Mn^{2+}) e facilmente si sostituisce a Fe^{2+} e Mg^{2+} (URE & BERROW, 1982). Nelle rocce magmatiche il manganese è ripartito tra i silicati ferromagnesiaci e ossidi di Fe-Ti per cui è arricchito nelle rocce basiche (~ 1300 ppm) e nelle rocce ultrabasiche (~ 1000 ppm) in confronto a quelle acide (~ 350 ppm). Esiste una stretta correlazione tra il manganese e il ferro ferroso nella maggior parte delle rocce ignee, nelle quali il rapporto Fe/Mn si mantiene sempre nell'intervallo 0,015-0,02. Il manganese è immobile durante il metamorfismo regionale progrado e il metamorfismo di contatto (WEDEPOHL, 1978; NICOLLET & ADRIAMBOLOLONA, 1980), ma può essere ridistribuito in modo consistente durante facies retrograde granulitico-anfibolitiche (TOBSCHALL, 1971; BEACH & TARNEY, 1978). Il manganese può essere rimobilizzato da attività idrotermale o da fenomeni di metasomatismo regionale (SENIOR & LEAKE, 1978).

Nelle rocce sedimentarie il contenuto di manganese è controllato sia dalla geochimica della sorgente che dalle condizioni di ossido-riduzione dell'ambiente deposizionale (WEDEPOHL, 1978). L'apporto di manganese è dovuto ai detriti di silicati mafici, a magnetite e ilmenite e in larga parte a ossidi secondari di Mn^{4+} che formano concrezioni o pellicole sia sui minerali primari che su frammenti litici.

Le argilliti e le grovacche sono generalmente arricchite in manganese (~ 700 ppm) rispetto alle quarziti e alle arenarie (~ 170 ppm). Alcuni sedimenti a grana fine possono risultare ulteriormente arricchiti per la presenza di noduli ferro-manganesiferi di origine diagenetica o di concrezioni pisolitiche. Le rocce carbonatiche, in particolare le dolomiti, possono contenere alte concentrazioni di manganese (~ 550 ppm).

Il manganese tetravalente agisce come ricettore di elettroni nel primo stadio della decomposizione anaerobica della materia organica. Come risultato si ha la rapida riduzione di Mn^{4+} a Mn^{2+} che è molto solubile in ambienti con Eh inferiore a ca 0,8V (con valori di pH di ~ 5,5).

7.16.1. - *Uso*

L'elemento presenta un colore metallico grigio-bianco, simile al ferro, ma è più duro e molto fragile. È un metallo chimicamente reattivo che si decompone lentamente in acqua calda. Il manganese riveste un ruolo molto importante nella realizzazione delle leghe con Al e Sb, e specialmente con il Cu, formando leghe con elevate proprietà ferromagnetiche, queste ultime acquisite solo dopo speciali trattamenti. L'uso del manganese nella realizzazione degli acciai ne migliora la qualità, la robustezza, la durezza, la rigidità, la resistenza all'acqua

e la compattezza. Il biossido di manganese è usato per la preparazione di O_2 . La pirolusite è usata come depolarizzatore in celle asciutte per la decolorazione dei vetri dal colore verde, dovuto all'impurità del ferro. Il manganese è responsabile del colore naturale delle ametiste ed è impiegato per conferire questo colore ai vetri.

7.16.2. - *Ruolo Biologico*

I composti del manganese sono essenziali per la vita essendo fondamentali per il funzionamento di alcuni enzimi. I suoli con deficienza di manganese producono infertilità e malformazioni ossee negli animali da pascolo; questo elemento è molto diffuso nel regno animale risultando essenziale per l'utilizzo della vitamina B. Il permanganato è un potente agente ossidante ed è usato per le analisi quantitative in medicina. La polvere metallica del manganese è fortemente infiammabile; tutti i composti sono considerati altamente tossici perché cancerogeni.

7.16.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 35 mostra che i valori bassi (< 705 ppm) si distribuiscono in modo particolare in un'area che va da San Giorgio a Cremano fino a Torre del Greco interessando anche Ercolano e San Sebastiano al Vesuvio; altri minimi si riscontrano ad Ottaviano in presenza esclusivamente di suoli sottoposti ad un'elevato grado di urbanizzazione. I valori elevati (> 901 ppm) li ritroviamo nell'area di Terzigno in corrispondenza dei suoli F4, nell'area di San Giuseppe Vesuviano, e lungo una direttrice che si estende dalla parte sud di Ottaviano fino alla Piana delle Ginestre passando per la Valle dell'Inferno, interessando i suoli del sottogruppo F4, F3 e F1.

7.16.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 36 mostra una distribuzione delle concentrazioni alquanto puntuale su tutta l'area del territorio in esame. I valori elevati (> 921 ppm) li ritroviamo nell'area di Pompei in presenza di suoli del sottogruppo F2 e G7, nella Valle dell'Inferno, nella Piana delle Ginestre, ad ovest di Terzigno, San Giuseppe Vesuviano e a monte di San Sebastiano al Vesuvio, in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F1, F2, F4 e F3. I valori bassi (< 770 ppm) si distribuiscono nell'area di Torre del Greco, Ercolano, San Giorgio a Cremano e a Pollena Trocchia, in presenza di suoli con un'elevato grado di urbanizzazione.

7.17. - MERCURIO

Il mercurio è l'unico elemento metallico liquido a temperatura e pressioni ambientali; spesso viene anche chiamato "argento vivo". Raramente si trova libero in natura ma maggiormente sotto forma del minerale grezzo cinabro (HgS). Il mercurio presenta 7 isotopi stabili ^{195}Hg , ^{198}Hg , ^{199}Hg , ^{200}Hg , ^{201}Hg , ^{202}Hg , ^{204}Hg e solo tre stati di ossidazione (0-I-II). Lo ione Hg^{2+} è polarizzabile e comportandosi come un acido debole si associa fortemente con una base debole, formando complessi sia con composti organici che inorganici; i primi sono essenzialmente covalenti eccetto quando gruppi mercurio-organici formano sali con F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} . Tutti i depositi di mercurio sono formati da soluzioni idrotermali a bassa temperatura, ritrovandosi in qualsiasi tipo di roccia che si fratturi in modo da permettere l'ingresso delle soluzioni idrotermali. Le zone più ricche in mercurio sono riscontrate lungo i margini attivi di zolle litosferiche (subduzione).

7.17.1. - *Uso*

Il mercurio è un liquido pesante di colore bianco argenteo, ed è un cattivo conduttore di calore se paragonato con gli altri metalli, ma è un buon conduttore di elettricità. Si lega facilmente con molti metalli come oro, argento e stagno realizzando delle leghe (amalgama). La sua elevata capacità nell'amalgamarsi con l'oro, lo rende estremamente utile nell'estrazione dell'oro dalla sua forma grezza.

I più importanti sali del mercurio sono il cloruro di mercurio (HgCl_2) estremamente corrosivo e un potente veleno, e il cloruro mercurioso (Hg_2Cl_2) usato raramente in campo medico. Il fulminato di mercurio $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ viene usato come detonatore per gli esplosivi, mentre il solfuro di mercurio HgS, di colore vermiglio è un ottimo pigmento per le pitture ad alta intensità. Il mercurio è molto usato per la fabbricazione di termometri, barometri, interruttori elettrici e molti altri strumenti. Viene anche usato come elettrodo in alcuni tipi di elettrolisi nella fabbricazione di batterie. Il mercurio gassoso è usato nelle lampade a vapore e nelle insegne luminose. Inoltre è utilizzato nei processi industriali per la produzione di soda caustica, pesticidi e pitture antivegetative.

7.17.2. - *Ruolo Biologico*

Il mercurio non svolge un ruolo biologico, non è molto diffuso nella biosfera, ed è totalmente assente nella nostra dieta. È un veleno mortale, viene assorbito dal tratto respiratorio, dal tratto gastrointestinale e attraverso la pelle. I composti organici del mercurio sono

particolarmente tossici, in modo particolare il metil di mercurio. Il mercurio intacca il sistema nervoso centrale ed ha effetti negativi su bocca, gengive e denti; alte esposizioni al mercurio portano alla morte sicura. La cosiddetta *malattia di Minamata* è stata descritta in Giappone come una crescente neuropatia dovuta al consumo di pesce contenente elevati livelli di metilmercurio.

7.17.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 37 mostra che il 25 % dei dati risulta al di sotto del limite di rilevabilità strumentale, di conseguenza nel rappresentare i valori delle concentrazioni, sono stati individuati solo sette intervalli a partire dal percentile 25. La gran parte del territorio cartografato mostra valori inferiori a 0,5 ppm, eccezione fatta per i valori elevati (> 2 ppm) dei Cognoli di Ottaviano, di Pompei, Cercola, e Ercolano, in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F1 e F3.

7.17.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 38 evidenzia come il 25 % dei dati presenta valori < 0,5 ppm, interessando gran parte dei suoli presenti nell'area di studio. I valori elevati (> 2,0 ppm) si individuano, nell'area di Pollena Trocchia e San Sebastiano al Vesuvio in presenza dei suoli dei sottogruppi G7 e F4. Altre aree con elevati valori si registrano ad ovest di Terzigno e in altre aree disseminate su tutta l'area in esame.

7.18. - MOLIBDENO

Il molibdeno è un elemento metallico siderofilo, che fa parte del gruppo degli elementi di transizione. È scarsamente incorporato nei silicati più diffusi; si rinviene principalmente in fasi accessorie come lo sfene, la titanomagnetite e in minerali del wolframio. È un elemento fortemente calcofilo e frequentemente appare sotto forma di solfuro, la molibdenite (MoS_2), sia in pegmatiti che in sistemi mineralizzati a rame e molibdeno di "tipo porfirico". È anche incorporato, particolarmente durante il metamorfismo, in solfuri molto diffusi come la pirite, la galena e la sfalerite (URE & BERROW, 1982). L'abbondanza media del molibdeno nelle rocce acide è 1,5 ppm (VINOGRADOV, 1962), mentre nelle rocce basiche è di 1 ppm (KRAUSKOPF, 1967). Il molibdeno può accumularsi in concentrazioni economicamente utili sottoforma di mineralizzazioni durante i processi di metamorfismo (WEDEPOHL, 1978). Nei sedimenti, il molibdeno tende a seguire il rame e, come quest'ultimo, è ugualmente

fortemente complessato dal materiale organico. Le argilliti nere infatti ne risultano arricchite (più di 70 ppm) rispetto a rocce quarzoso-felspatiche e a rocce carbonatiche con valori compresi tra 0,5 e 2 ppm (URE & BERROW, 1982). La molibdenite è rapidamente lisciviata nell'acqua, e in condizioni di alto Eh e pH il molibdeno forma complessi molibdenati solubili che, in ambiente acido, coprecipitano con ossidi idrati secondari di ferro, alluminio e manganese. Può anche venire immobilizzato in solfuri di Fe in condizioni non ossidanti ed è fortemente complessato dal materiale organico. Contrariamente a molti altri elementi, il molibdeno è più mobile in condizioni alcaline e ossidanti che non in condizioni acide e riducenti.

7.18.1. - *Uso*

Il molibdeno viene utilizzato nelle leghe perché contribuisce a dare durezza e spessore agli acciai temperati; tutte le leghe d'acciaio contengono molibdeno in quantità che variano tra lo 0,25 % e l'8 %. Il molibdeno è utilizzato per la realizzazione di parti aeronautiche, di missili e nel campo dell'energia nucleare; nella raffinazione del petrolio trova impiego come catalizzatore nei processi chimici. Migliora la consistenza dei rivestimenti dei fili elettrici alle alte temperature; infine è un buon conduttore di calore ed elettricità.

7.18.2. - *Ruolo Biologico*

Il molibdeno è un elemento vitale per molte piante, ma alti livelli possono indurre deficienze di rame negli animali, di conseguenza le concentrazioni di molibdeno nell'ambiente rivestono un interesse considerevole. È presente in piccole quantità nell'uomo benché non sono noti quali siano i sintomi che l'eccesso o la deficienza di molibdeno possa causare nell'uomo.

7.18.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 39 ci mostra come i valori elevati (> 2,9 ppm) siano ben raggruppati in due distinte aree: la prima, quella con una dimensione areale maggiore, si estende da nord est di Ottaviano, in concomitanza dei suoli del sottogruppo G7 e F4, fino alla Valle dell'Inferno, in presenza dei suoli denominati F3 e F4; la seconda è individuata nell'area di S. Giorgio – Portici. Inoltre la fascia costiera fra Torre del Greco e Torre Annunziata presenta concentrazioni con valori tra 2,9 e 3,0 ppm su suoli del sottogruppo F4. I valori bassi (< 1,3 ppm) si distribuiscono a nord di Cercola e Pollena Trocchia in presenza di suoli F4 e G7, nell'a-

rea Torre del Greco, Torre Annunziata, Pompei e tra la Piana delle Ginestre e il Cono del Vesuvio e Torre Annunziata.

7.18.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

Dalla tavola 40 si rileva che i valori bassi (< 1,9 ppm) si distribuiscono sul settore nord-occidentale dell'area in esame: aree di Ottaviano e a nord est di quest'ultima in presenza di suoli del sottogruppo G7 e F4; area di Pollena Trocchia – Monte Somma; Piana delle Ginestre in corrispondenza dei suoli denominati F1 e F4. I valori elevati (> 3,6 ppm) li ritroviamo nella valle dell'Inferno, tra Piana delle Ginestre e Torre Annunziata, tra il Cono del Vesuvio e il Monte Somma, fra Portici e San Giorgio a Cremano, e a Somma Vesuviana, dove sono presenti suoli del tipo F1, F3 e F4, rispettivamente.

7.19. - NICKEL

Nelle rocce magmatiche il Ni²⁺ è contenuto principalmente in minerali ferromagnesiaci come olivina (3000 ppm), ortopirosseni e spinelli dal momento che, durante il frazionamento, per le sue dimensioni, può sostituire sia Mg²⁺ che Fe²⁺. L'abbondanza di nichel nelle rocce ignee, tuttavia, è generalmente correlata con magnesio, cromo e cobalto. Il nichel ha anche proprietà calcofile; si trova infatti in apprezzabili quantità, in solfuri come la pirite e la calcopirite, inoltre è spesso ben correlato a rocce ricche in solfuri di rame (WEDEPOHL, 1978). Il nickel mostra una limitata mobilità durante le fasi idrotermali di bassa temperatura, nonché nel metamorfismo di alto e basso grado (EADE & FAHRIG, 1973) e nel metamorfismo di tipo retrogrado (BEACH & TARNEY, 1978). Nelle rocce sedimentarie il Ni è contenuto soprattutto nei silicati ferro-magnesiaci, in ossidi primari di Fe, in ossidi idrati di Fe e Mn e nei minerali delle argille. È maggiormente concentrato nelle argilliti (> 90 ppm) rispetto alle grovacche (~40 ppm) e ai calcari (< 5 ppm). In ambiente tropicale, per la sua resistenza al dilavamento, si arricchisce nelle lateriti (URE & BERROW, 1982).

