



**APAT**

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 LXX

**Cartografia geochemica  
ambientale, della radioattività  
e del rischio per l'uso del territorio  
del bacino del fiume Volturno**

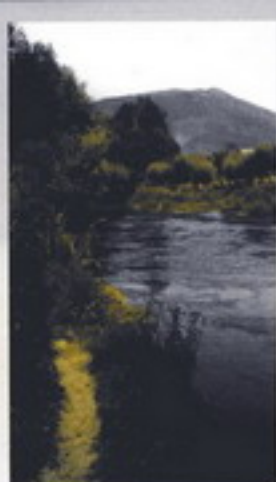
*Environmental geochemical,  
radioactivity and land use risk  
maps of the Volturno river basin*

*Editor*

**BENEDETTO DE VIVO**



**SELCA** - Firenze 2006





**A P A T**

Agenzia per la protezione dell'ambiente 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 LXX

---

**Cartografia geochimica ambientale, della  
radioattività e del rischio per l'uso del territorio del  
bacino del fiume Volturno**

*Environmental geochemical, radioactivity and land use risk maps  
of the Volturno river basin*

*A cura di*

DE VIVO B., LIMA A., CICHELLA D.

*Editor*

Benedetto DE VIVO



**S.E.L.C.A.** - Firenze 2006

*Direttore responsabile* : Leonello SERVA

---

**REDAZIONE** a cura del Servizio Cartografico, coordinamento di base dati e tavoli europei

*Dirigente*: Norman ACCARDI

*Capo Settore*: Domenico TACCHIA

*Coordinatore Editoriale*: Marina COSCI

*Allestimento testi* : Alessia MARINELLI, Massimiliano RONSISVALLE, Valerio VITALE

---

S.EL.CA - Firenze 2006

## PREMESSA

### Cartografia geochemica ambientale del bacino del fiume Volturno

---

Negli ultimi anni, per merito della comunità scientifica internazionale, è stato sviluppato un notevole lavoro nel settore della geochemica ambientale, che ha posto in rilievo l'esigenza di disporre di una cartografia geochemica regionale come background indispensabile per molteplici fini applicativi della geochemica e in primo luogo, appunto, per quelli ambientali. Questo lavoro ha portato alla pubblicazione di diversi atlanti geochemici regionali e nazionali (BGS, 1987, 1990, 1991, 1992; REIMANN *et alii*, 1998; BODIS & RAPANT, 1999; KADUNAS *et alii*, 1999; OTTESEN *et alii*, 2000; DE VIVO *et alii*, 1998a, 2001a, 2003, 2005, 2006).

Sull'onda di questa vasta sensibilizzazione e dell'avvertita necessità di produrre una cartografia idonea, sono nati negli anni '90, i Progetti internazionali IUGS/IAGC Global Geochemical Baselines e FOREGS Geochemical Task Group, con lo scopo di creare un network di scienziati e di organizzazioni che potessero lavorare al fine di compilare una cartografia geochemica ambientale del Globo Terrestre e dell'Europa (DARNLEY *et alii*, 1995; PLANT *et alii*, 1997). I lavori del FOREGS Geochemical Task Group, conclusi alla fine del 2004, porteranno entro il 2005 alla pubblicazione di un Atlante geochemico multielementale dell'Europa relativamente alle matrici suoli, sedimenti fluviali, sedimenti di piana alluvionale, acque superficiali e humus (SALMINEN *et alii*, in stampa). L'Italia ha partecipato a tale progetto, sia con attività di campo che con attività di elaborazione dati e di coordinamento di gruppi di ricerca multi-nazionali, con ricercatori dell'Università di Napoli Federico II (Coord. Prof. B. DE VIVO), dell'Università di Siena (Coord. Prof. G. SABATINI) e dell'Università di Padova (Coord. Prof. P. FRIZZO), i quali hanno garantito la campionatura di 19 celle ricadenti sul territorio nazionale.

La cartografia geochemica prodotta per il Volturno fornisce una copertura omogenea dell'intero territorio del bacino del suddetto fiume. I risultati ottenuti rappresentano uno strumento di notevole valenza ambientale, soprattutto per quanto concerne la valutazione dei valori background dei vari elementi chimici esaminati, fra i quali quelli tossici richiamati nelle recenti normative emanate dal Ministero dell'Ambiente (D.M. 471/1999 e D.M. 367/2003), che fissano le soglie di intervento per i suoli e le acque, per i sedimenti di acque marino-costiere, lagune e stagni costieri, in funzione della destinazione d'uso del territorio.

Si auspica che gli organismi pubblici preposti al controllo ambientale tengano conto di tali risultati nella definizione degli interventi per la pianificazione e la bonifica del territorio.

## PREFACE

### *Environmental geochemical, radioactivity and land use risk maps of the Volturno river basin*

---

*In recent years, the international scientific community has promoted various projects concerning the compilation of geochemical environmental maps on a regional scale, in order to define background values, which are useful for different applications in the geochemistry field, but fundamental in environmental studies. These studies have produced the publication of different regional and national geochemical atlases (BGS, 1987, 1990, 1991, 1992; REIMANN *et alii*, 1998; BODIS & RAPANT, 1999; KADUNAS *et alii*, 1999; OTTESEN *et alii*, 2000; DE VIVO *et alii*, 1998a, 2001a, 2003, 2005, 2006).*

*As a result of the subsequent growing awareness of the need for appropriate environmental geochemical mapping, the international projects IUGS/IAGC Global Geochemical Baselines and FOREGS Geochemical Task Groups were launched in the 1990s. The aims of these projects is the creation of a network of scientists and Institutions, whose activity would be functional to the compilation of future geochemical mapping of the Earth Globe and Europe (as first contribution), with the main target of defining, at regional level, the baseline values (background) for numerous chemical elements. The work of the FOREGS Geochemical Task Group, was completed at the end of 2004, and by 2005, a multielement geochemical Atlas of Europe for media such as, soils, stream sediments, flood plain sediments, surface waters, and humus (SALMINEN *et alii*, in press), will be published.*

*Italy, represented by researchers of the University of Napoli Federico II (Coord. Prof. B. DE VIVO), the University of Siena (Coord. Prof. G. SABATINI) and the University of Padova (Coord. Prof. P. FRIZZO), participated in both international projects, carrying out field sampling, data elaboration and multi-national groups coordination. Within the FOREGS project, the Italian groups took care of the sampling of 19 cells in the Italian territory.*

*The geochemical maps produced for the Volturno river cover homogeneously all the territory of drainage basin. The geochemical maps obtained are very useful, from the scientific point of view and mostly for environmental land use. They are particularly useful for a better evaluation of the background values of all the chemical elements considered, among which the harmful elements, reported in the recent Laws of Ministry of Environment (D.M. 471/1999 and D.M. 367/2003), which fix the intervention threshold for the soils, the waters and the sea and lacustrine sediments, as a function of the land use.*

*It is hoped that public Authorities will take into proper account the above results for land use planning and remediation projects.*

Prof. Benedetto DE VIVO  
Università di Napoli Federico II

## Cartografia geochemica ambientale, della radioattività e del rischio per l'uso del territorio del bacino del fiume Volturno

### *Environmental geochemical, radioactivity and land use risk maps of the Volturno river basin*

DE VIVO B. (\*), LIMA A. (\*), CICCHELLA D. (\*\*)

**RIASSUNTO** - La cartografia geochemica ambientale ha come obiettivo principale quello di rappresentare la distribuzione geochemica a livello regionale degli elementi metallici e di fornire un utile strumento nella pianificazione territoriale in funzione dell'uso del territorio.

In questo lavoro vengono presentati i dati relativi al bacino del fiume Volturno che rappresenta un'area intensamente antropizzata, con un ampio sviluppo agricolo e industriale. Lo scopo principale della compilazione della cartografia geochemica ambientale è quello di rappresentare la distribuzione geochemica a livello regionale degli elementi metallici e di fornire un utile strumento nella pianificazione territoriale in funzione dell'uso del territorio.

Su tutta la superficie del bacino del fiume Volturno (circa 5455 km<sup>2</sup>) sono stati campionati 1859 sedimenti fluviali attuali, con una densità media di un campione ogni 3 km<sup>2</sup>. In 998 siti è stata inoltre effettuata, utilizzando la strumentazione portatile SCINTREX GRS-500, una prospezione radiometrica per la rilevazione della radioattività dovuta a <sup>238</sup>U, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th e totale (U, Th, K).