7.19.1. - *Uso*

Il nickel è un metallo con un colore bianco argento molto brillante. È duro, malleabile, duttile, qualche volta magnetico, e buon conduttore di calore ed elettricità. Viene utilizzato in molteplici leghe per conferire loro una certa resistenza alla corrosione, viene ad esempio utilizzato nelle stazioni di desalinizzazione delle acque

marine. Il nickel aggiunto al vetro gli conferisce il classico colore verde, inoltre è un composto fondamentale per la realizzazione delle batterie e trova impiego anche come metallo nella coniazione di monete. Il nickel è impiegato come catalizzatore per idrogenare gli oli vegetali, mentre il carbonato di nichel NiCO_3 , un composto volatile, è estremamente tossico.

7.19.2. - *Ruolo Biologico*

A riguardo del suo ruolo biologico si può affermare che è un costituente fondamentale di alcune specie vegetali che sono capaci di accumularlo e sono utilizzate come specie indicatrici di alte concentrazioni di questo elemento. Gli enzimi conosciuti come idrogenasi in alcuni batteri contengono nickel. Si pensa che un eccesso di questo metallo provochi effetti cancerogeni.

7.19.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 41 mostra che i valori elevati (> 184 ppm) si rilevano nell'area dei Cognoli di Ottaviano in presenza di suoli del sottogruppo F1; nelle aree di Ercolano e Torre del Greco in corrispondenza di suoli con un'elevato grado di urbanizzazione. I valori bassi ($< 14,8$ ppm) si distribuiscono lungo una fascia, allungata da SO a NE, da est di Somma Vesuviana alla Piana delle Ginestre, ad ovest di Terzigno, a Boscoreale, nella zona di S. Sebastiano al Vesuvio in suoli dei sottogruppi F1, F2, F3 e F4.

7.19.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 42 mostra che i valori elevati (> 128 ppm) del nichel sono distribuiti nella Valle dell'Inferno nei suoli del sottogruppo F1, ad ovest di Terzigno e di San Giuseppe Vesuviana, in corrispondenza dei suoli F2 e F3. I valori bassi ($< 15,8$ ppm) si rilevano nell'area di Piana delle Ginestre - Colle Umberto, a sud di Somma Vesuviana nei suoli del sottogruppo F1 e F3, e a nord di Cercola nei suoli G7.

7.20. - ORO

L'oro è chimicamente inerte e si ritrova quasi sempre in forma nativa, ma è possibile ritrovarlo unito con argento e rame, con impurità di altri elementi metallici come palladio, ferro, nichel, bismuto e piombo. Le leghe di oro e argento sono molto comuni con delle combinazioni composizionali tipiche che vanno dal

5% al 50% di argento. La concentrazione media nella crosta terrestre è dell'ordine di 5 ppb. I depositi di oro si dividono in due tipologie: la prima è del tipo filoniano con quarzo e quarzo-carbonato, mentre la seconda è del tipo sedimentario. Molti dei depositi esistenti in America del Sud sono formati da attività idrotermale a basse profondità (al di sotto di 1 km dalla superficie terrestre) e a temperature relativamente basse dell'ordine di 50 - 200 °C. I filoni si formano dalla circolazione di acque meteoriche, le quali circolando vicino a corpi magmatici si riscaldano e lisciviano i metalli preziosi come oro e argento dalle rocce ospiti o da corpi magmatici, depositando in fratture il carico di metalli da esse trasportato.

7.20.1. - *Uso*

L'oro è utilizzato nelle leghe per i gioielli in quanto dona ad essi una maggiore resistenza; ed il termine carato indica l'ammontare dell'oro presente (24 carati è oro puro). Il suo colore è giallo, ma quando è finemente raffinato può essere nero, porpora e rossobruno. L'oro è il metallo più duttile e malleabile esistente, è un buon conduttore di calore e di elettricità non è attaccabile dall'aria e da molti reagenti. L'oro viene comunemente usato per la realizzazione di monete, gioielli, decorazioni, ortodonzia, placcature e per ricoprire i satelliti spaziali. L'acido cloroaurico HAuCl_4 è usato in campo fotografico per lo sviluppo. L'isotopo ^{198}Au viene utilizzato per i trattamenti del cancro. Va specificato che la metodologia analitica impiegata (ICP-AES) non è la più adatta possibile, in quanto ha limiti di rilevabilità strumentale troppo elevati (2 ppm), e comunque l'Au non è certo elemento che viene analizzato di routine nelle indagini ambientali.

7.20.2. - *Ruolo Biologico*

L'oro non presenta nessun ruolo biologico, ma è la base di molti farmaci, e viene usato per il trattamento delle artriti reumatoidi. I composti dell'oro non sono particolarmente tossici e anche l'assorbimento da parte del corpo umano è molto difficoltosa. Più del 50 % dei pazienti artritici trattati con farmaci contenenti oro mostrano effetti tossici che possono portare danni al fegato ed al rene.

7.20.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 43 mostra che la maggior parte dei dati risulta al di sotto del limite di rilevabilità strumentale, di conseguenza, nel rappresentare i valori delle con-

centrazioni, sono stati individuati solo cinque intervalli a partire dal percentile 75. La quasi totalità del territorio cartografato mostra valori inferiori a 1,0 ppm, con alcuni campioni con valori > 4 ppm. Questi ultimi valori assumono particolare rilevanza in ragione del fatto che concentrazioni > 1 ppm sono considerate di grande interesse nella ricerca mineraria. Le aree anomale individuate sono ubicate lungo due direttrici parallele, allungate da sud-est a nord-ovest. La prima si estende da nord-ovest di Terzigno a Somma Vesuviana; la seconda dal bordo sud-est del Monte Somma fino al territorio di Cercola. Questa distribuzione fa pensare all'esistenza di fratture lungo le quali si ha risalita di fluidi idrotermali, che notoriamente nei sistemi vulcanici sono apportatori di mineralizzazioni epitermali aurifere. Un'altra area con valori elevati si riscontra lungo la costa ad ovest di Torre Annunziata.

7.20.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 44 mostra che il 75 % dei dati presenta valori < 1.0 ppm, interessando tutti i suoli presenti nell'area di studio. I valori > 1,0 ppm si individuano nell'area di Sant'Anastasia e Cercola in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F4 e G7, a Somma Vesuviana, a nord di San Giuseppe Vesuviano e a nord di Torre Annunziata in presenza di suoli del sottogruppo FF4, G7 e F2 rispettivamente.

7.21. - PIOMBO

Lo ione Pb^{2+} presenta delle affinità con K^+ e Ca^{2+} per cui è principalmente contenuto nei K-feldspati, nelle miche e, in maniera più ridotta, nei plagioclasti e nell'apatite. Di conseguenza è più arricchito nelle rocce ignee acide che in quelle basiche. Il piombo è mobile negli ultimi stadi dei processi magmatici (MACDONALD *et alii*, 1973) ed è fortemente calcofilo. È molto diffuso sotto forma di solfuro (es. galena) in filoni idrotermali. Può venire disperso durante il metamorfismo di basso grado (GEBAUER & GRUNENFELDER, 1977) e nelle granuliti (SIGHINOLFI & GORGONI, 1978). Nelle rocce sedimentarie la distribuzione del piombo è controllata dalla presenza di minerali detritici primari (come feldspati, miche e solfuri), di minerali argillosi (HEINRICH, 1974) e di materia organica. I calcari puri (~5 ppm) e le arenarie quarzose (~10 ppm) ne contengono tipicamente meno delle argilliti e delle grovacche (~23 ppm). Le rocce sedimentarie con le più alte concentrazioni di piombo sono le argilliti nere, in conseguenza della forte affinità di questo elemento con la materia organica.

7.21.1. - *Uso*

Il metallo ha una lucentezza brillante ed è morbido, molto malleabile, duttile e cattivo conduttore di elettricità. Il piombo è resistente alla corrosione, ma si ossida se esposto all'aria. I suoi isotopi sono i prodotti finali delle tre serie radioattive naturali. Il metallo ed il biossido sono utilizzati nelle batterie, nella copertura di cavi, nelle vernici e per realizzare impianti di assorbimento acustico. Era utilizzato anche nelle tubazioni, ma a causa della sua tossicità l'uso si è notevolmente ridotto, non solo in questa, ma in tutte quelle applicazioni, che possono potenzialmente intossicare l'uomo e l'ambiente. Negli ultimi anni si è cercato di ridurre il contenuto di questo elemento anche nei petroli. Il piombo viene anche usato per la produzione di contenitori di liquidi corrosivi, per creare leghe e per la produzione di lastre protettive protezione contro i raggi X.

7.21.2. - *Ruolo Biologico*

L'ingestione e l'inalazione di piombo risultano tossiche, benché la maggior parte di piombo ingerito passi per il nostro corpo senza essere assorbito. Il piombo tetraetile, contenuto nei gasoli, è il maggior responsabile dell'immissione di questo elemento nella biosfera. Il piombo è un veleno cumulativo e genera malattie professionali, intacca l'intestino, il sistema centrale nervoso e provoca anemia.

7.21.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 45 mostra che i valori elevati (> 243 ppm) si concentrano in un'unica area allungata in senso nord-sud dai Cognoli di Ottaviano fino a nord di Boscotrecase nei suoli del sottogruppo F3 e F1. Valori elevati li ritroviamo a Portici in suoli ad elevata urbanizzazione, a nord di Ottaviano nei suoli F3, e a Torre Annunziata in presenza dei suoli del sottogruppo F2. I valori bassi (< 29 ppm) si manifestano tra Somma Vesuviana e Sant'Anastasia nei suoli del sottogruppo F3, nella Piana delle Ginestre in corrispondenza dei suoli F1 e nell'area di Cercola.

7.21.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 46 indica che i valori elevati (> 619 ppm) si raggruppano in un'unica area localizzata a nord di Boscoreale in presenza di suoli del sottogruppo F2. I valori compresi tra 189 ppm e 619 ppm si riscontrano

a nord di Ottaviano in suoli del tipo F3, ad ovest di Terzigno in presenza di suoli del tipo F2, nei Cognoli di Ottaviano in suoli del sottogruppo F1 e F3 e nella zona costiera di Ercolano in corrispondenza di suoli altamente urbanizzati. Infine i valori bassi (< 26 ppm) si ritrovano in una vasta area che si estende dal Cono Vesuviano fino alla parte bassa della Piana delle Ginestre in suoli denominati F1 e F2, a Sant'Anastasia in suoli del tipo F4, a San Sebastiano al Vesuvio in suoli del sottogruppo F4 e F3 e nell'area di Terzigno in corrispondenza di suoli fortemente urbanizzati.

7.22. - POTASSIO

Il potassio è il settimo elemento per abbondanza nella crosta terrestre e ne forma circa l'1,5% in peso. È un elemento alcalino con una mobilità geochemica elevata ed è uno dei maggiori costituenti di molti minerali, principalmente dei K-feldspati e delle miche. Nel magma, a causa del suo grande raggio ionico, si concentra nei prodotti più differenziati per cui si arricchisce nelle rocce acide, in particolare nei graniti e nelle pegmatiti.

È trasportato facilmente dalle soluzioni idrotermali. Le rocce metamorfiche di grado medio-basso mostrano concentrazioni di K simili a quelle delle litologie da cui derivano, anche se livelli generalmente bassi, e corrispondenti bassi rapporti K/Rb, si osservano in gneiss in facies granulitica (TARNEY *et alii*, 1972). La mobilitazione e la diminuzione di K_2O durante le facies retrograde granulitico-anfibolitiche sono state documentate da ROLLISON & WINDLEY (1980).

Nelle rocce sedimentarie K_2O può essere fissato dall'illite autigena o da adsorbimento sulla superficie di altri minerali argillosi. Nelle rocce arenacee è contenuto soprattutto nei K-feldspati, nelle miche e nella glauconite; di conseguenza è più abbondante nelle arcose e nelle grovacche che non nelle arenarie pure. I calcari contengono scarse quantità di K_2O . Il grande ione K^+ è compatibile con i reticoli cristallini di molti minerali argillosi e ciò limita fortemente la sua mobilità.

7.22.1. - Uso

Il potassio è un elemento importante nella biosfera e viene subito utilizzato dalle piante; in natura non si ritrova allo stato nativo, ma si ottiene dall'elettrolisi dell'idrossido e del clorato che esso forma. L'uso molto diffuso di composti di potassio come fertilizzanti in agricoltura può dar luogo ad anomalie da drenaggio legate all'adsorbimento del K da parte dei minerali argillosi contenuti nei sedimenti fluviali. È uno dei metalli più reattivi ed elettropositivi; è il metallo con minor densità conosciuto, è morbido e si taglia facilmente con un coltello. Le superfici fresche sono

brillanti, ma si ossida rapidamente all'aria. Come tutti i metalli alcalini si decompone in acqua con emissione di idrogeno; generalmente durante la reazione prende fuoco. Il metallo ed i suoi composti conferiscono per eccitazione un colore lilla alla fiamma. Viene utilizzato in molti campi, ad esempio, il superossido è utilizzato nei condizionatori mescolato al carbonio, e la sua reazione con l'acqua libera ossigeno. La lega sodio-potassio (NaK) è utilizzata nei reattori nucleari come trasportatore di calore; essa è liquida a temperatura ambiente ed è un buon agente riducente. I suoi carbonati, solfati e clorati sono utilizzati come fertilizzanti e nei fuochi d'artificio, mentre i fosfati trovano impiego nella preparazione di detergenti.

7.22.2. - Ruolo Biologico

Il potassio è un costituente essenziale per la crescita delle piante ed è presente in molti suoli, ma è anche un elemento vitale nell'alimentazione umana. I sali di potassio sono essenziali per le piante e gli animali; il potassio è il principale catione dei fluidi intracellulari ed è necessario alle funzioni nervose e cardiache. I pericoli ed i rischi connessi con questo metallo derivano dalla sua infiammabilità e dal fatto che i sali iniettati sono tossici.

7.22.3. - Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)

La tavola 47 mostra che i valori elevati ($> 5,5$ %) si distribuiscono nell'area sommitale del Cono Vesuviano e nell'area del territorio di Terzigno in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F1 e F2 rispettivamente. I valori bassi ($< 3,7$ %) si rilevano in una fascia che va da San Giuseppe Vesuviano fino a San Sebastiano al Vesuvio interessando le aree di Ottaviano, Somma Vesuviana, Sant'Anastasia in presenza dei suoli del sottogruppo F4.

7.22.4. - Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)

La tavola 48 mostra come la distribuzione, per grosse linee, delle concentrazioni sia simile a quella dell'orizzonte superiore dei suoli. I valori elevati ($> 5,9$ %) li ritroviamo sempre nell'area del Cono Vesuviano e nella Piana delle Ginestre in presenza di suoli del sottogruppo F1. I valori bassi ($< 4,0$ %) si distribuiscono in tutta la fascia costiera dell'area in esame in corrispondenza di suoli con un'elevato grado di urbanizzazione, a nord di Torre del Greco nei suoli del tipo F2, e soprattutto a Pollena Trocchia e a nord di Sant'Anastasia dove sono presenti suoli F3 e F4.