Per la compilazione della cartografia geochemica i dati analitici sono stati elaborati utilizzando metodologie statistiche univariate e multivariate e Sistemi Informativi Geografici (GIS -Arc/View). Sono state prodotte 40 mappe tematiche geochemiche, relative alla distribuzione dei singoli elementi analizzati e alla distribuzione dei *factor scores*, per le associazioni di elementi scaturite dall'analisi fattoriale in "R-mode". In particolare per gli elementi ritenuti tossici per la salute umana (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) sono state compilate le mappe geochemiche di rischio per l'uso del territorio residenziale/ricreativo e commerciale/industriale, prendendo a riferimento le concentrazioni limite fissate dal Canada e dall'Olanda per i sedimenti fluviali, in considerazione del fatto che in Italia tali soglie non sono state ancora fissate.

**PAROLE CHIAVE:** Geochemica ambientale; Cartografia geochemica; Inquinamento; Fiume Volturno; Sedimenti fluviali.

**ABSTRACT** - The main aim for the compilation of an environment geochemical mapping is to represent spatially the metallic element regional trends and to furnish an useful tool for land planning use.

The Volturno river basin is an area highly inhabited, with a large agricultural and industrial development.

In the Volturno river basin territory (5455 Km<sup>2</sup>) have been collected 1859 stream sediment samples with a nominal density of 1 sample per 3 Km<sup>2</sup>. In 998 sites has been carried out a radiometric survey for the <sup>238</sup>U, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th and total (U,Th,K) radioactivity determinations, using a portable instrument (GRS-500 of Scintrex Ltd., Canada).

For the compilation of the multielements geochemical maps, the analytical data have been elaborated using univariate and multivariate statistics and a GIS (Arc/View). Fourty thematic geochemical maps reporting the distribution of single element and factor scores from R-mode factor analysis associations, have been compiled.

For toxic elements (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) have been also produced geochemical intervention maps for residential/recreational and industrial/commercial land use, using as intervention criteria the threshold adopted for stream sediments by Canada and Netherlands, because in Italy have not been established yet by law such intervention limits for stream sediments.

**KEY WORDS:** Environmental geochemistry; Geochemical mapping; Pollution; Volturno river; Stream sediments.

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Via Mezzocannone 8, 80134 Napoli (e-mail: bdevivo@unina.it).

(\*\*) Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali, Università degli Studi del Sannio.  
Via Port'Arsa 11, 82100 Benevento.



## 1. - INTRODUZIONE

La compilazione della cartografia geochemica del territorio del bacino del fiume Volturno, fa seguito alla pubblicazione di monografie interessanti alcune regioni italiane (Calabria, Sardegna e Monti Peloritani - Sicilia), in cui esistevano dati geochemici pregressi, prodotti negli anni 70 e 80 nell'ambito dei progetti della ricerca mineraria di base da parte di istituzioni pubbliche quali RIMIN e Ente Minerario Sardo, per conto del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (BONI *et alii*, 1999; DE VIVO *et alii*, 1997, 1998a-d, 2001a, 2005).

La cartografia geochemica del bacino del fiume Volturno è stata compilata grazie ai finanziamenti ricevuti con un Progetto PRIN-MURST (1998-2000) e con una Convenzione stipulata con l'Autorità di Bacino dei fiumi Volturno e Liri-Garigliano. Il progetto PRIN-MURST si inquadra in un programma teso alla compilazione di una cartografia geochemica dell'intero territorio nazionale in scala 1:250.000. Queste iniziative sono inserite nel contesto europeo e mondiale che vede la partecipazione ai Progetti internazionali IAGC/IUGS 259 e FOREGS, che si propongono la compilazione di una cartografia geochemica ambientale del Globo Terrestre e dell'Europa (DARNLEY *et alii*, 1995; PLANT *et alii*, 1997). Queste iniziative, a scala europea e mondiale, hanno come finalità lo sviluppo di programmi strategici atti a determinare i valori naturali (*baselines*) per documentare l'inquinamento della superficie terrestre nel contesto delle variazioni geochemiche naturali, rispetto alle quali possono poi essere misurate le variazioni future imputabili ad attività antropiche. Per raggiungere questo scopo e per poter compilare una cartografia a scala globale, il Globo Terrestre è stato suddiviso in celle di 120 x 120 km (Global Reference Network - GRN) all'interno delle quali vengono raccolti diverse tipologie di campioni (suoli, acque, sedimenti fluviali attivi e di pianie alluvionali).

La campionatura GRN è già stata completata in Cina, in 27 Paesi europei (SALMINEN *et alii*, 1998) e in parte della Russia. Le celle GRN che ricadono in Italia sono state campionate da ricercatori delle università di Padova, Siena e Napoli. La determinazione dei valori geochemici naturali (*baselines*) è certamente una priorità a livello globale e nazionale, in quanto è uno strumento strategico per la conoscenza e il controllo delle variazioni ambientali.

Per il bacino del fiume Volturno sono stati raccolti, ad integrazione di una campionatura pregressa di 861 siti, già effettuata negli anni 1997-99, 998 campioni di sedimenti fluviali, i cui siti ricadono 862 in Campania e 136 in Molise.

Per l'intera regione Campania i siti campionati per la raccolta di sedimenti fluviali sono circa 3000.

I dati geochemici derivanti dalle campagne geochemiche pregresse (861 campioni) e dalla nuova campionatura (998 campioni), sono stati utilizzati per la compilazione delle carte geochemiche relative alla distribuzione dei singoli elementi e dei *factor scores* delle associazioni fattoriali. Per un numero selezionato di elementi (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) sono state elaborate delle carte geochemiche di rischio, che fanno riferimento alle concentrazioni limite dei criteri di intervento fissati dal Canada e dall'Olanda relativamente ai sedimenti fluviali. È stato necessario fare riferimento ai criteri di intervento del Canada e dell'Olanda (CCME, 1995) in quanto in Italia il Ministero dell'Ambiente ha provveduto recentemente con apposito decreto (D.M. 471, 25 Ottobre 1999) a fissare le concentrazioni limite dei suoli e delle acque, per l'uso ricreativo/residenziale e commerciale/industriale del territorio e con il D.M. 367/2003 a fissare degli standards di qualità per i sedimenti di acque marino-costiere, lagune e stagni costieri, ma non ha ancora fissato le concentrazioni limite relativamente ai sedimenti fluviali.

Sull'intera area del bacino del fiume Volturno, oltre alla campionatura geochemica, è stata anche effettuata una prospezione radiometrica per la determinazione della radioattività sia parziale (U, Th, K) che totale. Sono state inoltre eseguite, in 972 siti, misure di pH e conducibilità delle acque.

È comunque da mettere in evidenza che la cartografia geochemica a scala regionale, come questa del bacino del Volturno e quelle già realizzate per la Calabria, la Sardegna, i Monti Peloritani (Sicilia) e la Campania (BONI *et alii*, 1999; DE VIVO *et alii*, 1997, 1998a-d; 2001a, 2005) non è utilizzabile per la determinazione delle concentrazioni *background* che devono servire da riferimento, a livello locale, per gli interventi ambientali di messa in sicurezza e bonifica di siti contaminati. Deve essere chiaro che la cartografia geochemica, prodotta utilizzando i sedimenti fluviali attivi, individua solo le aree a rischio potenziale a scala regionale, mentre, a scala locale, per la definizione reale delle aree a rischio, è indispensabile procedere all'effettuazione di campionature accurate dei suoli e delle acque, sia superficiali che sotterranee, per valutare non solo l'entità dell'inquinamento sulla base dei dettati del D.M. 471/1999, ma anche, mediante opportune metodiche, la bio-disponibilità degli elementi tossici nell'ambiente (CICCHELLA *et alii*, 2003; 2005; DE VIVO *et alii*, 2005a; LIMA *et alii*, 2003).

## 2. - CAMPIONI, ANALISI CHIMICHE E PROSPEZIONE RADIOMETRICA

Per l'elaborazione della cartografia geochemica del bacino del fiume Volturno sono stati utilizzati in totale i dati analitici di 1859 campioni. Per molti ele-

menti (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Ti, B, Ba, Cr, Cu, La, Mn, Ni, Pb, Sr, Th, V e Zn) è stato possibile elaborare insieme i dati delle campionature pregresse con i dati di nuova acquisizione; per altri elementi invece (As, Bi, Cd, Co, Ga, Mo, Sb, Se, Te, Tl, U, W, Ag, Au e Hg) ciò non è stato possibile in quanto la metodologia analitica utilizzata (ICP-ES) per la prima campionatura aveva limiti di rilevabilità stru-

mentali molto diversi dalla metodologia analitica utilizzata nella seconda (ICP-MS/ICP-ES). La tabella 1 riporta i limiti di rilevabilità strumentale, l'accuratezza e la precisione relative alle determinazioni analitiche della campionatura pregressa (861 campioni-ICP-AES) e della nuova campionatura (998 campioni - ICP-MS/ICP-ES) di sedimenti fluviali.