7.23. - RAME

Durante i processi magmatici lo ione monovalente Cu^+ tende a concentrarsi nelle fasi che si differenziano per prime. Tende infatti a non essere incorporato nei silicati, è un elemento fortemente calcofilo e forma sia solfuri che ossidi (CURTIS, 1964; HELGESON, 1969). Le concentrazioni medie del rame nei vari silicati variano e sono precisamente 115 ppm per le olivine, 120 ppm per i pirosseni, 78 ppm per gli anfiboli, 86 ppm per la biotite e 62 ppm per i plagioclasti. La calcopirite è un minerale del rame che si rinviene anche nelle rocce ignee basiche come fase accessoria.

Basalti, gabbri e rocce ultrabasiche contengono mediamente più rame (40-50 ppm) delle rocce intermedie e granitiche (circa 12-20 ppm). Il rame può essere ridistribuito per metamorfismo di basso grado e per metasomatismo (SENIOR & LEAKE, 1978), mentre la sua mobilità è più ristretta nel metamorfismo di alto grado (NICOLLET & ADRIAMBOLOLONA, 1980). È fortemente concentrato, con altri elementi calcofili, durante i processi idrotermali.

Nei sedimenti non mineralizzati la concentrazione di rame è determinata soprattutto dalla composizione del detrito di base, dagli ossidi secondari di Fe e Mn (FORBES *et alii*, 1976), dai minerali delle argille (HEYDEMANN, 1959) e dalla materia organica (STEVENSON & ARDAKANI, 1972). È arricchito nelle rocce clastiche a grana fine, in particolare nelle argille nere (~50 ppm), rispetto ai sedimenti quarzoso-feldspatici e carbonatici (5-15 ppm).

7.23.1. - Uso

Il rame è uno degli elementi metallici più importanti; il metallo presenta un colore rossastro con lucentezza metallica, è malleabile, duttile, e buon conduttore di calore ed elettricità (secondo solo all'Ag nella conduzione elettrica). Le sue leghe, ottone e bronzo, sono molto importanti per i molteplici impieghi che se ne fanno. Il rame è largamente usato sia nella coniazione delle monete che nell'industria bellica. I composti di rame sono ampiamente sfruttati in agricoltura e possono dare anomalie da drenaggio, l'affinità del rame per la materia organica è ampiamente documentata (RASHID, 1974; Rippey, 1982). I composti, come la soluzione di Fehling, sono utilizzati nell'analisi chimica nella produzione dello zucchero. L'industria elettrica è quella che impiega di più il rame, che viene però fortemente utilizzato anche nei processi per la purificazione delle acque.

7.23.2. - Ruolo Biologico

Il rame è essenziale per la vita, ma solo in piccole quantità. È il componente chiave degli enzimi redox e dell'emocianina. La polvere metallica è infiammabile e

tutti i composti sono considerati altamente tossici. I fumi industriali contenenti questo metallo provocano contaminazione. Una quantità di soli 30 g di CuSO_4 è mortale se ingerito.

7.23.3. - Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)

La tavola 49 mostra come i valori bassi (< 120 ppm) delle concentrazioni si raccolgono in una vasta area che interessa il territorio che va dal comune di Torre del Greco fino a Pollena Trocchia attraversando sia la Piana delle Ginestre che il Cono Vesuviano in presenza dei suoli del sottogruppo F2, F1 e F3. I valori elevati (> 10164 ppm) delle concentrazioni si ritrovano in località Cognoli di Ottaviano in suoli F1 e F3, nei suoli urbanizzati di San Giuseppe Vesuviano e a sud di Terzigno in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F2.

7.23.4. - Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)

Dalla tavola 50 si rileva che la distribuzione dei valori elevati rispecchia per grosse linee quella dell'orizzonte superiore dei suoli. I valori molto elevati (> 3256 ppm) vengono individuati ad ovest di Terzigno nei suoli del sottogruppo F3 e in località Cognoli di Ottaviano nei suoli del tipo F3, mentre i valori compresi fra 1256 e 3256 ppm si registrano ancora una volta nella località di San Giuseppe Vesuviano dove vi sono suoli fortemente urbanizzati.

I valori bassi (< 125 ppm) si posizionano a Pollena Trocchia nei suoli del tipo F4, a Sant'Anastasia e nella Piana delle Ginestre in presenza di suoli del sottogruppo F4 e F1 rispettivamente e a nord ovest di Cercola in suoli fortemente urbanizzati.

7.24. - SODIO

Il sodio è un metallo molto reattivo dal colore bianco rosa, appartenente al gruppo IA della tavola periodica e presenta un solo isotopo naturale ^{23}Na . È un costituente della crosta terrestre molto abbondante, ed i minerali in cui comunemente si ritrova sono: plagioclasio, orneblenda, salgemma, sodalite, natrolite, tormalina; nella formazione dei minerali può assumere come numero di coordinazione sia il 6 che l'8. Si comporta da elemento incompatibile nel mantello fuso, durante la cristallizzazione del magma e nei processi di fusione della crosta terrestre.

7.24.1. - *Uso*

Il sodio metallico è infiammabile, ma in generale i composti di questo elemento non sono tossici se non ingeriti in dosi eccessive.

7.24.2. - *Ruolo Biologico*

È un elemento vitale per l'uomo, che per la sua dieta ne assume una percentuale elevata. Il sodio è il principale catione extracellulare negli animali ed è importante per il sistema nervoso; l'importanza del Na nella dieta umana fu riconosciuta ancor prima che questo elemento venisse identificato come elemento chimico. Una prolungata carenza di Na provoca problemi di salute e, perciò, deve essere integrato nella dieta; al contrario i soggetti con problemi di cuore e di ipertensione dovrebbero seguire una dieta povera di Na.

7.24.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 51 mostra come i valori elevati (> 1,20 %) si concentrano in modo particolare nell'area di Terzigno in suoli del sottogruppo F2, a sud e nord-ovest di Ottaviano in presenza di suoli del sottogruppo F4. I valori bassi (< 0,76 ppm) li ritroviamo a nord-est di Ottaviano in suoli di tipo G7 e F4, nella Piana delle Ginestre in suoli del tipo F1, e a Torre del Greco in suoli con un grado di urbanizzazione molto elevato.

7.24.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 52 presenta i valori elevati (> 1,54 %) nella località di Cognoli di Ottaviano dove vi sono suoli del sottogruppo F1 e a Somma Vesuviana nei suoli del tipo F3. I valori bassi (< 0,9 %) si distribuiscono in modo sparso su quasi tutto il territorio, in modo particolare a Terzigno e a San Giuseppe Vesuviano in suoli con un'elevato grado di urbanizzazione, a nord di Ottaviano in suoli del tipo G7 e F4, nella parte alta di Ercolano nei suoli del tipo F2 e a Torre del Greco in presenza di suoli del sottogruppo F2.

7.25. - STRONZIO

È un elemento minore, appartenente al gruppo degli alcalino terrosi, leggermente mobile e classificato come litofilo. Lo stronzio, per le sue dimensioni ioniche, può sostituire sia Ca^{2+} che K^+ nei plagioc-

clasi e nei K-feldspati. La concentrazione di stronzio negli altri principali minerali costituenti le rocce è sensibilmente più bassa, soprattutto nelle miche, che contengono solo poche ppm di questo elemento. Durante i processi magmatici è ripartito negli stadi intermedi del frazionamento, per cui tende ad essere arricchito nelle rocce intermedie (~ 500 ppm) rispetto ai graniti evoluti (< 300 ppm) e alle rocce ignee basiche (< 450 ppm). Concentrazioni particolarmente alte (1000 ppm) sono state registrate in anortositi (WEDEPOHL, 1978). I rapporti Rb/Sr e Sr/Ca e Ba/Sr sono largamente utilizzati negli studi petrogenetici; i primi due aumentano mentre l'ultimo diminuisce con il procedere dell'evoluzione magmatica.

Lo stronzio è relativamente immobile nel metamorfismo di alto grado e spesso si concentra con Ba e Zr nelle granuliti (DRURY, 1973). Una redistribuzione pervasiva può aversi durante l'alterazione idrotermale e nel metamorfismo di contatto (GALE & ROBERTS, 1974); gli alti valori nelle granuliti sono stati attribuiti a fenomeni di trasferimento di stronzio alla crosta inferiore durante il degassamento del mantello (KORRING & NOBLE, 1971).

Concentrazioni anomale sono state riportate in filoni alterati entro granitoidi (WHITE, 1966). Nelle rocce sedimentarie lo stronzio si ritrova principalmente nei carbonati e nei solfati, in sostituzione del Ca^{2+} e del Ba^{2+} . Arricchimenti con concentrazioni di circa 1000 ppm sono comuni in calcari ed evaporiti. Minerali distinti di stronzio sono poco comuni, benché solfati e carbonati possono essere presenti in evaporiti e vene idrotermali (URE & BERROW, 1982); alti livelli di stronzio possono essere associati a minerali di bario (barite, witherite) e essere legati a fenomeni di sostituzione del più grande ione bario. Altrimenti i feldspati sono i principali veicoli per lo stronzio; le quarziti pure (< 40 ppm) e le argilliti (< 400 ppm) contengono generalmente quantità di stronzio inferiori rispetto alle rocce quarzoso-feldspatiche (~ 600 ppm).

7.25.1. - *Uso*

In natura lo stronzio non esiste allo stato nativo, ma si trova come stronzianite (SrCO_3) e celestina (SrSO_4). Si presenta come un metallo soffice che si decompone rapidamente in acqua e si ossida all'aria. I sali volatili di questo elemento sono utilizzati nell'industria pirotecnica perché emanano il colore cremisi. È dotato di un isotopo radioattivo, lo ^{90}Sr , prodotto dal decadimento nucleare, che potenzialmente può essere utilizzato come nucleo leggero nella produzione di energia elettrica. Lo stronzio è utilizzato nei materiali ottici e nella produzione di tubi catodici per televisori.

7.25.2. - *Ruolo Biologico*

Lo stronzio non è un micronutriente essenziale e non svolge nessun ruolo biologico, ma poiché chimicamente si comporta come il calcio, il nostro corpo fatica a distinguere questi due elementi e lo stronzio viene comunque immagazzinato nelle parti del corpo insieme al calcio. Durante le esplosioni nucleari della metà del secolo scorso anche l'isotopo radioattivo di quest'elemento fu assorbito dagli organismi perché diffuso nell'ambiente.

7.25.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 53 indica che i valori elevati (> 480 ppm) si concentrano nell'area di Terzigno in suoli del sottogruppo F2, fino alla Valle dell'Inferno in suoli F1. I valori bassi (< 302 ppm) sono distribuiti nell'area nord e nord-occidentale del Somma-Vesuvio (da Torre del Greco a San Giorgio a Cremano, a Pollena Trocchia fino ad Ottaviano).

7.25.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 54 ci mostra come le concentrazioni elevate (> 533 ppm) si registrino nell'area della Valle dell'Inferno estendendosi anche nella Piana delle Ginestre in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F1 e F2, e ad ovest di Terzigno in presenza dei suoli del tipo F2. I valori bassi (< 325 ppm) vengono registrati nella fascia costiera che va da Ercolano a Torre del Greco, a San Giorgio a Cremano (tutti in suoli altamente urbanizzati), a Pollena Trocchia e a S. Anastasia in presenza dei suoli del sottogruppo F3 e F4.

7.26. - TITANIO

Durante i processi magmatici il Ti^{4+} è maggiormente ripartito negli ossidi di Fe-Ti o negli ossidi di ferro come ilmenite e magnetite o in una o più fasi del TiO_2 come rutilo, anatase e brookite. Il titanio può anche entrare nel reticolo di silicati come anfiboli e miche in sostituzione di Mg^{2+} o Fe^{2+} . Vista la sua compatibilità nelle prime fasi del frazionamento magmatico, è maggiormente arricchito nelle rocce basiche (> 1 % di TiO_2) e ultrabasiche (> 2% TiO_2) rispetto alle rocce ignee acide (circa 0,2 % TiO_2). Nei basalti le maggiori quantità di Ti sono contenute nell'ilmenite a grana fine, nella titanio-magnetite e nel rutilo; nei graniti questo ruolo viene svolto dallo sfene (URE & BERROW, 1982). Il titanio è relativamente immobile nel corso del meta-

morfismo progrado; esso può venire al contrario, mobilizzato e arricchito negli anfiboli durante il metamorfismo retrogrado granulitico-anfibolico.

Il titanio normalmente non viene coinvolto nei processi idrotermali che danno luogo a mineralizzazioni a solfuri, ma fenomeni metasomatici possono dar luogo a rocce ricche in magnetite contenenti apprezzabili quantità di TiO_2 (5-10 %). Nelle rocce sedimentarie le concentrazioni di TiO_2 sono determinate dall'abbondanza di ossidi detritici, silicati detritici come clorite e minerali delle argille e da fasi diagenetiche come l'anatase (CORRENS, 1978).

In conseguenza di ciò il contenuto di Ti è più basso nelle rocce carbonatiche e quarzitiche (0,25 %) che non in argilliti e grovacche (> 0,5 %). Il titanio viene mobilizzato più rapidamente nelle torbe e nei podsol (HUTTON *et alii*, 1972) in condizioni di basso pH (< 4,5) e in presenza di acidi organici che possono formare complessi chelati con Ti^{4+} .

7.26.1. - *Uso*

Il titanio quando è puro, è un metallo bianco splendente con una bassa densità ed un'eccellente resistenza alla corrosione. Il titanio è l'unico elemento che brucia in presenza di azoto, impiegato nei fuochi d'artificio per la sua spettacolarità. Il titanio è usato per le leghe con l'alluminio, manganese, ferro ed altri metalli. Queste leghe sono principalmente usate nelle industrie aerospaziali, sia per parti d'aereo che per i motori. Inoltre queste leghe anche a temperature estreme mantengono inalterate le loro caratteristiche principali. Il titanio è forte come l'acciaio ma è molto più leggero. È due volte più forte dell'alluminio ed è resistente alla corrosione quasi quanto il platino. Il titanio presenta un'eccellente resistenza all'acqua di mare tanto da essere usato per le eliche, attrezzature marine ed altre parti delle barche esposte al sale marino. La pittura di titanio è un'eccellente riflettore per le radiazioni infrarosse.

Il diossido di titanio puro è relativamente chiaro ed ha un alto indice di rifrazione con una dispersione ottica più alta del diamante. Se prodotto artificialmente viene usato come pietra preziosa ma è relativamente tenera. Inoltre il TiO_2 è molto usato per le pitture grazie al suo elevato potere coprente.

7.26.2. - *Ruolo Biologico*

Il titanio non manifesta nessun ruolo biologico. La polvere di titanio è altamente infiammabile mentre i sali di titanio sono ritenuti relativamente inerti; i composti come $TiCl_3$ e $TiCl_4$ manifestano un forte potere corrosivo. Il titanio tende ad accumularsi in tessuti con presenza di silicio.

7.26.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 55 indica che i valori bassi ($< 0,16\%$) sono distribuiti nell'area del Cono Vesuviano, nella Piana delle Ginestre, e a Somma Vesuviana in presenza di suoli del tipo F2, F1, F3 e F4 rispettivamente e nell'area di San Giorgio a Cremano – S. Sebastiano al Vesuvio su suoli urbanizzati. I valori elevati ($> 0,23\%$) vengono registrati a nord-ovest di Torre Annunziata e ad ovest di Ottaviano in corrispondenza di suoli del sottogruppo F2 e F3; nell'area di Terzigno e nella valle dell'Inferno (Cognoli di Ottaviano) in suoli denominati F2 e F1.