La tavola 1 mostra l'ubicazione di tutti i siti cam-

Tab. 1 - *Informazioni relative alle determinazioni analitiche dei campioni.*  
- Detection limits and quality control parameters.

ELEMENTI	LIMITE DI RILEVABILITÀ STRUMENTALE ICP-AES	LIMITE DI RILEVABILITÀ STRUMENTALE ICP-MS/ICP-AES	ACCURATEZZA (SU 37 ANALISI DI STANDARDS A COMPOSIZIONE NOTA) %	PRECISIONE (%RPD) (VALORE MEDIO SU 34 REPLICATI DI CAMPIONI)
Al (%)	0,01	0,01	1,2	6,3
Ca (%)	0,01	0,01	3,8	3,4
Fe (%)	0,01	0,01	6,3	4,9
K (%)	0,01	0,01	0,0	6,7
Mg (%)	0,01	0,01	0,0	6,1
Na (%)	0,01	0,001	0,0	7,7
P (%)	0,001	0,001	12,5	7,5
Ti (%)	0,01	0,001	17,4	20
As (mg/Kg)	2	0,1	2,2	7,5
B (mg/Kg)	3	1	2,3	14,8
Ba (mg/Kg)	1	0,5	4,5	6,9
Bi (mg/Kg)	-	0,02	0,6	9,9
Cd (mg/Kg)	0,2	0,01	2,2	9,4
Co (mg/Kg)	1	0,1	6,9	6,6
Cr (mg/Kg)	1	0,5	4,5	12,2
Cu (mg/Kg)	1	0,01	1,4	7,2
Ga (mg/Kg)	-	0,02	1	5,2
La (mg/Kg)	1	0,5	6,9	9,1
Mn (mg/Kg)	2	1	4,3	3,9
Mo (mg/Kg)	1	0,01	0,2	9,4
Ni (mg/Kg)	1	0,1	2,9	7,6
Pb (mg/Kg)	3	0,01	2,7	4,7
Sb (mg/Kg)	2	0,02	0,2	11,5
Se (mg/Kg)	-	0,1	1,7	19,7
Sr (mg/Kg)	1	0,5	0,1	4,4
Te (mg/Kg)	-	0,02	0,6	26,6
Th (mg/Kg)	2	0,1	15,9	6,5
Tl (mg/Kg)	-	0,02	4,3	8,3
U (mg/Kg)	5	0,1	3,8	6,3
V (mg/Kg)	1	2	7,5	8,4
W (mg/Kg)	2	0,2	5,9	17,4
Zn (mg/Kg)	1	0,1	1,9	5,9
Ag (µg/Kg)	300	2	11,7	15
Au (µg/Kg)	2000	0,2	1,2	30
Hg (µg/Kg)	1000	5	4	27

pionati in riferimento al reticolo idrografico del bacino. La campionatura nell'ambito del Progetto MURST-PRIN, interessante l'intera Regione Campania, di cui il bacino del Volturno rappresenta una parte, è stata effettuata seguendo una griglia prefissata di 5 km<sup>2</sup>, per una superficie complessiva di circa 5455 km<sup>2</sup>; per il totale di 1859 campioni (campionature pregresse degli anni 1996-97 più nuova) la densità è in media di circa 1 campione ogni 3 km<sup>2</sup>.

In laboratorio i campioni sono stati essiccati a freddo, con lampade a infrarosso ad una temperatura <35 °C, e successivamente setacciati per selezionare la frazione inferiore a 100 mesh (<150 micron), ottimale per la determinazione del contenuto in elementi metallici.

Le analisi sono state eseguite presso i laboratori ACME Analytical Laboratories Ltd, Vancouver, Canada attraverso la propria affiliata italiana ERS Srl (Napoli). Le campionature pregresse (861 campioni) sono state analizzate con ICP-ES (Spettroscopia di emissione con sorgente al plasma) per la determinazione di 30 elementi chimici (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sr, Th, Ti, U, V, W e Zn). Per la nuova campionatura di 998 campioni, utilizzando il pacchetto analitico "1F-MS" del gruppo ACME sono stati determinati 35 elementi (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W e Zn), attraverso una metodologia analitica che combina l'ICP-MS (Spettrometria di massa con sorgente al plasma) e l'ICP-ES.

La prospezione radiometrica è stata effettuata con una strumentazione portatile GRS-500 della Scintrex Ltd (Ontario, Canada). Tale strumento rileva con misure consecutive, su tempi opportunamente selezionati, le radiazioni gamma sia in modo cumulativo che in modo selettivo ossia per particolari intervalli di energia (espressi in MeV) relativi ai principali radionuclidi naturali: <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K (tab. 2) (DE VIVO *et alii*, 2005; LIMA *et alii*, 2005).

Sui 5455 km<sup>2</sup> del territorio del bacino del fiume Volturno i siti utilizzati come stazioni di misura sono 998, con una densità nominale media di una stazione ogni 5 km<sup>2</sup>.

### 3. - ANALISI STATISTICA ED ELABORAZIONE DEI DATI PER LA COMPILAZIONE DELLE CARTE GEOCHIMICHE

L'elaborazione dei dati statistici per la compilazione delle carte geochimiche è stata eseguita con le stesse procedure e metodologie riportate in DE VIVO *et alii* (2003; 2004) e CICHELLA e ALBANESE, 2004.

I parametri statistici di tutti gli elementi analizzati, ottenuti con il programma Probplot (STANLEY, 1987) sono riportati nella tabella 3; le figure da 1 a 9 mostrano invece gli istogrammi di frequenza con le relative curve cumulative. La costruzione dei *box plots* è stata eseguita con il programma Kaleidagraph. Le tavole da 7 a 41 illustrano le carte geochimiche elaborate con il GIS Arc/View. Per l'analisi fattoriale è stato utilizzato il programma G-Rfac (MIESCH PROGRAMS, 1990) mentre per la digitalizzazione del reticolo idrografico e della carta geologica è stato utilizzato il programma Autocad.

L'interpolazione dei dati spaziali, per il computo delle concentrazioni delle singole celle, è stata eseguita utilizzando il metodo dell'inverso della distanza al quadrato (IDW). Le concentrazioni per ogni singola cella sono state riclassificate sotto forma di percentili. Nel nostro caso è stata utilizzata una cella che copre un'area di 500 m x 500 m, con una incidenza fino a 2 km. I colori riflettono gli intervalli di concentrazione scelti in corrispondenza dei percentili 5, 10, 25, 50, 68, 75, 90, 95, 97, 99 e 100%.

Nelle tavole 7 - 41, oltre alla rappresentazione dei dati interpolati sono indicati gli intervalli di concentrazione dei singoli punti campionati; gli intervalli scelti e rappresentati da pallini pieni di dimensioni crescenti, sono corrispondenti a valori inferiori al percentile 25,

Tab. 2 - Parametri strumentali delle misure di radioattività (SCINTREX GRS-500).  
- Instrumental parameters of the radioactivity measurements (SCINTREX GRS-500).

tc1- Radioattività totale	> 0.08 MeV	Radiazioni gamma totali > 0.08 MEV
tc2 - Radioattività totale	> 0.40 MeV	Radiazioni gamma totali > 0.40 MeV
k - <sup>40</sup> K	tra 1.35 e 1.59 MeV	I conteggi misurati sono dovuti al <sup>40</sup> K, <sup>228</sup> Ac, <sup>214</sup> Bi ed eventi Compton (code) del <sup>214</sup> Bi e <sup>208</sup> Tl
u - <sup>238</sup> U	tra 1.65 e 1.87 MeV	I conteggi misurati sono dovuti a <sup>214</sup> Bi ed agli eventi Compton (code) del <sup>214</sup> Bi e <sup>208</sup> Tl
t - <sup>232</sup> Th	> 2.45 e 2.79 MeV	I conteggi sono dovuti al <sup>208</sup> Tl; circa il 4-6% dei conteggi derivano dalle radiazioni gamma del <sup>214</sup> Bi



Tab. 3 - *Parametri statistici dei dati geochimici relativi ai campioni del territorio del bacino del fiume Volturno.*  
 - Statistical parameters of the geochemical data from the Volturno river basin stream sediment samples.