7.26.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 56 mostra come i valori elevati ($> 0,26\%$) delle concentrazioni si localizzano in un'area ad ovest di Terzigno e a nord-ovest di Torre Annunziata in corrispondenza dei suoli del sottogruppo F2 e F1. I valori bassi ($< 0,17\%$) si distribuiscono nella fascia costiera che va da San Giorgio a Cremano fino a Torre Annunziata in suoli con un'elevata urbanizzazione, e in tutta l'area che va da Pollena Trocchia fino ad Ottaviano in presenza di suoli del tipo F3 e F4.

7.27. - TORIO

Il torio si trova in piccole tracce in molte rocce comuni e minerali, con concentrazioni che vanno da pochi ppb a poche decine di ppm. Il torio insieme con altri elementi incompatibili (U, K, Rb e REE) si accumula nei magmi residui ed è incorporato nell'ultima fase di cristallizzazione dei silicati. Il torio è molto abbondante sia nei graniti che nei minerali delle rocce mafiche ed ultramafiche (FAURE, 1986). Il minerale commerciale più importante del torio è la monazite che è un fosfato molto raro, dove il torio è sostituito con elementi delle Terre Rare. La monazite si concentra con altri minerali pesanti particolarmente sulle spiagge. Il torio ha dodici isotopi, con una massa che in media va da 223 a 234, tutti instabili e radioattivi. Di questi, sei isotopi, si ritrovano in natura come membri della serie di decadimento dell'uranio e del torio. Il torio in forma metallica ha un comportamento elettropositivo e in soluzione ha solo lo stato di ossidazione +4.

7.27.1. - *Uso*

Il torio quando è puro è un metallo di colore bianco argentato ed è stabile all'aria e rimane lucido per molti anni; quando inizia la fase di ossidazione il suo colore

diventa grigio e poi nero. L'ossido di Th ha un punto di fusione ad una temperatura di 1750°C e bolle a 4750°C (il più alto di tutti gli ossidi); solo pochi elementi come il wolframio e alcuni composti hanno punti di fusione più alti. Il torio è lentamente attaccabile dall'acqua, non si dissolve facilmente con i più comuni acidi, fatta eccezione l'acido idroclorico e l'acqua regia. Quando viene riscaldato all'aperto, il torio si infiamma e brucia brillantemente con una luce bianca.

Il torio viene usato insieme al magnesio per la produzione di una lega con maggior resistenza alle alte temperature, per coprire i fili di wolframio usati negli equipaggiamenti elettronici, e come combustibile nucleare per la produzione di ^{233}U . L'ossido di torio, insieme all'ossido di cerio, è impiegato nelle torce a gas per la luce splendente che riesce a dare. I vetri contenenti ossido di torio hanno un alto indice di rifrazione e bassa dispersione, e sono usati per gli obiettivi delle macchine fotografiche e per gli strumenti scientifici. L'ossido di torio è un catalizzatore per la conversione di ammoniaca ad acido nitrico, per la produzione di acido solforico.

7.27.2. - *Ruolo Biologico*

Il torio non riveste nessun ruolo biologico; è scarsamente presente nella biosfera e quindi presenta pochi rischi. La sua alta radioattività lo rende soggetto a speciali tecniche di trattamento e precauzioni, sembra infatti che piccole quantità possano causare dermatiti che possono degenerare in cancro.

7.27.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 57 ci mostra le concentrazioni elevate (25,6 ppm) distribuite nell'area di Terzigno in presenza di suoli del sottogruppo F2 e G7, nella Piana delle Ginestre in suoli di tipo F1, ad ovest di San Giuseppe Vesuviano nei suoli del tipo F3 e F4 e a Somma Vesuviana sempre in suoli di tipo F4. I valori bassi ($< 14\text{ ppm}$) sono registrati a nord di San Giuseppe Vesuviano, a nord di Sant'Anastasia, a San Giorgio, a Torre del Greco e Torre Annunziata in corrispondenza di suoli con un'elevato grado di urbanizzazione e nella piana delle Ginestre in suoli del tipo F1 e F2.

7.27.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 58 indica come i valori minimi ($< 14\text{ ppm}$) si raggruppano unicamente nella fascia costiera che va da Portici fino a Torre Annunziata interessando anche parte della Piana delle Ginestre, in corri-

spondenza di suoli del sottogruppo F1 e F2. I valori elevati (> 26 ppm) li ritroviamo fra Ottaviano, Somma Vesuviana e Sant'Anastasia in presenza di suoli del sottogruppo F4, nell'alto topografico di Pollena Trocchia nei suoli tipo F3 e nell'area di Cercola in suoli urbanizzati.

7.28 - URANIO

L'uranio, caratterizzato da grande raggio ionico e da elevata carica, nei magmi si comporta come un elemento incompatibile e si concentra nei prodotti differenziati degli ultimi stadi del processo magmatico, spesso, in minerali accessori come zircone e allanite. Graniti e pegmatiti, specialmente quelli derivati da magmi evoluti, sono più ricchi di uranio rispetto alle rocce ignee basiche. Concentrazioni secondarie di uranio si possono avere in seguito ad attività deutERICA e idrotermale associata alla messa in posto di vulcaniti acide e intrusive. Impoverimenti di uranio e di altri elementi (LIL) quali cesio, potassio, rubidio e torio sono stati riportati durante metamorfismo in facies granulitica (LAMBERT & HEIER, 1968; HEIER, 1973).

Nelle rocce sedimentarie le concentrazioni di uranio sono generalmente più basse nelle arenarie non mineralizzate che non nei sedimenti argillosi; livelli più alti si rinvencono in argille nere ricche di materiale organico (6 - 1000 ppm) e nei sedimenti fosfatici (50 - 300 ppm). L'uranio tende comunque a concentrarsi maggiormente nei sedimenti lacustri che non in quelli fluviali e marini.

La sua distribuzione è controllata dalle condizioni di pH e di Eh. L'uranio in generale è molto più solubile in ambiente ossidante, alcalino e ricco di CO_3^{2-} che non in condizioni acide e riducenti. Infatti, lo ione U^{4+} , poco solubile, in ambiente ossidante si trasforma nel catione uranilico UO_2^{2+} , molto solubile (in cui l'uranio ha la più alta valenza + 6). Quest'ultimo in condizioni riducenti forma UO_2 e ossidi misti come U_3O_8 , poco solubili.

L'uranio tende comunque a formare strette associazioni con materiale organico e forti complessi con fosfati disciolti; in questa forma può essere precipitato da calcio o piombo oppure può coprecipitare con ossidi secondari di ferro. La solubilità dell'uranio può essere nettamente ridotta dalla presenza in soluzione del vanadio con il quale forma la carnotite, minerale altamente insolubile che si rinviene come fase cementante in alcune arenarie uranifere (DREVER, 1988).

7.28.1. - *Uso*

L'uranio è un elemento di grande interesse perché legato alle applicazioni nel campo del nucleare, pertanto il problema legato alla sua diffusione nell'ambiente è molto sentito. L'uranio è utilizzato come car-

burante nucleare per la conversione del plutonio nei reattori, per la produzione di energia elettrica e per produzione di raggi-X ad alta energia. Inoltre i nitrati di questo elemento sono utilizzati per i toner fotografici e l'acetato d'uranio nella chimica analitica

7.28.2. - *Ruolo Biologico*

L'uranio non riveste nessun ruolo biologico; esso normalmente non è presente in quantità pericolose nella biosfera perciò non costituisce un rischio per la vita sia animale che vegetale. Comunque, a causa degli esperimenti nucleari c'è stato un notevole incremento nelle concentrazioni di uranio in alcune aree del globo, con effetti devastanti sulle forme viventi (incremento di casi di cancro in modalità molto diffuse).

7.28.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

Dalla tavola 59 si rileva che la maggior parte dei dati risultano al di sotto del limite di rilevabilità strumentale, di conseguenza nel rappresentare i valori delle concentrazioni, sono stati individuati solo sei intervalli a partire dal percentile 50. La quasi totalità del territorio cartografato mostra valori inferiori a 4,0 ppm, eccezione fatta per i valori elevati (> 10 ppm) nell'area di Portici, a nord di Torre Annunziata e Pompei, nella Piana delle Ginestre in presenza di suoli del sottogruppo F2, G7 e F1 e rispettivamente.

7.28.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 60 mostra come la maggior parte dei valori delle concentrazioni siano al di sotto del limite di rilevabilità strumentale tale che il 75 % dei dati assumono il valore $< 4,0$ ppm. I valori elevati (> 9 ppm) si registrano nell'area di Torre Annunziata in suoli urbanizzati, nord-ovest di Terzigno, a Pollena Trocchia e a San Sebastiano al Vesuvio in presenza di suoli del tipo F2 e F4.

7.29. - VANADIO

Lo ione trivalente del vanadio ha il raggio ionico molto simile al Fe^{3+} in coordinazione ottaedrica. Per questo motivo si rinviene di frequente in sostituzione del ferro nella magnetite e nei silicati ferromagnesiaci che si sono formati nei primi stadi dei processi magmatici (CURTIS, 1964). Le rocce basiche sono normalmente più arricchite in vanadio rispetto alle rocce magmatiche intermedie e acide, mentre magni

primitivi, incluse rocce calcocalcine, alcaline e tholeiitiche sono caratterizzate da concentrazioni in vanadio molto simili (TAYLOR *et alii*, 1969). Nelle rocce ultrabasiche il contenuto di vanadio riflette l'abbondanza di minerali quali ossidi di Fe-Ti-Cr e pirosseni. Il vanadio è largamente immobile durante il metamorfismo (CONDIE, 1976; EADE & FAHRIG, 1973; NICOLLET & ADRIAMBOLOLONA, 1980).

Il contenuto di vanadio nelle rocce sedimentarie dipende dalle quantità presenti di ossidi detritici di ferro, di minerali argillosi, di ossidi idrati di ferro e manganese e di materiale organico. Il potenziale di ossido riduzione riveste una certa importanza: il vanadio resta mobile nella maggior parte delle condizioni ossidanti, mentre è soggetto a precipitazione al disopra della soglia di transizione solfato/solfito, nell'intervallo di pH 5,0-8,0 (KAAUSKOPF, 1956; BROOKINS, 1988). Il contenuto medio di vanadio in arenarie quarzitiche e sedimenti puramente carbonatici è basso (< 15 ppm), valori maggiori si hanno nelle grovache (40 - 50 ppm) e nelle argilliti (90 - 260 ppm), in particolare nelle argille nere a testimonianza della affinità del vanadio per la materia organica e per la relativa immobilità in ambiente riducente. Anche il carbone può contenere apprezzabili quantità di vanadio.

7.29.1. - *Uso*

Il vanadio puro è un metallo dal colore grigio argentato, è duttile e cedevole, ha una buona resistenza alla corrosione da parte degli alcoli e dall'acido solforico. Il vanadio viene usato per diverse applicazioni, la sua struttura cristallina fa sì che sia estremamente utile nelle applicazioni nucleari. Il vanadio è anche usato per la produzione di acciai per forgiare utensili. Il V_2O_5 è usato nelle ceramiche, per colorare e stampare stoffe. Invece una miscela di vanadio e gallio è usata per la produzione di magneti superconduttori.

7.29.2. - *Ruolo Biologico*

Il vanadio è un elemento necessario nella dieta di ratti e polli ma solo in piccole quantità; deficienze di vanadio possono causare problemi per la crescita ed per la riproduzione. I composti del vanadio in alcuni fumi industriali possono causare cancro ai polmoni. La polvere di vanadio è altamente infiammabile; tutti i composti del vanadio sono riconosciuti come altamente tossici

7.29.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 61 mostra le concentrazioni massime (> 146 ppm) nell'area di Terzigno, ad ovest di Ottaviano e a nord di Torre Annunziata in presenza dei suoli del

tipo F2, F4 e F1 rispettivamente, e nella Valle dell'Inferno in corrispondenza di suoli di tipo F1. I valori bassi (< 103 ppm) delle concentrazioni si distribuiscono in una vasta area compresa tra San Giorgio a Cremano, Portici e San Sebastiano al Vesuvio in suoli urbanizzati, in una fascia del territorio che va dal Cono Vesuviano fino a Somma Vesuviana interessando i suoli del sottogruppo F3 e F4, e in piccole aree come quella di Ottaviano, Torre el Greco e ad ovest di Torre Annunziata ancora in suoli urbanizzati.

7.29.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 62 mostra che i valori bassi (< 115 ppm) sono distribuiti nella fascia costiera dell'area in esame, interessando il territorio che va da San Giorgio a Cremano fino a Torre Annunziata in suoli del tutto urbanizzati e in un'altra fascia che va da Ottaviano fino a Pollena Trocchia in presenza di suoli del sottogruppo F3 e F4, e in dimensioni ridotte nella Piana delle Ginestre in suoli del tipo F1. Le concentrazioni con valori superiori a 156 ppm si riscontrano ad ovest di Terzigno, ad Ottaviano e nella Piana delle Ginestre raggiungendo in quest'ultimo il valore massimo di 196 ppm in corrispondenza di suoli del tipo F2 e F1.

7.30. - *WOLFRAMIO*

Recentemente è stata misurata l'abbondanza del wolframio nel sistema solare ottenendo un valore di circa 93 ppb nelle condriti. Il wolframio è moderatamente siderofilo in determinate condizioni riducenti. Comunque in condizioni ossidanti e senza la presenza di silicati, il wolframio si comporta come un elemento litofilo incompatibile e nei processi di frazionamento si concentra nella crosta terrestre.

Le rocce sedimentarie presentano livelli di concentrazioni che vanno da 1 a 5 ppm nelle arenarie; e totalmente assente in rocce carbonatiche, con livelli da 0,1 a 0,8 ppm; anomale invece sono le concentrazioni nelle rocce ricche di materia organica come il carbone dove si raggiungono livelli da 1 a 20 ppm. Anche le rocce metamorfiche sono caratterizzate da contenuti di wolframio con valori fra 0,2 e 4 ppm. I minerali più presenti in natura sono i tungstati, mentre le specie più comuni sono la scheelite e la wolframite, laddove la prima presenta il wolframio in coordinazione tetraedrica, mentre la seconda lo presenta in coordinazione ottaedrica. Il wolframio sostituisce principalmente solo tre elementi: Mo, Nb e Ta (molibdeno e wolframio hanno un raggio ionico quasi identico).

7.30.1. - *Uso*

Il wolframio è un metallo di colore grigio argenteo con venature bianche; ha il più alto punto di fusione ad una temperatura superiore ai 1650 °C. Ha la più alta resistenza tensile, e in presenza di aria si ossida rapidamente. Ha un'eccellente resistenza alla corrosione ed è attaccato solo debolmente da alcuni acidi minerali. Il wolframio e le sue leghe sono utilizzati per i filamenti di lampadine elettriche, elettrodi e tubi catodici, ponti di contatti elettrici per macchine, obiettivi di raggi X e avvolgimenti per elementi di fornaci elettriche. I wolframati di Ca^{2+} ed Mg^{2+} sono usati nelle luci fluorescenti. I bronzi wolframio ed altri composti sono usati ampiamente nelle pitture.