ELEMENTI	CAMPIONI	MASSIMO	MINIMO	MEDIA	MEDIANA	DEVIAZIONE STANDARD
Al (%)	1859	7,84	0,29	1,96	1,55	1,25
Ca (%)	1859	27,19	0,31	7,09	6,42	4,04
Fe (%)	1859	12,6	0,33	2,27	2,04	1,08
K (%)	1859	3,82	0,03	0,41	0,29	0,39
Mg (%)	1859	8,81	0,05	0,67	0,47	0,84
Na (%)	1859	2,02	0,01	0,07	0,04	0,12
P (%)	1859	0,67	0,01	0,08	0,07	0,05
Ti (%)	1859	0,74	0,001	0,07	0,03	0,08
As (mg/Kg)	998	48	0,1	8	7	4
B (mg/Kg)	1859	65	1	8	7	4
Ba (mg/Kg)	1859	1429	28	197	165	121
Bi (mg/Kg)	998	7,4	0,03	0,3	0,3	0,3
Cd (mg/Kg)	998	6,4	0,03	0,4	0,2	0,5
Co (mg/Kg)	998	59	2	12	11	6
Cr (mg/Kg)	1859	131	3	20	18	10
Cu (mg/Kg)	1859	830	4	37	30	35
Ga (mg/Kg)	998	15,4	0,9	5,1	4,5	2,6
La (mg/Kg)	1859	121	2	24	18	16
Mn (mg/Kg)	1859	6785	115	1015	864	659
Mo (mg/Kg)	998	4,5	0,2	0,9	1,1	0,4
Ni (mg/Kg)	1859	104	3	24	21	12
Pb (mg/Kg)	1859	570	3	30	21	31
Sb (mg/Kg)	998	11	0,04	0,4	0,3	0,5
Se (mg/Kg)	998	2,9	0,1	0,4	0,4	0,2
Sr (mg/Kg)	1859	824	30	174	168	80
Te (mg/Kg)	998	0,59	0,02	0,06	0,05	0,04
Th (mg/Kg)	1859	71	1	8	6	7
Tl (mg/Kg)	998	2,84	0,05	0,55	0,36	0,5
U (mg/Kg)	998	10,2	0,2	1,5	1	1,4
V (mg/Kg)	1859	366	6	52	39	39
W (mg/Kg)	998	2,1	0,2	0,4	0,3	0,4
Zn (mg/Kg)	1859	1667	8	82	63	91
Ag (µg/Kg)	998	17459	2	107	46	578
Au (µg/Kg)	998	669	0,2	13	4	39
Hg (µg/Kg)	998	6286	5	115	44	358

compresi fra i percentili 25 e 50, fra 50 e 75, fra 75 e 97,5, fra 97,5 e 99,9 e superiori al percentile 99,9. In ogni carta vengono riportati anche i parametri statistici dei dati originali non interpolati e il relativo box-plot.

Le carte della distribuzione della radioattività (tav. 42 – 46) e dei *factor scores* (ottenuti dall'analisi fattoriale) (tavole 47 – 51) sono state compilate con la stessa metodologia utilizzata per la compilazione delle carte della distribuzione delle concentrazioni dei singoli elementi chimici (tavole 7 – 41).

Per le carte di rischio (tavole 52 – 59) il valore attri-

buito 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. Per le carte di rischio si è quindi dato più peso al contributo locale rispetto a quello regionale. Nella griglia utilizzata, una singola cella copre una superficie di 500 m x 500 m. In queste carte le concentrazioni per ogni singola cella sono riclassificate considerando come concentrazioni limite per i sedimenti fluviali, le soglie di intervento fissate dal Canada e dall'Olanda (tab. 4).

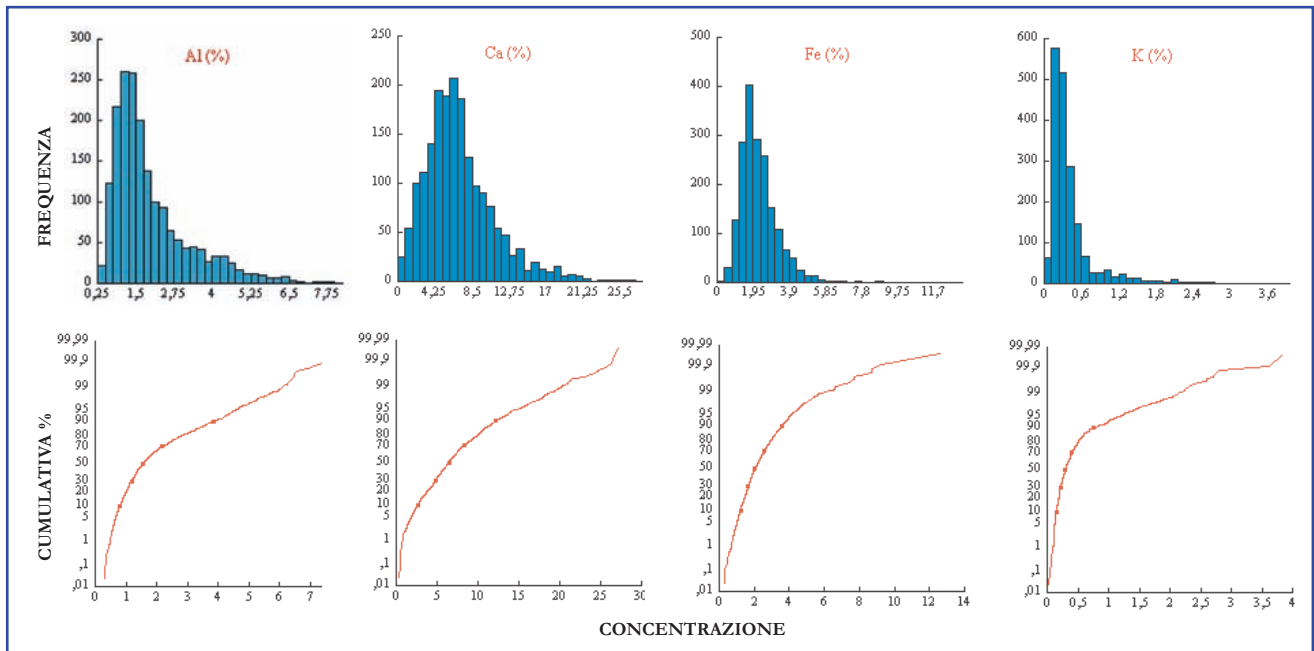


Fig. 1 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di Al, Ca, Fe e K.  
- Histograms and cumulative frequency curves of Al, Ca, Fe and K.

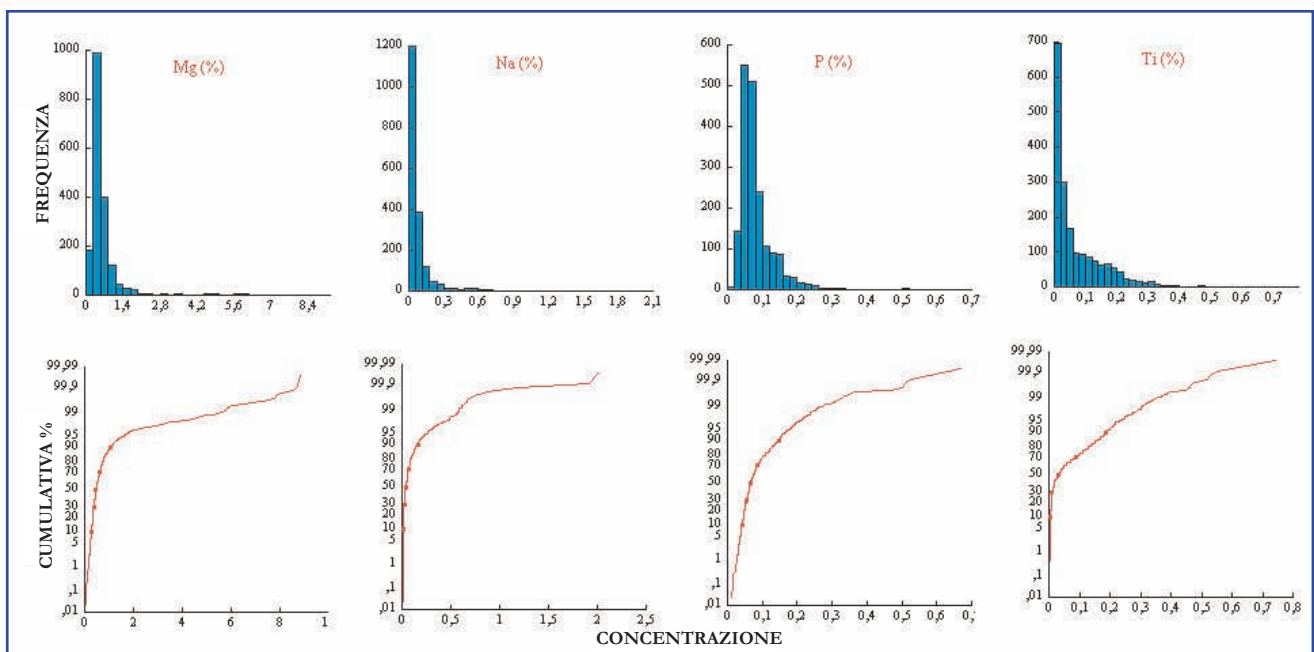


Fig. 2 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di Mg, Na, P e Ti.  
- Histograms and cumulative frequency curves of Mg, Na, P and Ti.