7.30.2. - *Ruolo Biologico*

Il wolframio ha un limitato ruolo biologico, un numero esiguo di enzimi utilizza il wolframio in relazione al molibdeno. Il wolframio non causa normalmente problemi, ma alcuni suoi composti sono riconosciuti come altamente tossici, la sua polvere presenta rischi di infiammabilità e di esplosione.

7.30.3. - *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

Dalla tavola 63 si osserva che la maggior parte dei dati risulta al di sotto del limite di rilevabilità strumentale, di conseguenza i valori delle concentrazioni, sono stati individuati a partire dal percentile 50. La quasi totalità del territorio cartografato mostra valori inferiori a 1,0 ppm, eccezione fatta per i valori elevati (> 4 ppm) nell'area di Pompei e di Cercola, in corrispondenza di suoli urbanizzati. Valori di concentrazioni comprese tra 2,9 e 4,0 ppm si rilevano nelle aree a nord di Torre Annunziata e Boscotrecase in suoli del tipo F2, e a nord di Sant'Anastasia in suoli urbanizzati.

7.30.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

La tavola 64 evidenzia, analogamente ai suoli dell'orizzonte superiore, come il 50 % dei dati presenti valori fino a 1 ppm, interessando la gran parte dei suoli presenti nell'area di studio. I valori elevati (> 3,5 ppm) si individuano, nell'area di Pompei e San Giuseppe Vesuviano in suoli urbanizzati.

7.31. - ZINCO

Lo zinco si comporta come un elemento compatibile nei primi stadi del frazionamento magmatico; si rinviene infatti, più arricchito nelle rocce magmatiche

basiche (in media 100 ppm) rispetto a quelle acide (in media 50 ppm) (WEDEPOHL, 1978). È ripartito negli ossidi e nei silicati ove sostituisce gli ioni Fe^{2+} e Mg^{2+} , i quali hanno raggio ionico molto simile a quello dello zinco. Nelle rocce basiche il minerale che presenta il maggiore contenuto di zinco è la magnetite mentre nei graniti il più importante è la biotite (URE & BERROW, 1982). Dove i due minerali coesistono, è tipicamente la biotite a contenere la maggiore quantità di Zn.

Un arricchimento in spinelli contenenti cromo è stato invocato come spiegazione dell'abbondanza di Zn in corpi intrusivi ultrabasici stratificati (CARTER, 1970). La sfalerite (ZnS) è un costituente molto diffuso di depositi idrotermali, a testimonianza della natura calcofila dello zinco.

Lo zinco è poco mobile durante il metamorfismo di basso grado di rocce vulcaniche (CONDIE, 1976); una leggera perdita si ha durante fasi metamorfiche di alto grado (NICOLLET & ANDRIAMBOLOLONA, 1980); può divenire impoverito in rocce in facies granulitica (SIGHINOLFI & GORGONI, 1978). Nelle rocce sedimentarie la distribuzione dello zinco è controllata dall'abbondanza dei silicati ferromagnesiaci detritici, della magnetite e dei minerali argillosi. Viene anche interamente adsorbito in ossidi ferrici e comunemente si riscontra una co-variazione con il Fe (KNEZEK & ELLIS, 1980).

Le rocce carbonatiche (~ 50 ppm) e le sabbie quarzoso-feldspatiche (~ 30-50 ppm) contengono solitamente scarse quantità di Zn rispetto alle grovacche (70-100) e alle argilliti (50-190). Lo zinco mostra affinità con la materia organica, infatti alti valori di concentrazione si riscontrano in argilliti petrolifere (WEDEPOHL, 1978). Alti livelli di zinco (fino all'1%) sono stati riscontrati in minerali oolitici di ferro e in noduli ferro-magnesiaci (JENKYN, 1977).

7.31.1. - *Uso*

Lo zinco è un metallo di colore bluastrò, fragile a temperatura ambiente, ma malleabile a temperature tra i 100° ed i 150°C; è un discreto conduttore di elettricità e brucia all'aria con una fiamma di colore da rosso a bianco quando è completamente ossidato. L'ottone contiene rame e comunque dal 20 al 45% di zinco; in funzione dell'utilizzo finale è un metallo facile da lavorare ed è, allo stesso tempo, un buon conduttore elettrico. Lo zinco viene utilizzato per la produzione di particolari leghe con altri metalli come il nichel e l'argento. Circa un terzo di questo metallo prodotto è utilizzato per la galvanizzazione di metalli soggetti a corrosione, come il ferro. È utilizzato anche nelle batterie a secco e per proteggere le strutture in ferro dalla corrosione utilizzando lo zinco come anodo sacrificale. In passato è stato usato anche per la coniazione di monete. L'ossido di zinco è utilizzato nella fabbricazione di

vernici, nelle gomme, nei cosmetici, nell'industria farmaceutica, nelle plastiche ed in molti altri prodotti. Mentre il solfuro di zinco è impiegato nella costruzione di schermi TV, vernici e luci fluorescenti

7.31.2. - *Ruolo Biologico*

Lo zinco è un elemento essenziale nella dieta di piante ed animali, le quantità di zinco nei suoli in tutto il mondo crea importanti problemi; è il componente principale di numerosi enzimi, svolge un ruolo nella riproduzione e nella maturazione sessuale ed è contenuto anche nell'insulina; una sua deficienza inibisce la crescita e la maturazione sessuale maschile. Lo zinco provoca irritazioni alla pelle ed è infiammabile, ma comunque si può considerare non tossico. I più comuni sali di zinco non sono tossici, ma una quantità eccessiva può risultare cancerogena. Viene utilizzato anche in alcune preparazioni alimentari e l'inquinamento da fumi industriali è un grave problema che può provocare seri danni alla salute.

7.31.3.- *Distribuzione nell'orizzonte superficiale dei suoli (profondità 10-15 cm)*

La tavola 65 indica una vasta area, con valori minimi di 79 ppm della concentrazione, che interessa trasversalmente il territorio in esame, estendendosi da Ottaviano fino alla Piana delle Ginestre in corrispondenza dei suoli del tipo F4, F3, F1 e F2. I valori elevati (> 6539 ppm) li ritroviamo a Ercolano e fra Torre del Greco e Torre Annunziata in suoli urbanizzati, mentre i valori massimi si registrano in località Cognoli di Ottaviano in suoli di tipo F3.

7.31.4. - *Distribuzione nell'orizzonte inferiore dei suoli (profondità 50-60 cm)*

Dalla tavola 66 si osservano tre distinte aree con valori elevati (> 1923 ppm), localizzate ad ovest di Terzigno e San Giuseppe Vesuviano e nella Valle dell'Inferno in corrispondenza dei suoli F4, F3 e F2 rispettivamente. Mentre valori fra 518 e 1923 ppm ricadono ancora una volta ad Ercolano e Torre del Greco in presenza di suoli urbanizzati. I valori molto bassi (< 77 ppm) si registrano a San Giorgio a Cremano e a nord di Cercola in suoli urbanizzati; lungo l'allineamento da Piana delle Ginestre fino ad ovest di Ottaviano; a Somma Vesuviana e a nord di Pompei in suoli del sottogruppo F2, F3, F4 e G7 rispettivamente.

8. - CARTE DELL'ANALISI FATTORIALE

La seconda fase di elaborazione statistica si basa sulla trattazione dei dati geochimici con metodologie multivariate. Per l'elaborazione dei dati è stata utilizzata l'analisi fattoriale, facendo uso del programma G-RFAC (MIESCH,1990). L'analisi fattoriale in R-mode consente una valutazione quantitativa di diverse variabili in gioco e la loro reciproca influenza. Essa permette così di valutare le possibili correlazioni esistenti tra la distribuzione dei singoli elementi, le caratteristiche litologiche, gli eventuali adunamenti minerali, i fenomeni di arricchimento legati all'ambiente superficiale, l'inquinamento antropico ed altro (DE VIVO *et alii*, 1981). Questo tipo di analisi ci restituisce non una soluzione, ma una serie di soluzioni (modelli fattoriali). La scelta della soluzione più consona è basata sul fatto che le associazioni prescelte sono quelle che presentano maggiore significato rispetto alle caratteristiche geologiche e all'ambiente superficiale (modello fattoriale significativo). Attraverso la distribuzione dei *factor scores* è possibile calcolare l'incidenza di ogni associazione di elementi per ogni campione e quindi in ogni sito campionato.

I dati sono rappresentati da una matrice X_{ij} dove i sarà l'indice delle misure e j l'indice delle variabili, la loro dipendenza verrà descritta tramite la $M \times M$ covarianza:

$$C_{ik} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{ij} X_{ik} - \sum_{i=1}^n X_{ij} \sum_{i=1}^n X_{ik}}{n(n-1)}$$

Gli elementi diagonali della matrice C_{ik} non sono altro che le varianze di ciascuna variabile considerate una alla volta sull'insieme delle n misure. La somma degli elementi diagonali fornisce la varianza totale V . Dalla matrice delle covarianze si ricava la matrice di correlazione:

$$R_{ik} = C_{ik} / S_i S_k$$

dove con S_i si indica la deviazione standard della i -esima variabile sull'insieme delle misure.

I coefficienti di correlazione sono numeri puri compresi tra 1 e -1; il coefficiente di correlazione 1 indica che le variabili sono linearmente indipendenti, -1 indica che sono inversamente proporzionali, mentre i valori intermedi corrispondono ad una legge di dipendenza tra le variabili (DE VIVO *et alii*, 1981).

Quando il numero p delle variabili è alto, l'analisi dei dati raccolti è resa più agevole da una trasformazione lineare dalla vecchia variabile X a nuove variabili Y denominate fattori o componenti principali.

La prima componente principale è la combinazione lineare:

$$Y_1 = A_{11}X_1 + \dots + A_{p1}X_p,$$

i cui coefficienti A_{1i} sono gli elementi del vettore caratteristico associato con la radice caratteristica massima l_1 della matrice di covarianza, la radice caratteristica

l_1 è interpretabile come la varianza campionaria di Y_1 . Nel caso limite di x a rango unitario la prima componente principale spiegherebbe tutte le variazioni del sistema multivariato.

La seconda componente principale è la combinazione lineare:

$$Y_2 = A_{12}X_1 + \dots + A_{p2}X_p,$$

i cui coefficienti sono stati scelti sotto le condizioni che la covarianza di Y_2 sia massima cioè ortogonali.

La j -esima componente principale del campione di osservazioni a p -variabili casuali è la seguente:

$$Y_j = A_{1j}X_1 + \dots + A_{pj}X_p,$$

i cui coefficienti sono gli elementi del vettore caratteristico della matrice delle covarianze corrispondente alla j -esima radice caratteristica maggiore l_j . Se l_i è diverso da l_j i coefficienti della i -esima e j -esima componente sono necessariamente ortogonali. Per ortogonali si intendono due o più fattori controllati indipendentemente, nel piano sperimentale o matrice, cioè se tutti i livelli assunti da uno sono associati, lo stesso numero delle volte, con tutti i livelli degli altri.

Le componenti principali Y verranno denominate "factor loadings", la serie degli n valori, denominati "factor scores", dell' i -esimo fattore Y_{ij} avrà un peso relativo sulle varianze totali pari a V_i/V .

Altro punto importante è quello di standardizzare i dati sottraendo da ciascuna variabile la sua media sull'insieme delle misure e dividendola per la deviazione standard (DE VIVO *et alii*, 1981).

In particolare l'analisi fattoriale fornisce informazioni su (CLOSS & NICHOL, 1975):

- Incidenza di un particolare elemento in un fattore (*loading*);

- La variabilità totale di ogni elemento nell'ambito di un dato modello fattoriale (communalità);

- La variabilità totale dei dati rappresentata da ogni modello fattoriale (autovalori %).

L'analisi fattoriale sui dati dei suoli del Somma-Vesuvio è stata condotta su due *file* dati differenti, uno relativo ai suoli dell'orizzonte superiore (10-15 cm) e l'altro ai suoli dell'orizzonte inferiore a profondità 50 - 60 cm. Per i due *files* dati è stato scelto come rappresentativo il modello fattoriale 6.

8.1 - ASSOCIAZIONE FATTORIALI NELL'ORIZZONTE SUPERFICIALE DEI SUOLI (PROFONDITÀ 10 - 15 CM)

8.1.1. - Associazione fattoriale F1 (Fe-V-Co-Ti-Al-Ba-K-Sr-Mn)

L'associazione F1 (tav. 67), formata da Fe-V-Co-Ti-Al-Ba-K-Sr-Mn, responsabile del 38,46% della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,97, 0,90, 0,90, 0,89,

0,88, 0,83, 0,82, 0,82 e 0,75 rispettivamente per Fe, V, Co, Ti, Al, Ba, K, Sr e Mn. Gli elementi che compongono questa associazione sono tutti relativamente immobili e quindi rappresentano la componente residuale dei suoli che si formano a spese dei litotipi sottostanti. I valori più elevati ($> 1,69$) di *factor scores* si registrano, nell'area di Terzigno e nella Valle dell'Inferno. *Factor scores* bassi, o meglio negativi, si manifestano nel settore settentrionale della zona di studio in esame, nella fascia estesa da San Giorgio a Cremano ad Ottaviano, a Torre del Greco, nella piana delle Ginestre e a Torre Annunziata.

8.1.2. - Associazione fattoriale F2 (Th-Ca-Mg-Na-B)

L'associazione F2 (tav. 68) formata da Th-Ca-Mg-Na-B responsabile del 18,70 % della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,84, 0,79, 0,77, 0,71 e 0,40 rispettivamente per Th, Ca, Mg, Na e B. Questa associazione rappresenta la componente litologica degli elementi maggiori dei litotipi che si riflette nei suoli. La distribuzione degli alti *factor scores* ($> 1,74$) viene registrata nell'area di Terzigno, ad ovest di San Giuseppe Vesuviano e nella Piana delle Ginestre in presenza dei suoli del tipo F2 e F1. Alti valori si registrano anche a Somma Vesuviana e ad ovest di Torre Annunziata in presenza di suoli del sottogruppo F3 e F4. Come si può osservare dalla carta, le aree con valori negativi ($< -0,82$) sono dominanti, in una fascia estesa da ovest ad est, a nord di tutta l'area in esame e tra San Giorgio e Torre del Greco interessando sia suoli urbanizzati che suoli del sottogruppo F2. In tutte queste aree si deve quindi intendere che i suoli registrano una deficienza degli elementi componenti l'associazione.

8.1.3. - Associazione fattoriale F3 (Zn-Cr-Cu-Pb-Cd-Ni)

L'associazione F3 (tav. 69), formata da Zn-Cr-Cu-Pb-Cd-Ni, responsabile del 17,59% della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,86, 0,77, 0,76, 0,70, 0,65, 0,46, rispettivamente per Zn, Cr, Cu, Pb, Cd e Ni. Questa associazione può rappresentare sia una componente naturale (presenza di mineralizzazioni) che antropica (inquinamento da attività agricola-industriale ecc.). I valori più elevati dei *factor scores* ($> 1,43$) si registrano, nell'area di Ercolano in presenza di suoli urbanizzati, a Torre del Greco, Torre Annunziata e San Giuseppe Vesuviana in corrispondenza di suoli urbanizzati e in località Cognoli di Ottaviano in suoli di tipo F3. *Factor scores* bassi, o meglio negativi, ($< -0,88$) si manifestano nel settore centrale della zona di studio, nell'area che va da Ottaviano fino alla Piana delle Ginestre in suoli del sottogruppo F4, F3, F1 e F2 rispettivamente.

8.1.4. – *Associazione fattoriale F4 (Hg-Sb-As)*

L'associazione F4 (tav. 70) formata da Hg-Sb-As, responsabile del 10,32 % della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,69, 0,63 e 0,61, rispettivamente per Hg, Sb e As. Questa associazione è rappresentativa di processi mineralizzanti associati alla risalita di fluidi idrotermali. Questa associazione di elementi è "tracciante" della presenza di mineralizzazioni aurifere. La distribuzione dei suoi alti *factor scores* infatti coincide abbastanza con le aree caratterizzate da presenza di anomalie per Au (vedi carta oro, tav. 41). La distribuzione degli alti *factor scores* ($> 1,20$) registra i due allineamenti individuati con le anomalie dell'oro lungo la direttrice Cono Vesuvio-Cercola e la direttrice nord-est di Terzigno-Somma Vesuviana. Inoltre alti valori vengono registrati intorno a Pompei. I valori negativi ($< -0,55$) si registrano ad Ercolano, Torre del Greco e Torre Annunziata interessando sia suoli urbanizzati che suoli del sottogruppo F2, e a Pollena Trocchia in suoli del tipo F3.

8.1.5. – *Associazione fattoriale F5 (Ni-Ag-(-P))*

L'associazione F5 (tav. 71) formata da Ni-Ag-(-P) responsabile del 9,1 % della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,74, 0,68 e $-0,61$ rispettivamente per Ni, Ag e P. I valori più bassi dei *factor scores* ($< 0,62$) vengono individuati tutti nell'area orientale del Somma-Vesuvio, ad est della direttrice Torre Annunziata - San Giuseppe Vesuviano. Viceversa la distribuzione degli alti *factor scores* ($> 3,39$) si ritrova solo ed esclusivamente nell'area di Cognoli di Ottaviano, dove vi sono suoli del sottogruppo F3 e F1 e ad Ercolano in suoli fortemente urbanizzati, e limitatamente a Colle Umberto in suoli di tipo F2.

8.1.6. – *Associazione fattoriale F6 (La-B)*

L'associazione F6 (tav. 72), formata da La-B, responsabile del 5,83% della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,82 e 0,68 rispettivamente per La e B. I valori più elevati dei *factor scores* ($> 1,06$) si registrano, nell'area di Terzigno, di Portici in suoli con un'elevato grado di urbanizzazione e in un'area che va da Somma Vesuviana fino a Sant'Anastasia in suoli del sottogruppo F4 e a nord di Pompei in presenza di suoli del sottogruppo F2 e G7. I valori negativi ($< -0,88$) dei *factor scores* si distribuiscono in una vasta area che si estende dalla Piana delle Ginestre fino ai Cognoli di Sant'Anastasia in suoli del tipo F2, F1 e F3, ad ovest di Terzigno in suoli di tipo F2 e a San Giuseppe Vesuviano in suoli urbanizzati.

8.2. - ASSOCIAZIONE FATTORIALI NELL'ORIZZONTE INFERIORE DEI SUOLI (PROFONDITÀ 50 – 60 CM)

8.2.1. - *Associazione fattoriale G1 (Fe-Co-V-Ti-Ba-Al-K-Sr-Mn-P)*

L'associazione G1 (tav. 73), formata da Fe-Co-V-Ti-Ba-Al-K-Sr-Mn-P, responsabile del 41,2% della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,97, 0,93, 0,93, 0,92, 0,89, 0,87, 0,85, 0,84, 0,80 e 0,52 rispettivamente per Fe, Co, V, Ti, Ba, Al, K, Sr, Mn e P. I valori più elevati ($> 1,58$) di *factor scores* si registrano, ad ovest di Terzigno, nella Piana delle Ginestre e nella Valle dell'Inferno. Alti *factor scores* ristretti in una piccola area si riscontrano anche ad ovest di Ottaviano. *Factor scores* bassi, o meglio negativi, si manifestano in quasi tutta l'area in esame, in modo particolare in una fascia territoriale che va da Ottaviano a San Giorgio a Cremano fino a Torre Annunziata.

8.2.2. - *Associazione fattoriale G2 (Na-B-La-Th)*

L'associazione G2, formata da Na-B-La-Th, responsabile del 21,07 % della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,79, 0,78, 0,74 e 0,57 rispettivamente per Na, B, La e Th. Osservando la tavola 74, si può notare come i valori negativi ($< -0,64$) dei *factor scores* si concentrino soprattutto in una vasta area che si estende da Ercolano fino a Torre del Greco in suoli urbanizzati, a nord di Torre Annunziata e nella Piana delle Ginestre in presenza dei suoli del tipo F2 e F1 rispettivamente e, infine, a San Giuseppe Vesuviano in suoli urbanizzati. Rispetto ai *factor scores* con valori negativi, quelli di valore positivo ($> 1,68$) si ritrovano a Somma Vesuviana, ad ovest di San Giuseppe Vesuviano in suoli del tipo F4, a Portici e a Cercola.

8.2.3. – *Associazione fattoriale G3 (Zn-Cu-Pb-Ni-Cr)*

L'associazione G3 formata da Zn-Cu-Pb-Ni-Cr, responsabile del 14,82 % della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,86, 0,76, 0,74, 0,73 e 0,59 rispettivamente per Zn, Cu, Pb, Ni e Cr. Come si può osservare dalla tavola 75, i *factor scores* con valori negativi ($< -0,59$) si manifestano in una zona che comprende la Piana delle Ginestre fino al Colle Umberto e a sud di Somma Vesuviana in presenza di suoli del tipo F2, F1 e F3 rispettivamente, e a nord di Cercola in suoli urbanizzati. Alti valori dei *factor scores* ($> 1,38$), vengono registrati: ad ovest di Terzigno, nella Valle dell'Inferno e ad ovest di San Giuseppe Vesuviano in corrispondenza di suoli del tipo F2, F1 e F3 rispettivamente; a Ercolano, Torre Annunziata e San Giuseppe Vesuviano in suoli con un'elevato grado di urbanizzazione.

8.2.4. – *Associazione fattoriale G4 (Ag-Cd-Th(-Mo))*

L'associazione G4 (tav. 76), formata da Ag-Cd-Th(-Mo), responsabile del 11,24% della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,80, 0,74, 0,57 e -0,56, rispettivamente per Ag, Cd, Th e Mo. I valori più elevati di *factor scores* ($> 1,26$) si registrano tra Sant'Anastasia e Pollena Trocchia nei suoli del sottogruppo F4; a sud di Somma Vesuviana in suoli del tipo F3; nella Piana delle Ginestre e a nord di San Giuseppe Vesuviano in suoli del sottogruppo F2 e G7 rispettivamente. Infine i valori negativi di *factor scores* ($< -0,96$) si osservano in una vasta area del settore meridionale del Somma-Vesuvio che si estende da Ercolano fino a Pompei e da Pompei fino a S. Giuseppe Vesuviano, in corrispondenza sia di suoli urbanizzati del sottogruppo F2 che di suoli urbanizzati.

8.2.5. – *Associazione fattoriale G5 (As-Au-W-Hg)*

L'associazione G5 (tav. 77), formata da As-Au-W-Hg, responsabile del 6,6% della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,65, 0,60, 0,60 e 0,53, rispettivamente per As, Au, W e Hg. Questa associazione è l'equivalente dell'associazione F4 (profondità 10-15 cm) e dovrebbe essere fortemente relazionata alla presenza di fluidi idrotermali apportatori di mineralizzazioni epitermali (aurifere). I valori più elevati dei *factor scores* ($> 1,56$) si registrano, nell'area di Pompei e fra Sant'Anastasia e Cercola in suoli sia urbanizzati che del sottogruppo F4. *Factor scores* bassi, o meglio negativi ($< -0,78$) si manifestano in tutta la fascia costiera che va da Ercolano fino a Torre Annunziata in corrispondenza sia di suoli urbanizzati che di suoli del sottogruppo F2.

8.2.6. – *Associazione fattoriale G6 (Ca-Mg)*

L'associazione G6 (tav. 78), formata da Ca-Mg, responsabile del 5,07% della variabilità dei dati, presenta *loadings* di 0,74 e 0,73 rispettivamente per Ca e Mg. I valori più elevati dei *factor scores* ($> 1,56$) si hanno, nella Piana delle Ginestre e a nord-est di Torre del Greco in presenza di suoli del sottogruppo F2 e F1 rispettivamente; nell'area di Torre Annunziata in suoli urbanizzati, a Pollena Trocchia nei suoli del sottogruppo F3 e ad ovest di Terzigno in suoli di tipo F2. I valori bassi dei *factor scores* ($< -0,81$) si osservano a San Giorgio a Cremano e a Torre Annunziata in suoli urbanizzati, a nord di Pompei e di San Giuseppe Vesuviano in suoli del tipo F2, G7 e F4, e nell'area di Pollena Trocchia in presenza di suoli del sottogruppo F4 e G7.

9. - CARTE GEOCHIMICHE DI RISCHIO

Le carte geochimiche di rischio sono state compilate con una griglia, regolare per ogni singolo elemento; ciò è stato reso possibile grazie ad una distribuzione omogenea dei campioni sul territorio in esame. La griglia è così costituita da singole celle che ricoprono un'area di 750m x 750.. In pratica, per la compilazione di queste carte il valore attribuito alla singola cella coincide con quello del singolo sito campionato; se all'interno di una cella sono presenti più siti campionati, il valore attribuito alla cella è quello corrispondente al valore più elevato fra i siti campionati.

Le carte geochimiche di rischio sono state riclassificate considerando come concentrazioni limite i criteri di intervento stabiliti per i suoli dal Decreto Ministeriale 471 del 25 Ottobre 1999 relativamente ai metalli pesanti per l'uso residenziale/parchi pubblici e commerciale/industriale del territorio.

Nella stesura di queste carte per la stampa finale oltre al *raster* delle concentrazioni si è tenuto conto delle informazioni tipo come le strade principali, linee ferroviarie, autostrade e limiti del territorio urbanizzato. La tabella 7 sintetizza le superfici delle aree di intervento per l'uso residenziale/parchi pubblici e commerciale/industriale del territorio individuate sulla base delle concentrazioni limite del Decreto Ministeriale 471 del 25 Ottobre 1999.

9.1. - ANTIMONIO

La tavola 79 mostra come le aree di intervento per questo elemento vengano individuate, per l'uso residenziale/parchi pubblici (> 10 ppm) del territorio, nelle

Tab. 7 - *Superfici delle aree di intervento in Km².*
- Intervention area surfaces (km²).

Elemento	Nessun intervento	Verde pubblico, privato e residenziale	Commerciale e industriale
	Km ²	Km ²	Km ²
Antimonio	92.81	1.68	-
Arsenico	73.68	19.68	1.13
Cadmio	89.43	5.06	-
Cobalto	75.37	19.13	-
Cromo	94.5	-	-
Mercurio	74.81	19.13	0.56
Nichel	92.25	1.68	0.56
Piombo	77.62	15.75	1.13
Rame	8.43	65.25	20.81
Vanadio	2.25	92.25	-
Zinco	62.43	29.81	2.25

aree di Pompei e San Giuseppe Vesuviano. Tutto il territorio in esame presenta l'assoluta mancanza di valori superiori a 30 ppm. Fatta eccezione quindi per le aree di Pompei e San Giuseppe Vesuviano, per l'antimonio su tutto il territorio del Somma-Vesuvio non vengono individuate aree a rischio per l'uso residenziale/parchi pubblici e commerciale/industriale del territorio.

9.2. - ARSENICO

Dalla tavola 80 si rileva che le aree di intervento per l'uso residenziale/ricreativo (> 20 ppm) vengono individuate in modo diffuso in tutta l'area vesuviana (aree urbane di Portici, Ercolano, Torre Annunziata, Pompei, Boscoreale, Terzigno, Ottaviano, Cercola). Valori che superano i 50 ppm, soglia di intervento per l'uso industriale/commerciale del suolo, si registrano in località Cognoli di Ottaviano, zona questa interna al Parco Nazionale del Vesuvio e a nord di Boscotrecase.

9.3. - CADMIO

La tavola 81 individua per il territorio in esame solo aree di intervento per l'uso residenziale/parchi pubblici (> 2 ppm) del territorio; queste sono individuate in zone sparse, sia nelle aree urbanizzate di Torre Annunziata, Pompei e Terzigno che nelle zone alte (> 500 metri) del complesso del Somma-Vesuviana. Il restante territorio presenta bassi valori delle concentrazioni, tali da non richiedere alcun intervento per l'uso commerciale/industriale e residenziale/parchi pubblici del territorio

9.4. - COBALTO

La tavola 82 individua come aree di intervento per l'uso residenziale/parchi pubblici (> 10 ppm) del territorio, le zone urbanizzate di San Giuseppe Vesuviano, Terzigno, Torre Annunziata, Torre del Greco e Ercolano. Anche nelle zone alte del Somma Vesuvio, in modo particolare nell'area del Parco Nazionale, si individuano diverse aree che superano la soglia limite decretata dal Ministero dell'Ambiente, per l'uso residenziale/parchi pubblici. Non vengono individuate aree di intervento per l'uso commerciale/industriale del territorio.

9.5. - Cromo

La tavola 83 mostra l'assenza di valori superiori alle soglie contenute nel DM 471, per l'uso commerciale/industriale e residenziale/parchi del territorio.

9.6. - MERCURIO

Dalla tavola 84 si rileva come le aree di intervento per l'uso residenziale/ricreativo (>1 ppm) vengano individuate in modo diffuso in tutta la l'area vesuviana (aree urbane di Portici, Ercolano, Torre del Greco, Torre Annunziata, Pompei, Ottaviano, Sant'Anastasia, Pollena Trocchia e San Sebastiano al Vesuvio). Valori che superano i 5 ppm, soglia di intervento per l'uso industriale/commerciale del suolo, si registrano in località Cognoli di Ottaviano, zona questa interna la Parco Nazionale del Vesuvio.

9.7. - NICHEL

La tavola 85 individua due aree con valori superiori a 500 ppm, limite di intervento per uso industriale/commerciale del territorio, in località Cognoli di Ottaviano e a nord di Boscotrecase. Vengono viceversa individuate diverse aree con valori superiori al valore limite di 120 ppm per uso residenziale/parchi pubblici (Ottaviano, Terzigno, Boscoreale, Torre Annunziata, Ercolano, Cercola) e aree interne al Parco Vesuvio. Tutte queste aree cadono all'interno del limite del Parco Nazionale del Vesuvio.