#### 4. -FISIOGRAFIA

Il fiume Volturno, antico *Volturnus* o *Vulturnus*, per portata d'acqua, con valori di 98 mc/sec., rappresenta il maggiore corso d'acqua dell'Italia meridionale; raccoglie infatti le acque di un bacino imbrifero di circa 5455 km<sup>2</sup>, escluso il tratto che va da Capua al mare, dove il fiume scorre tra argini e non

ha più bacino. Per la lunghezza del corso, circa 185 km, è il quarto fiume dell'Italia Centro-Meridionale dopo il Tevere, l'Arno e il Liri-Garigliano. È un fiume rapido e profondo, ma torbido, le piene non sono frequenti, ma talvolta gravi. Nasce nel Molise, alla base delle propaggini orientali del gruppo orografico delle Mainarde, in provincia di Isernia. Le sue sorgenti, a circa 548 m s.l.m., in prossimità del-

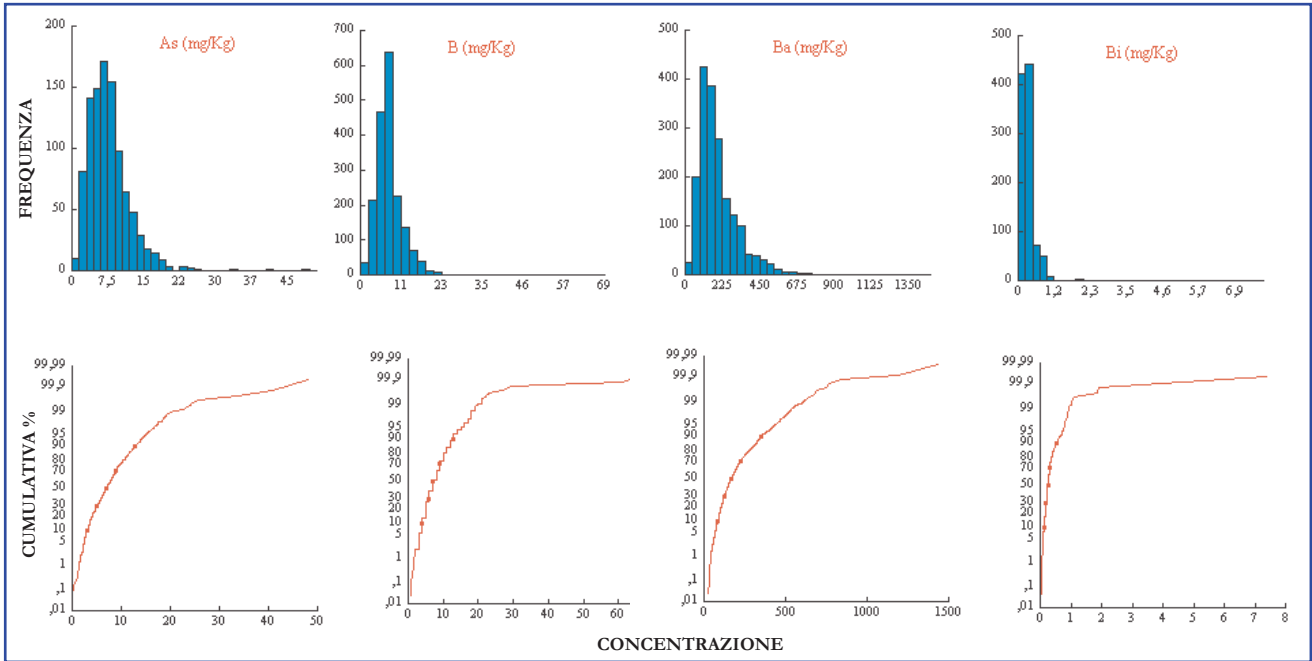


Fig. 3 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di As, B, Ba e Bi.  
 - Histograms and cumulative frequency curves of As, B, Ba and Bi.

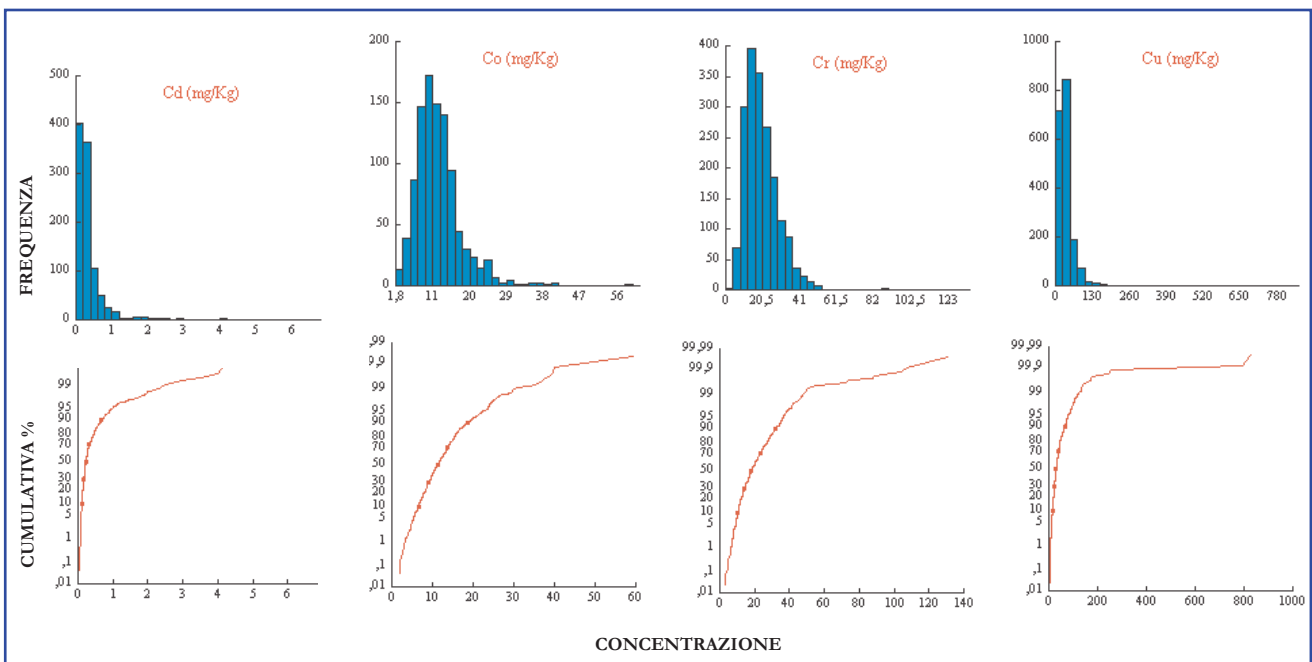


Fig. 4 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di Cd, Co, Cr e Cu.  
 - Histograms and cumulative frequency curves of Cd, Co, Cr and Cu.

l'abitato di Rocchetta a Volturno, dette di Capo Volturno, sono di tipo carsico e danno un apporto medio costante di circa 6,9 mc/sec.

Il primo tratto, a carattere torrentizio, attraversa le anguste valli di Cerro e Colli a Volturno, presso Macchia di Isernia, poco prima di entrare nel territorio della Campania, riceve da sinistra il Cavaliere che gli convoglia le acque della conca d'Isernia.