9.8. - PIOMBO

Le aree di intervento (tav. 86) per l'uso residenziale/parchi pubblici (> 100 ppm) del territorio si registrano in modo omogeneo nelle aree urbanizzate, di Ercolano, Torre del Greco, Torre Annunziata, Boscoreale, Terzigno, San Giuseppe Vesuviano, Ottaviano e a Cercola e nell'area del Parco Nazionale del Vesuvio ad ovest di Terzigno. Valori superiori a 1000 ppm, limite di intervento per l'uso industriale/commerciale del territorio, si hanno ancora una volta in località Cognoli di Ottaviano e nel Comune di Boscotrecase.

9.9. - RAME

La tavola 87 mostra che la quasi totalità del territorio in studio è caratterizzata da valori al di sopra delle soglie limite di intervento, sia per l'uso residenziale/parchi pubblici (> 120 ppm) che commerciale/industriale (> 600 ppm) del territorio, interessando suoli presenti sia nell'area Parco Nazionale del Vesuvio che in aree urbanizzate.

9.10. - VANADIO

La tavola 88 mostra, in modo uniforme, la presenza di aree di intervento per l'uso residenziale/parchi pubblici (> 90 ppm) del territorio; tali aree si distri-

buiscono su tutto l'area in studio in corrispondenza sia di suoli urbanizzati che di suoli delle zone alte del Somma-Vesuvio. Le aree che non richiedono nessun intervento sono ridotte e piuttosto rarefatte.

9.11. - Zinco

Le aree di intervento (tav. 89) per l'uso residenziale/ricreativo (> 150 ppm) del territorio si registrano in modo omogeneo nelle aree urbanizzate di Ercolano, Torre del Greco, Torre Annunziata, Pompei, Boscotrecase, Boscoreale, Terzigno, San Giuseppe Vesuviano, Ottaviano e Cercola e nell'area del Parco Nazionale del Vesuvio ad ovest di Terzigno. Valori superiori a 1500 ppm, limite di intervento per l'uso industriale/commerciale del territorio, si registrano ancora una volta in località Cognoli di Ottaviano, ad ovest di Terzigno e San Giuseppe Vesuviano e nella Valle dell'Inferno.

10. - CONCLUSIONI

La cartografia geochimica prodotta su due livelli di suoli, a profondità di 10 – 15 cm e 50 – 60 cm, ha consentito di individuare, su basi statistiche, diverse aree con concentrazioni anomale di diversi elementi metallici. È da rimarcare che la correlazione diretta fra le concentrazioni metalliche registrate nei suoli rispetto alle rocce madri sottostanti non sempre è chiara e univoca. Ciò è dovuto anche ad attività antropiche messe in atto sul territorio vesuviano almeno nell'arco degli ultimi due secoli. In particolare, sono da citare due pratiche utilizzate dai contadini alla ricerca di suoli più fertili da utilizzare per le diverse colture agricole, lottando contro gli eventi vulcanici che man mano si verificavano nei secoli e nello stesso tempo sfruttando al meglio la fertilità dei suoli che venivano a formarsi a spese dei prodotti vulcanici stessi (lave e piroclastiti).

Una pratica consisteva nel riportare in superficie gli orizzonti di suoli che venivano ricoperti da nuovi prodotti vulcanici (soprattutto lave); questo scopo veniva raggiunto perforando la lava attraverso pozzi e riportando in superficie i suoli sepolti. Questi pozzi sono tutt'ora visibili nei Comuni di Ercolano, Torre Annunziata, Torre del Greco e Boscotrecase. Un'altra pratica consisteva nell'utilizzo di suoli prelevati nell'area di Pompei per arricchire i suoli adibiti alla coltivazione viticola nei Comuni di Boscotrecase, Boscoreale e Torre Annunziata. Una pratica, invece, attuata in tempi molto più recenti, è quella dovuta alle attività edilizie, per cui diverse aree sono ricche di suoli di riporto, derivanti da scavi connessi appunto con l'intensa attività edilizia su tutto il territorio urbanizzato lungo le falde del Somma-Vesuvio.

La scelta di utilizzare alcuni livelli di paleosuoli per ottenere le concentrazioni *background* di riferimento, da utilizzare come parametri comparativi rispetto alle concentrazioni che si registrano nei suoli attuali, è risultata fortemente innovativa e di grande utilità. Oltre alle concentrazioni registrate nei paleosuoli, per la definizione dei valori *background*, si è tenuto conto ovviamente anche delle concentrazioni di elementi metallici nelle vulcaniti eruttate dal Somma-Vesuvio negli ultimi 25.000 anni (BELKIN *et alii* 1993; AYUSO *et alii* 1998; PAONE *et alii*, 2001)

In sintesi nei suoli del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio è stato possibile individuare diverse aree con concentrazioni anomale di diversi elementi:

- concentrazioni anomale di Al, Ag, As, Ba, B, Cd, Co, Cr, Fe, La, Mg, Mn, Hg, Ni, Pb, K, Cu, Na, Sr, Ti, Th, V e Zn, in una ben precisa area ad ovest di Terzigno, all'interno del Parco Nazionale del Vesuvio, dove tra l'altro è ubicata la discarica SARI. I dati dell'analisi fattoriale confermano per quest'area la presenza di alti *factor scores* per le associazioni fattoriali F1, F2 e F3 (orizzonte superficiale) e G1, G2 e G3 (orizzonte profondo).

- concentrazioni anomale di Al, Ag, Ba, Bi, Cd, Co, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Cu, Na, Sr, V e Zn, nella Valle dell'Inferno, ad est del Cono Vesuviano, dove si registrano anche alti *factor scores* per le associazioni F1 e F3. In particolare, le concentrazioni elevate vengono registrate soprattutto nei suoli raccolti alla profondità tra 50 e 60 cm. Certamente gli alti *factor scores* dell'associazione F3 sono da attribuire alla presenza di processi mineralizzanti dovuti a fluidi idrotermali che risalgono in superficie lungo linee di frattura (faglie).

- concentrazioni anomale di Ag, Ba, Bi, Cd, Hg, Mo, Ni, Pb, Cu, Sr e Zn sul versante del Monte Somma, a sud ovest di Ottaviano, e in modo particolare nei suoli del livello tra 10 e 15 cm. In questa area si registrano anche alti *factor scores* delle associazioni fattoriali F3 e F5; queste associazioni sono certamente indicatrici di presenza di potenziali mineralizzazioni in ambiente secondario, dovute alla risalita di fluidi idrotermali. Per alcune di queste anomalie non si può escludere del tutto un contributo di tipo antropico (batterie, pile, ecc.).

- concentrazioni anomale di Ag, Bi, Cd, Ca, Cr, P, Mo, Ni, Pb, U e Zn quasi sempre nei suoli superficiali, lungo la fascia costiera, dove esiste un grado di urbanizzazione molto spinto. Queste anomalie quasi sicuramente riflettono un contributo antropico in ambiente superficiale.

- Infine in un'area del settore nord-est dell'area di studio vengono registrati valori anomali solo per elementi come Sb, As, Mo, Pb e U. Quest'area è una zona agricola coltivata in prevalenza a nocioleti e pescheti, nella quale l'uso eccessivo di pesticidi certamente fornisce un contributo elevato nella determinazione delle anomalie. Infine si registra una sostanziale correlazione fra la

presenza di concentrazioni anomale di elementi quali Au, Sb, As e Hg e lineamenti strutturali; ciò induce fortemente ad ipotizzare la presenza di fluidi idrotermali che determinano appunto le concentrazioni anomale di questa associazione di elementi nei suoli del complesso del Somma-Vesuvio.

Le carte geochimiche di rischio realizzate sono state redatte tenendo conto dei criteri di intervento fissati dal Decreto Ministeriale 471 del 25 Ottobre 1999. Utilizzando questi criteri di intervento è stato possibile individuare le aree i cui terreni risultano a rischio per l'uso residenziale/verde pubblico e industriale/commerciale del territorio. In particolare vengono individuate a rischio porzioni limitate del territorio del Somma-Vesuvio per le concentrazioni anomale (superiore cioè alle soglie fissate dal DM 471/1999) di As, Cd, Co, Hg, Ni e Pb. Le aree a rischio per le concentrazioni anomale di Cu, V e Zn risultano invece molto più estese. Almeno per il caso del Cu, l'estensione delle aree a rischio, per questo elemento fa pensare ad un chiaro contributo antropico (uso indiscriminato di antiparassitari nella coltivazione viticola, ampiamente diffusa su tutto il complesso del Somma-Vesuvio).

BIBLIOGRAFIA

- AHRENS A., WILLIS J. P. & OOSTHUIZEN C. O. (1967) - *Further observations on the manganese nodules with particular reference to some of the rarer elements*. *Geochim. Cosmoch. Acta*, **31**, 2169 - 2174.
- ARNON D. I. & STOUT P. R. (1939) - *The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper*. *Plant Physiol.*, **14** : 371 - 375.
- AYUSO R. A., DE VIVO B., ROLANDI G., SEAL II R. R. & PAONE A. (1998) - *Geochemical and isotopic (Nd-Pb-Sr-O) variations bearing on the genesis of volcanic rocks from Vesuvius, Italy*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **82**, 53 - 78.
- BEACH A. & TARNEY J. (1978) - *Major and trace element patterns established during retrogressive metamorphism of granulite-facies gneisses, NW Scotland*. *Precambrian Res.*, **7**, 325-348.
- BELKIN H. E., KILBURN C. R. J. & DE VIVO B. (1993) - *Sampling and major element chemistry of the recent (A.D. 1631-1944) Vesuvius activity*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **58**, 273-290
- BERNER L. A. (1970) - *Sedimentary pyrite formation*. *Amer. J. Sci.*, **267**, 19-42.
- BERNER L. A. (1981) - *A new geochemical classification of sedimentary environments*. *J. Sedim. Petrol.*, **51**, 359-365.
- BOLT G. H. & BRUGGENWERT M.G.M. (1978) - *Soil Chemistry*. A. Basic Elements-Elsevier Sci. Pub. Co., Amsterdam
- BOWEN H. J. M. (1982) - *Environmental Chemistry*. London: Royal Soc. Chemi. Special Periodical Report Series.
- BOYLE R. W. (1968) - *Geochemistry of silver and its deposits*. *Geol. Survey Canada Bull.*, N. 160.
- BOYLE R. W. & JONASSON I. R. (1973) - *The geochemistry of arsenic and its use as an indicator element in geochemical prospecting*. *J. Geochem. Prospecting*, **2**, 251-296.
- BRANDENSTEIN M., JANDA I. & SCHROLL E. (1960) - *Improved rapid method for the determination of As and Sb in stream sediments*. *Analytical Chem. Res. Group Information Series Report*, N. 86/2
- BROCCHINI D., PRINCIPE C., CASTRATORI D., LAURENZI M. A. & GORLA L. (2001) - *Quaternary evolution of the southern sector of the Campanian Plain and early Somma-Vesuvius activity: insights from the Trecase 1 well*. *Mineral. Petrol.*, **73**, 67-91
- BROOKINS D. G. (1988) - *Eh-pH diagrams for Geochemistry*. Berlin: Springer-Verlag.
- CARTER J. L. (1970) - *Mineralogy and chemistry of the Earth's upper mantle based on the partial fusion-partial crystallization model*. *Bull. Geol. Soc. America*, **81**, 2021.
- CLOSS L. G. & NICHOL I. (1975) - *The role of factor and regression analysis in the interpretation of geochemical reconnaissance data*. *Can. J. Earth Sci.*, **12**(8), 1316-1330.
- CHAO T. T. & ANDERSON B. J. (1974) - *The scavenging of silver by manganese and iron oxides in stream sediments from two drainage areas in Colorado*. *Chem. Geol.*, **15**, 159 - 167.
- CONDIE K. C. (1976) - *Trace element geochemistry of Archean Greenstone Belts*. *Earth Sci. Reviews*, **12**, 393 - 417.
- CORRENS C. W. (1978) - *Titanium*. In: WEDEPOHL K.H. (Ed.): *Handbook of geochemistry*". Berlin: Springer-Verlag.
- CURTIS C. D. (1964) - *Applications of the crystal-field theory to the inclusion of trace transition elements in minerals during magmatic differentiation*. *Geochim. Cosmoch. Acta*, **28**, 389 - 403.
- DARNLEY A. G., BJÖRKLUND A., BÖLVIKEN B., GUSTAVSSON N., KOVAL P. V., PLANT J. A., STEENFELT A., TAUCHID M., XIE X., GARRETT R. G. & HALL G. E. M. (1995) - *A global geochemical database for environmental and resource management: recommendations for international geochemical mapping*. Final Rep. IGCP Project 259. 2nd revised edition. Paris: UNESCO. 122pp.
- DESSERT J. P. (1983) - *Determinisme. loi naturelle*.
- DE VIVO B., LIMA A., MARIGLIANO RAMAGLIA V. & PERRONE V. (1981) - *L'uso dell'analisi fattoriale e regressiva nella prospezione geochimica: un esempio di applicazione su una campionatura di suoli del bacino del Rio Lugenda (Mozambico)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **100**: 107 - 127.
- DE VIVO B., SCANDONE R. & TRIGILA R. (1993) - *Recent Volcanological researches on Vesuvius*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **58**: 1-3.
- DE VIVO B. (1995) - *Elementi e metodi di geochimica ambientale*, Editore Liguori, Napoli.
- DE VIVO B., BONI M. & COSTABILE S. (1997) - *Environmental mapping in Sardinia (Italy)*. 4th Int. Symp. On Environmental Geochemistry. Vail, CO, USA, Oct. 5 - 10. Program with Abstract, Open File-Report 97-496, 19-20.
- DE VIVO B., COSTABILE S. & LIMA A. (1998a) - *Cartografia geochimica della Calabria*. In: DE VIVO B., RICCOBONO F. & SABATINI G. (Eds.): *Cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria*", Peloritani, Sardegna e Toscana Meridionale Monografia Mem. Serv. Geol. Naz., **55**: 17 -29.
- DE VIVO B., BONI M., MARCELLO A., COSTABILE S., DI BONITO M. & RUSSO A., 1998b. *Cartografia geochimica della Sardegna*. In: DE VIVO B., RICCOBONO F. & SABATINI G. (Eds.): *Cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria*", Peloritani, Sardegna e Toscana Meridionale Monografia Mem. Serv. Geol. Naz., LV: 97 - 106.
- DE VIVO B., BONI M. & COSTABILE S. (1998c) - *Formational anomalies versus mining pollution: geochemical risk maps of Sardinia, Italy*. *J. Geochem. Explor.*, **64**: 321 - 337.
- DE VIVO B., COSTABILE S. & BONI M. (2001a) - *Cartografia geochimica ambientale della Sardegna. Carte d'intervento per l'uso del territorio*. *Mem. Serv. Geol. Naz.*, **57**: 7 - 32.
- DE VIVO B., ROLANDI G., GANS P. B., CALVERT A., BOHRSON

- W. A., SPERA F. J. & BELKIN H. E. (2001b) - *New constraints on the pyroclastic eruptive history of the Campanian volcanic plain (Italy)*. Mineral. Petrol., **73**, 47 - 65.
- DE VIVO B., LIMA A., ALBANESE S. & CICCHELLA D. (2003) - *Atlante geochimica-ambientale della regione Campania*. De Frede Editore, Napoli.
- DE VIVO B., LIMA A. & SIEGEL F. R. (2004) - *Geochimica ambientale. Metalli potenzialmente tossici*. Liguori Editore, Napoli, 464 pp.
- DI GENNARO A., D'ANTONIO A., INGENITO M.R., LULLI L., MARSEGLIA G., TERRIBILE F. & TODERICO L. (1995) - *I suoli della provincia di Napoli*. Ed.: Cuen 35-97pp.
- DREVER J. I., 1988. *The geochemistry of natural waters*. New Jersey: Prentice-Hall.
- DRURY S. A. (1973) - *The geochemistry of the Precambrian granulite facies rocks from the Lewisian complex of Tiree, Inner Hebrides, Scotland*. Chem. Geol., **11**, 167-188.
- DUNN C. E. (1989) - *Reconnaissance level biogeochemical surveys for gold in Canada*. Trans. Inst. Min. Metall., Sect. B: Appl. Earth Sci., **98**, B153-160.
- EADE K. E. & FAHRIG W. F. (1973) - *Regional lithological and temporal variations in the abundances of some of the trace elements*. Geol. Survey Canada, Paper n.72-46, **1**.
- FAURE G. (1986) - *Principles of Isotope of Geology*, 2nd edn. New York: John Wiley & Sons, 589 pp.
- FERGUSON J. E. (1990) - *The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects*. Oxford: Pergamon.
- FERRARI M., MARCON E. & MENTA A. (1996) - *Ecologia Applicata*, Vol. Edagricole, Bologna.
- FIELD D. & ELLIOT R. B. (1974) - *The chemistry of gabbro-amphibolite transitions in S. Norway, (2). Trace elements*. Contrib. Mineral. Petrol., **47**, 63 - 76.
- FORBES E. A., POSNER A. M. & QUICK J. P. (1976) - *The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb, Zn on goethite*. J. Soil Sci., **27**, 154-165.
- GALE G. H. & ROBERTS D. (1974) - *Trace element geochemistry of Norwegian Lower Paleozoic basic volcanics and its tectonic implications*. Earth Planet. Sci. Lett., **22**, 380.
- GEBAUER D. & GRUNENFELDER M. (1977) - *U-Pb systematic of detrital zircons from some unmetamorphosed to slightly metamorphosed sediments of Central Europe*. Contrib. Mineral. Petrol., **65**, 29-38.
- GOLDSCHMIDT V. M. (1954) - *Geochemistry*. Oxford: Oxford University Press.
- GREENWOOD D. J., 1980. J. Agric. Science., **95** : 471 - 485.
- HAY R. K. M., HOLMES J. C. & HUNTER E. A. (1978) - *The effects of tillage, direct drilling and nitrogen fertilizers on soil temperature under barley crop*. J. Soil Sci., **29**, 174 - 183.
- HEIER K. S., 1973. *Geochemistry of granulite facies rocks and problems of their origin*. Phil. Trans. Royal Soc. London.
- HEINRICHS H. (1974) - *Die Untersuchung von Gesteinen und Gewässern auf Cd, Sb, Hg, Pb, Bi mit der flammenlosen Atomabsorption*. Unpublished PhD Thesis, University of Gottingen.
- HELGESON H. C. (1969) - *Thermodynamics and hydrothermal system at elevated temperatures and pressures*. Amer. J. Sci., **267**, 729 - 804.
- HEYDEMANN A. (1959) - *Adsorption aus sehr verdünnten Kupferlösungen an reinen tonmineral*. Geochim. Cosmoch. Acta, **15**, 305-329.
- HOWART R. J. & THORNTON I. (1983) - *Regional geochemical Mapping and its application to environmental studies*. In: THORNTON I. (Ed.): "Applied Environmental Geochemistry", Academic Press, pp. 41-73.
- HUTTON C. R., TWIDALE A. R., MILNES A. R. & ROSSER H. (1972) - *Composition and genesis of silcrete and silcrete skins from from the Beda Valley, S. Acroona Plateau, S. Australia*. J. Geol. Soc. Australia, **19**, 31-44.
- JACUBCZYK H. (1971) - *Productivity investigation of two types of meadows in the Vistula Valley*. III rate of organic matter and microbial activity. Ekol. Pol., **19**, 121 - 128.
- JENKINS H. C. (1977) - *Fossil manganese nodules*. In: GLASBY G.P. (Ed.): "Marine manganese deposits". Amsterdam: Elsevier Oceanography Series.
- KERSTEN M. & FORSTNER U. (1995) - *Speciation of trace metals in sediments and combustion wastes*. In: A.M. URE & C.M. DAVIDSON (Eds.): "Chemical Speciation in the Environment", Blackie & Sons Ltd, London, Ch. 9.
- KNEZEK B. D. & ELLIS B. G. (1980) - *Essential nutrients. IV: copper, iron, manganese and zinc*. In: DAVIES B.E. (Ed.): "Applied soil trace elements". Chichester: John Wiley & Sons, 259-286.
- KORRING M. K. & NOBLE D. C. (1971) - *Distribution of Sr and Ba between natural feldspar and igneous melt*. Earth Planet. Sci. Lett., **11**, 147-151.
- KOSTERIN A. V. (1959) - *The possible modes of transport of the rare earths by hydrothermal solutions*. Geochem. Internat., 381 - 387.
- KRAUSKOPF K., 1956. *Factors controlling concentration of thirteen rare metals in seawater*. Geochim. Cosmoch. Acta, **9**, 1 - 32
- KRAUSKOPF K. (1967) - *Introduction to geochemistry*. Kogakusha: McGraw Hill.
- KUBICKA H., 1978. *The effect of mineral fertilization on CO2 evolution in meadow soil*. Part II. Pol. Ecol. Stud. **4**, 167 - 178.
- LAMBERT R. ST. J. & HEIER K. S. (1968) - *Estimates of the crustal abundances of thorium, uranium and potassium*. Chem. Geol., **3**, 233 - 238.
- LEYSHON A. J. (1982) - *Deleterious effects on yield of drilling fertilizer in to established alfa alfa stands*. Agron. J., **74**, 741 - 743.
- LIRER L., PESCATORE T., BOOTH, B. & WALZER J. P. L. (1973) - *Two plinian pomice-fall deposits from Somma-Vesuvius*. Geol. Soc. Am. Bull., **884**, 759-772
- LOPEZ A. & PETRUZZELLI D. (1993) - *Interaction of Toxic Organics with Subsoils Components*. In: PETRUZZELLI D., HELFFERICH F.G. (Eds.): "Migration and Fate of Pollutants in Soils and Subsoils NATO-ASI Series G32", Springer-Verlag Berlin, Germany.
- MACDONALD R., UPTON B. G. T. & THOMAS J. E. (1973) - *Potassium and fluorite-rich hydrous phase co-existing with peralkaline granite in South Greenland*. Earth Planet. Sci. Lett., **18**: 217 - 222.
- MARX K. (1859) - *Per la critica dell'economia politica*.
- MASON B. (1966) - *Principles of geochemistry*. London: John Wiley.
- MECKENZIE R. M. (1975) - *In Trace elements in soils-plant-animal systems*. Nicholas D.J.D. & Egan A.R., Edts, London: Academic Press.
- MIESCH (1990) - *G-RFac. PROGRAMS* - Grand Junction, CO, USA.
- NICOLLET C. & ANDRIAMBOLOLONA D. R. (1980) - *Distribution of transition metals in crustal metabasic igneous rocks*. Chem. Geol., **28**, 78 - 90.
- MINISTERO AMBIENTE (1999) - *Decreto Ministeriale 471/1999. Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni*. Gazz. Uff., n. 293 del 15 febbraio 1999.
- PAONE A., AYUSO R. A. & DE VIVO B. (2001) - *A metallogenic survey of alkalic rocks of Mt. Somma-Vesuvius volcano*. Mineral. Petrol., **73**, 201 - 233.
- PETRUZZELLI D. & LOPEZ A. (1993) - *Solid-phase Characteristics and Ion Exchange Phenomena in Natural Permeable Media*. In: PETRUZZELLI D., HELFFERICH F.G. (Eds.): "Migration and Fate of Pollutants in Soils and Subsoils NATO-ASI Series

- G32", Springer-Verlag Berlin, Germany.
- PIRC S., MCNEAL M. J., LENARCIC T., PROHIC E., & SVRKOTA R. (1991) - *Geochemical mapping of carbonate terrains*. Bull. Inst. Min. Metall., Sect. B, Applied Earth Sci. **100**, 74-83.
- PLANT J. A., BROWN G. C., SIMPSON P. R. & SMITH R. T. (1980) - *Signatures of metalliferous granites in the Scottish Caledonides*. Trans. Inst. Min. Metall., Sect. B: Appl. Earth Sci., **189**, B198-210.
- PLANT J. A., BREWARD N., FORREST M. D. & SMITH R. T. (1989) - *The gold pathfinder elements As, Sb and Bi: their distribution and significance in the southwest Highlands of Scotland*. Trans. Inst. Min. Metall. Sect. B: Appl. Earth Sci., **98**, B91-101.
- PLANT J. A., COOPER D. C., GREEN P. M., REEDMAN A. J. & SIMPSON P. R. (1991) - *Regional distribution of As, Sb e Bi in the Granpian Highlands of Scotland and the English Lake District: Implications for Au metallogeny*. Trans. Inst. Min. Metall., Sect. B: Appl. Earth Sci., **100**, B135-137.
- PLANT J. A., KLAVER G., LOCUTURA J., SALMINEN R., VRANA K. & FORDYCE F. M. (1997) - *The forum of European Geological Surveys Geochemistry Task Group inventory 1994-1996*. J. Geochem. Explor., **59**, 123-146.
- RASHID M. A. (1974) - *Adsorption of metals on sedimentary and peat humic acids*. Chem. Geol., **13**, 115 - 123.
- REYNOLDS R. C. JR. (1965) - *Geochemical behaviour of boron during the metamorphism of carbonate rocks*. Geochim. Cosmoch. Acta, **29**, 1101-1016.
- RIPPEY B. (1982) - *Sediment-water interactions of Cu, Zn e Pb discharged from a domestic waste water source into a bay of Lough Neagh, Northern Ireland*. Env. Pollution (B), **3**, 199 - 214.
- ROLANDI G., MASTROLORENZO G. & BORRELLI A. (1993) - *The Avellino plinian eruption of Somma-Vesuvius (3760 y.B.P.): The progressive evolution from magmatic to hydromagmatic style*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **58**, 67-88.
- ROLANDI G., PETROSINO P. & MC GEEHIN J. (1998) - *The interplinian activity at Somma-Vesuvius in the last 3500 years*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **82**, 19-52.
- ROLANDI G., MUNNO R. & POSTIGLIONE I. (2004) - *The A.D. 472 eruption of the Somma volcano*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **129**, 291 - 319.
- ROLLINSON H. R. & WINDLEY B. F. (1980) - *Selection depletion during metamorphism in Archean granulites, Scourie, northwest Scotland*. Contrib. Mineral. Petrol., **72**, 257 - 263.
- RONOV A. B., BALASHOV A, GIRIN Y. P. & BRATISHKO R.K. (1974) - *Regularities of rare elements distributions in the sedimentary shell and in the crust of the earth*. Sedimentology, **21**, 171 - 193.
- ROSSWALL T. & PAUSTIAN K. (1984) - *Cycling of nitrogen in modern agricultural systems*. Plant Soil, **76**, 3 - 21
- RUBIN A. J., 1974. *Aqueous environmental chemistry of metals*. Michigan: Ann Arbor Science.
- SENIOR A. & LEAKE B. E. (1978) - *Regional metasomatism and the geochemistry of the Dalradian metasediments of Cannemara, West Ireland*. J. Petrol., **19**, 585 - 625.
- SHERATON J. W., SKINNER A. C. & TARNEY J. (1973) - *The geochemistry of the Scourian gneisses of the Assynt district*. 13-30. In: PARK R.G. & TARNEY J. (Eds.): "The early Precambrian of Scotland and related rocks of Greenland". University of Keele.
- SIGHINOLFI G. P. & GORGONI C. (1978) - *Chemical evolution of high-grade metamorphic rocks-anatexis and remobilization of material from granulite terrains*. Chem. Geol., **22**, 157 - 176.
- SOONG R. & BERROW M. L. (1979). *Distribution of chemical elements in coal fuel and residual ash*. New Zealand J. of Science, **22**, 229 - 235.
- SPOSITO G. (1981) - *The Thermodynamics of soil Solutions*. Oxford University Press, New York.
- STEVENSON F. J. & ARDAKANI M. S. (1972) - *Micronutrients in agriculture*. MORTVELDT J.J., GIORDANO P.M. & LINDSAY W.L. (Eds.), Madison, Wisconsin: Soil Sci. Soc. America Inc.
- TARNEY J., SKINNER A. C. & SHERATON J. W. (1972) - *A geochemical comparison of major Archean gneiss units from Northwest Scotland and East Greenland*. 162-174 In: *Proceedings of the 24th Session of the Int. Geol. Congress*, Montreal, 1972, Sect. 1.
- TAYLOR S. R., KAYE M., WHITE A. J. R., DUNCAN A. R. & EWART A. (1969) - *Genetic significance of Co, Cr, Ni, Sc and V content of andesites*. Geochim. Cosmochim. Acta, **33**, 275-286.
- TOBSCHALL H. J. (1971) - *Zur Genese der Migmatite des Beauventales (Mittlere Cevennen, Dep. Ardeche)*. Contrib. Mineral. Petrol., **32**, 93 - 107.
- TREMEARNE T. H. & JACOB K. D. (1941) - *Arsenic in natural phosphates and fertilizers*. US Dept. Agriculture Technical Bulletin, N. 781.
- TROEH R. F. & THOMPSON L. M. (1993) - *Soils and Soil Fertility*. Oxford University Press. New York.
- ULEHLOVA B. (1979) - *Micro - organisms in meadows*, pp 155 - 164, In Coupland R.T. (Ed.): "Grassland ecosystems of the world". Cambridge University Press. Cambridge
- ULISSE C. (1989) - *Stato e condizioni della pianificazione urbanistica dei territori comunali nella provincia di Napoli*. In: *La pianificazione urbanistica nella provincia di Napoli*. La Provincia di Napoli, Anno XI n.1/4, Salerno.
- URE A. M. & BERROW M. L. (1982) - *The elemental constituents of soils*. 94-204. In: BOWEN H.J.M. (Ed.): "Environmental chemistry", Vol. 2. London: Royal Soc. Chemistry, Spec. Report Series.
- USDOWSKI H. G. (1970) - *Magnesium*. In: WEDEPOHL K.H. (Ed.): "Handbook of Geochemistry (Section 12 G-2)". Berlin: Springer-Verlag.
- VINE J. D. & TOURTELOT E. B. (1970) - *Geochemistry of black shale deposits: a summary report*. Econ. Geol., **65**, 255 - 272.
- VINOGRADOV A. P. (1962) - *Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the earth's crust*. Geochemistry, **7**, 641 - 655.
- WEDEPOHL K. H. (1978) - *Handbook of Geochemistry*. Berlin: Springer-Verlag.
- WHITE A. J. R. (1966) - *Genesis of migmatites from the Palmer region of South Australia*. Chem. Geol., **1**, 165 - 200.