Dopo avere attraversato la piana di Venafro con direzione prevalentemente meridiana, dopo la chiusa di Colle Torcino, dove parte della sua portata viene immessa in una condotta forzata che, attraverso la centrale di Montelungo, trasferisce le acque nel bacino del Liri-Garigliano, il Volturno devia verso SE attraversando le piane di Alife e di Telesse, fra i gruppi montuosi del Matese e del monte

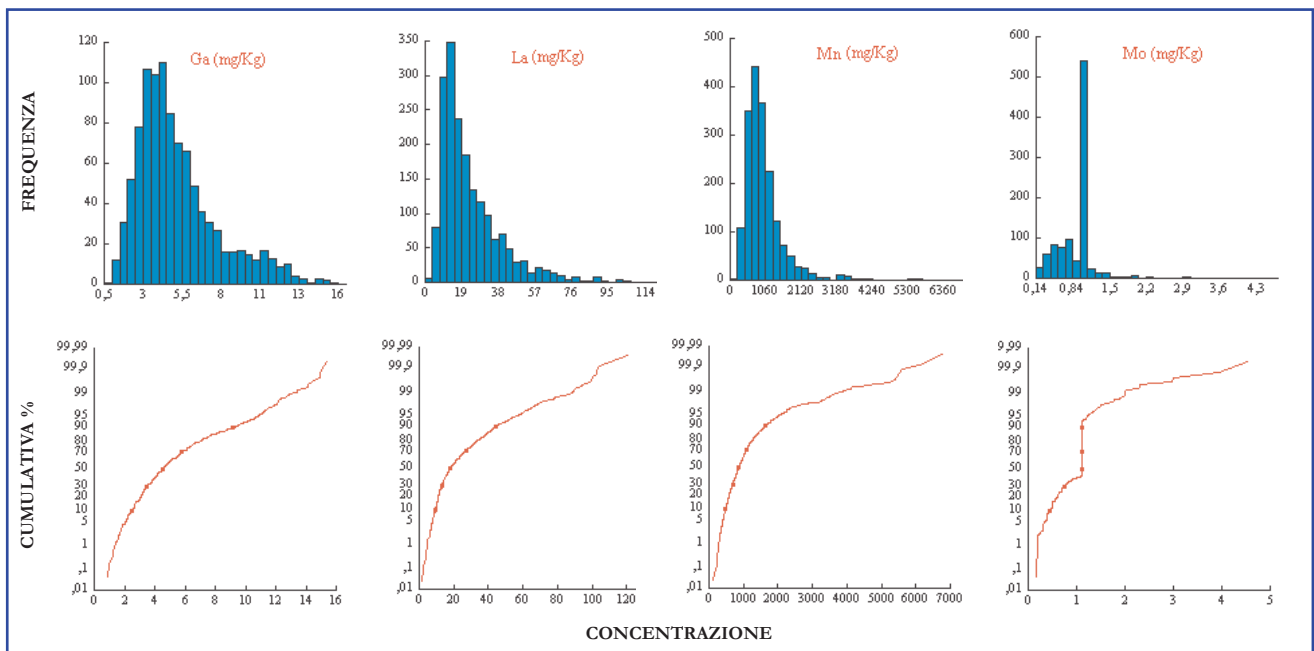


Fig. 5 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di Ga, La, Mn e Mo.  
- Histograms and cumulative frequency curves of Ga, La, Mn and Mo.

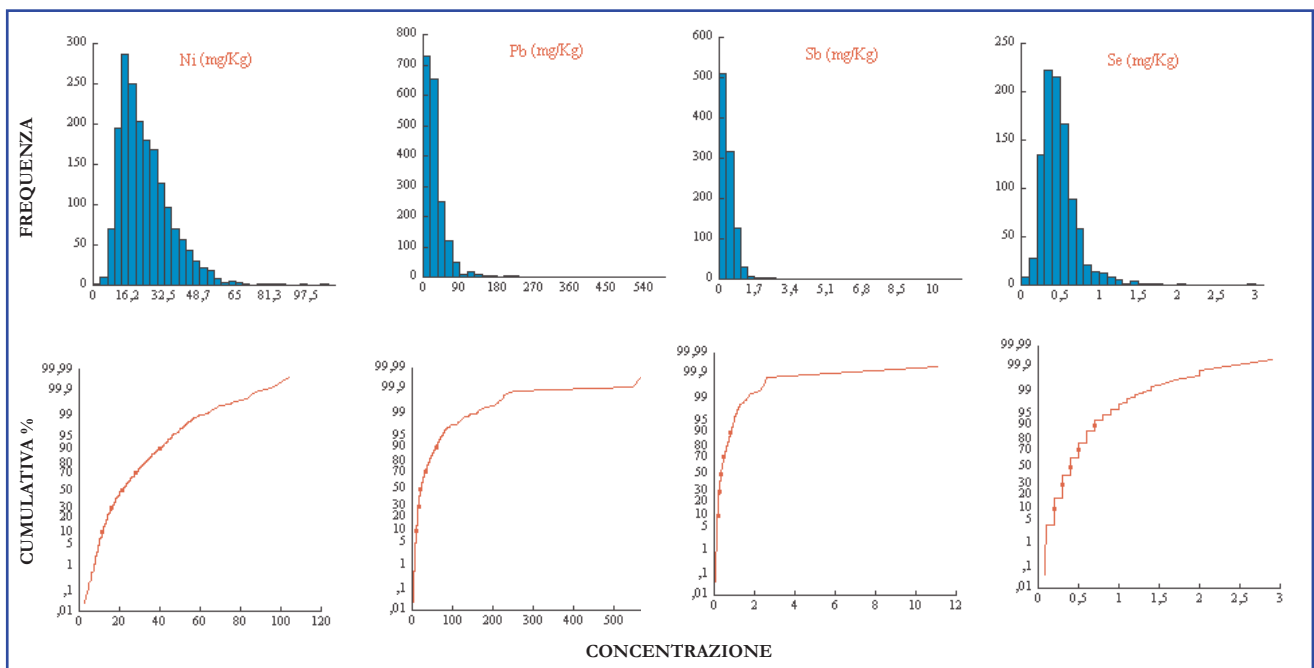


Fig. 6 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di Ni, Pb, Sb e Se.  
- Histograms and cumulative frequency curves of Ni, Pb, Sb and Se.

Maggiore, dalle cui pendici scendono, con percorsi ripidi, affluenti di sinistra come il Lete (portata media 2.2 mc/sec.), il Torano (portata media 3-4 mc/sec.) e il Tiverno (con lunghi periodi di magra). Presso Castel Campagnano il Volturno riceve, pure

da sinistra, le acque del Calore (108 km di lunghezza e un bacino imbrifero di 3058 km<sup>2</sup>), il maggiore dei suoi affluenti. Il Calore nasce dal versante settentrionale dei monti Picentini, scorre verso nord fino alla confluenza con l'Ufita, poi devia il suo corso verso



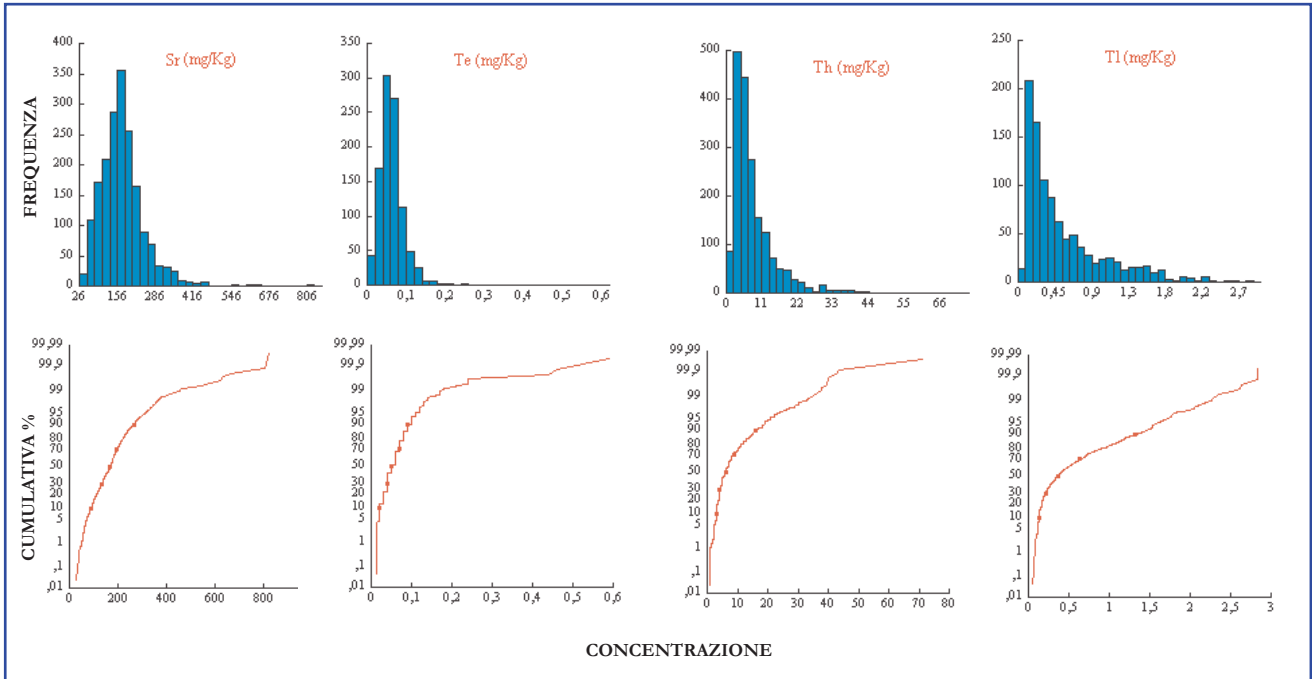


Fig. 7 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di Sr, Te, Th e Tl.  
- Histograms and cumulative frequency curves of Sr, Te, Th and Tl.

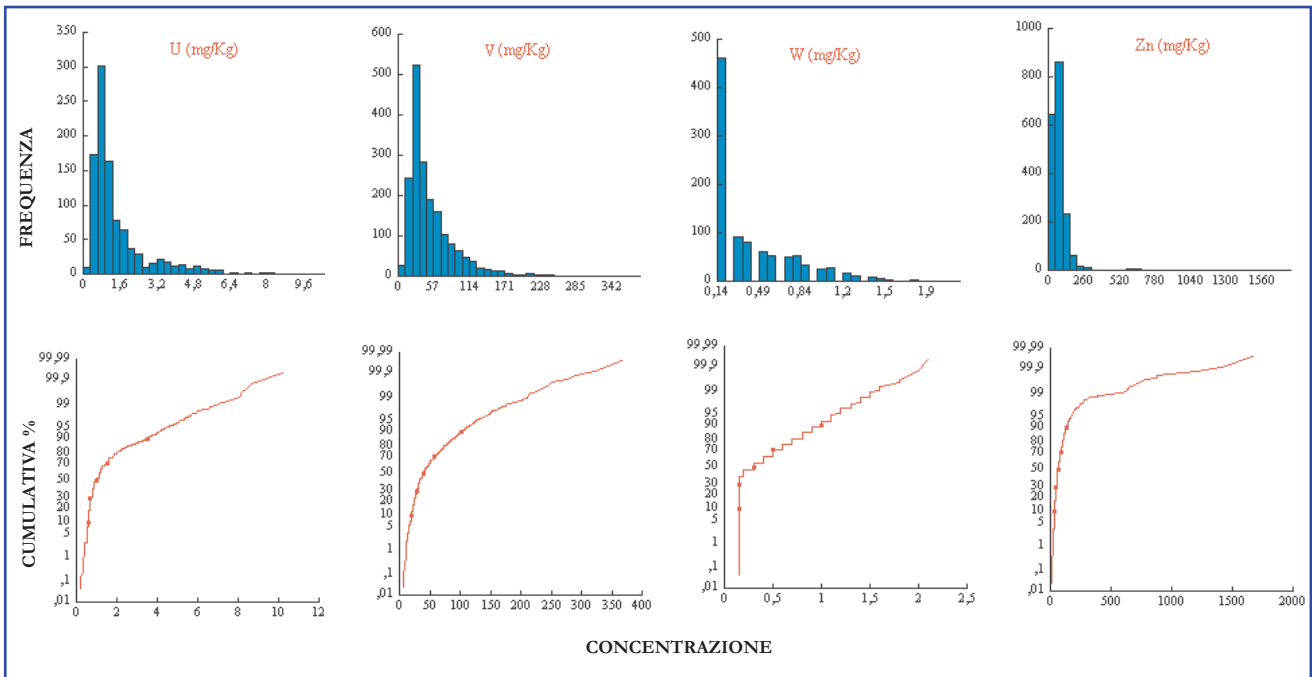


Fig. 8 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di U, V, W e Zn.  
- Histograms and cumulative frequency curves of U, V, W and Zn.

ovest ricevendo a destra il Tamaro e a sinistra il Sabato presso Benevento. Dopo la conca beneventana, prosegue fra Monte Mutria e il Monte Camposauro; in prossimità di Teleso riceve le limpide acque delle sorgenti del Grassano (portata media

5.5 mc/sec.), e presso Amorosi confluisce nel Volturno con un largo contributo in acqua. Nel suo tratto inferiore il Volturno si dirige verso ovest-sud-ovest, presso Limatola riceve l'Isclero (portata media 0.7 mc/sec.), proseguendo con giri tortuosi e chiude

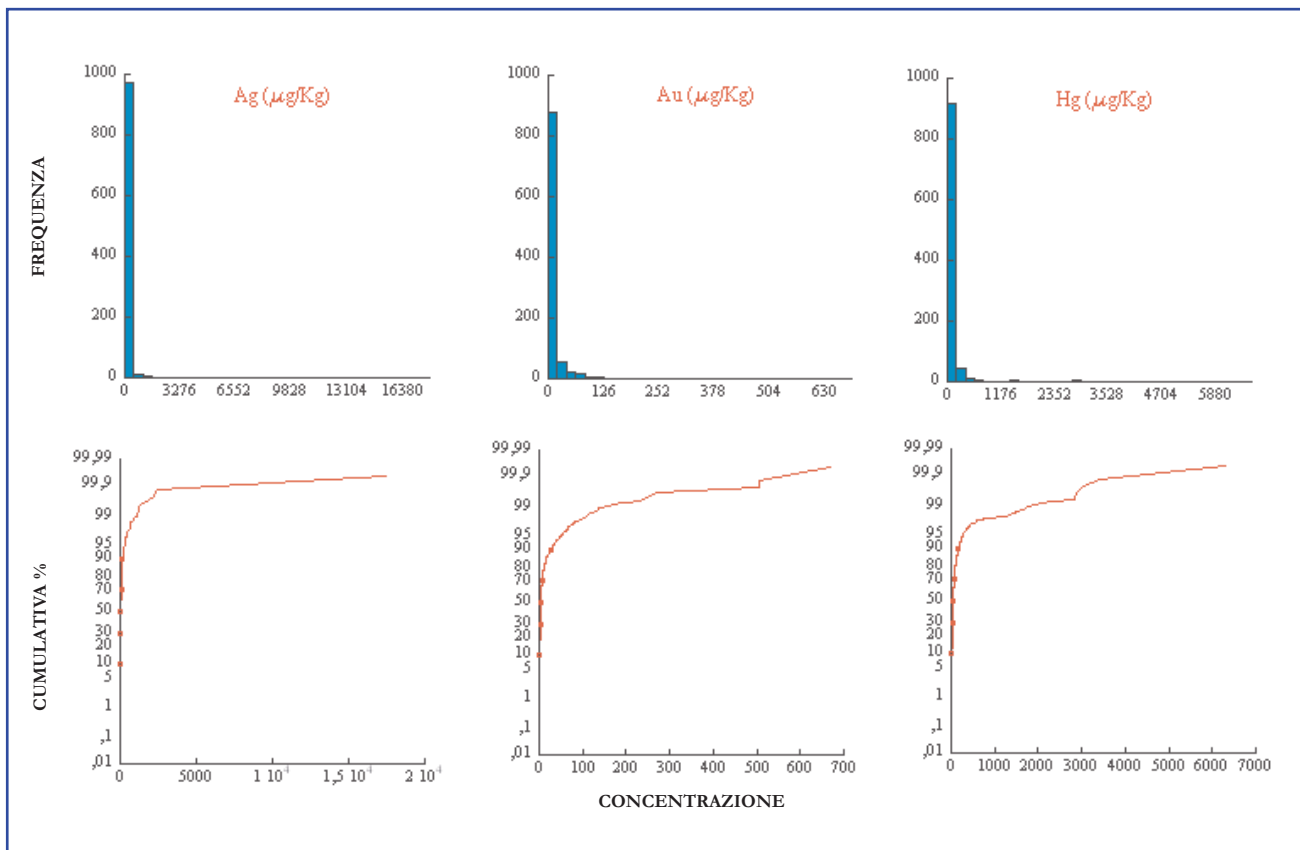


Fig. 9 - Istogrammi e curve cumulative di frequenza di Ag, Au e Hg.  
 - Histograms and cumulative frequency curves of Ag, Au and Hg.

Tab. 4 - Criteri di intervento fissati dal Canada e dall'Olanda relativamente ai sedimenti fluviali (CCME,1995).

- Canadian and Netherlands intervention criteria for the stream sediments (CCME,1995).

ELEMENTI	OLANDA	CANADA
As (mg/Kg)	55	33
Cd (mg/Kg)	7,5	10
Cr (mg/Kg)	380	111
Cu (mg/Kg)	90	114
Hg (µg/Kg)	1600	2000
Ni (mg/Kg)	45	90
Pb (mg/Kg)	530	250
Zn (mg/Kg)	720	80

con un'ansa la città di Capua; poi, sempre con un corso tortuoso attraversa un tratto della Piana Campana, un tempo paludosa e malarica ma oggi bonificata, fino al Tirreno dove si getta, con una foce a delta presso l'abitato di Castel Volturno.

5. - GEOLOGIA

Il bacino del fiume Volturno si sviluppa prevalentemente a ridosso del versante occidentale dell'Appennino Campano interessando poi una parte della Piana Campana. Attraversa aree caratterizzate da un notevole contrasto di forme, riconducibili a quattro tipi morfologici dominanti: le grandi masse montuose, altimetricamente più elevate e dotate di ripide pareti che si sviluppano a più altezze lungo i versanti; i rilievi montuosi minutamente cesellati in forme diverse, con morfologia rapidamente mutevole a causa delle variazioni litologiche sia verticali che laterali; la zona collinare, con pendii dolci e declivi dove l'erosione fluviale ha favorito la formazione di vari ordini di terrazzi alluvionali, sospesi a varie altezze sui versanti, in particolar modo lungo la valle del fiume Calore; le zone pianeggianti colmate da sedimenti fluvio-lacustri e da materiale di origine vulcanica (tav. 2).

Dal punto di vista geologico la catena appenninica è un edificio Neogenico a falde di ricoprimento che ha coinvolto unità sedimentarie da Mesozoiche a Paleogene, derivanti da domini paleogeografici differenti, localizzati sul margine continentale della

placca Africana. L'accavallamento di queste falde inizia dalla collisione continentale tra il margine della placca africana e la placca europea sardo-corsa che nell'Oligocene porta alla chiusura di un tratto della Tetide Giurassica. Ciò è testimoniato dagli affioramenti ofiolitici presenti in Liguria, Toscana, Calabria che sovrascorrono le rocce carbonatiche mesozoiche dell'Appennino (BONARDI *et alii*, 1988; PATACCA *et alii*, 1990; APRILE *et alii*, 1992). Nel Tortoniano superiore movimenti estensionali molto spinti coinvolgono il sistema appenninico che è interessato da ampie zone di rifting e di subsidenza. Con la progressiva migrazione del sistema appenninico sull'avampaese Padano-Adriatico-Ionico si assiste all'apertura del bacino tirrenico e contemporaneamente lungo il margine dell'avampaese adriatico si sviluppano vistose strutture compressive alle quali fanno da controparte, sul margine tirrenico, strutture estensionali allungate all'incirca parallelamente ai fronti di compressione. La distribuzione spaziale di tali strutture è complicata dalla presenza di lineamenti tettonici trasversali e dallo sviluppo di segmenti della catena con movimenti differenziali (PATACCA *et alii*, 1990). L'arco appenninico acquisisce nel corso del Pliocene superiore e del Pleistocene inferiore una configurazione prossima a quella attuale. Dal Pleistocene medio (Siciliano) si ha una variazione della zona compressiva che dal fronte della catena si sposta al fronte dell'Arco Calabro. Si assiste quindi a sollevamenti della catena appenninica ed alla generazione di faglie per lo più a direzione appenninica sia dirette che trascorrenti alle quali si associa una consistente attività vulcanica che dà luogo al magmatismo potassico del margine tirrenico italiano (Roccamonfina, Somma Vesuvio, Campi Flegrei, Ignimbrite Campana) datato dal Pleistocene superiore al Presente (DE VIVO *et alii*, 1993; DE VIVO & ROLANDI, 2001; ORSI *et alii*, 1999; SPERA *et alii*, 1998; TURCO & ZUPPETTA, 1998).

La Piana Campana rappresenta un grande graben individuatosi probabilmente nel Pliocene superiore (IPPOLITO *et alii*, 1973) e subsidente durante tutto il Quaternario (1600 m/MA). La struttura generale è ben riconoscibile ai bordi della pianura, ove si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE che hanno determinato rigetti verticali, nel Quaternario, dell'ordine di 5.000 m con conseguente graduale sprofondamento delle rocce carbonatiche, appartenenti a distinte unità tettoniche sovrapposte, affioranti tutto intorno al graben. L'entità di tale sprofondamento, riempito con notevoli spessori di depositi alluvionali e vulcanici, ancora oggi è controversa. La profondità alle quali si sarebbero trovate le unità carbonatiche nella zona del basso corso del fiume Volturno, così come in prossimità dei Campi Flegrei, si aggirerebbe intorno ai 4.000-4.500 m (AGIP, 1986).

Così come illustrato nella carta geologica del bacino del fiume Volturno (tav. 2) i sedimenti quaternari sono raggruppati in:

- Alluvioni, sedimenti lacustri e lagunari, depositi morenici, conglomerati alluvionali dislocati, presenti maggiormente nei fondovalle lungo i percorsi fluviali (Olocene).

- Detriti di falda. Si sviluppano maggiormente lungo i fianchi dei rilievi carbonatici, dove le ampie conoidi di deiezione e le continue fasce detritiche ne addolciscono la morfologia verso la base, ricordando gli aspri profili con quelli più morbidi e dolci del fondovalle (Olocene – Pleistocene superiore).

- Lave potassiche, ultrapotassiche e depositi piroclastici del vulcano di Roccamonfina, presenti sul bordo nord occidentale del bacino in prossimità dell'omonimo vulcano (e.g. Ignimbrite Campana; DE VIVO *et alii*, 2001b; ROLANDI *et alii*, 2003).

- Piroclastiti da flusso, depositi piroclastici da caduta e depositi vulcano-sedimentari, dei vulcani Roccamonfina, Campi Flegrei, Vesuvio e Ignimbrite Campana, affioranti nella Piana Campana e sparsi sui versanti sud-occidentali della catena appenninica.

Le Unità neogeniche tardo-tettoniche, sono rappresentate da:

- *Unità di Ariano*: Successioni terrigene regressive, di ambiente generalmente neritico, caratterizzate dal basso da argille grigio azzurre, argille sabbiose, sabbie e conglomerati (Pliocene medio - inferiore); affiora nella porzione sud orientale del bacino del Volturno.

- *Unità di Altavilla e Villamaina*: Depositi evaporitici (formazione gessoso-solfifera), conglomerati, sabbie, arenarie e argille con facies variabili da litorale a batiale (Pliocene inferiore - Tortoniano superiore); affiora, nel bacino del Volturno, ad est dei Monti Picentini.

- *Unità di Frosolone*: Sedimenti terrigeni, calcareniti siltiti e arenarie, con facies di bacino prossimale (Miocene superiore). Affiora immediatamente a nord del Matese ed è in concordanza con l'Unità Molisana.

- *Formazione di Pietraroia*: Alternanze torbiditiche di calcari marnosi, marne, argille e arenarie (Tortoniano - Langhiano). Affiora nel bacino del Volturno, a ridosso dei Monti del Matese.

- *Unità Irpine Esterne*: Alternanze di arenarie ed argille con intercalazioni di marne e blocchi conglomeratici (Tortoniano inferiore - Langhiano superiore). Affiora, nel bacino del Volturno, con un piccolo lembo a est di Castelfranco.

- *Unità Irpine Interne*: Successioni prevalentemente arenacee, costituite da conglomerati e arenarie, marne e argille in strutture torbiditiche talora contenenti blocchi carbonatici di varie dimensioni (Tortoniano inferiore - Serravalliano). Affiorano ampiamente in tutta la parte centro meridionale del bacino.

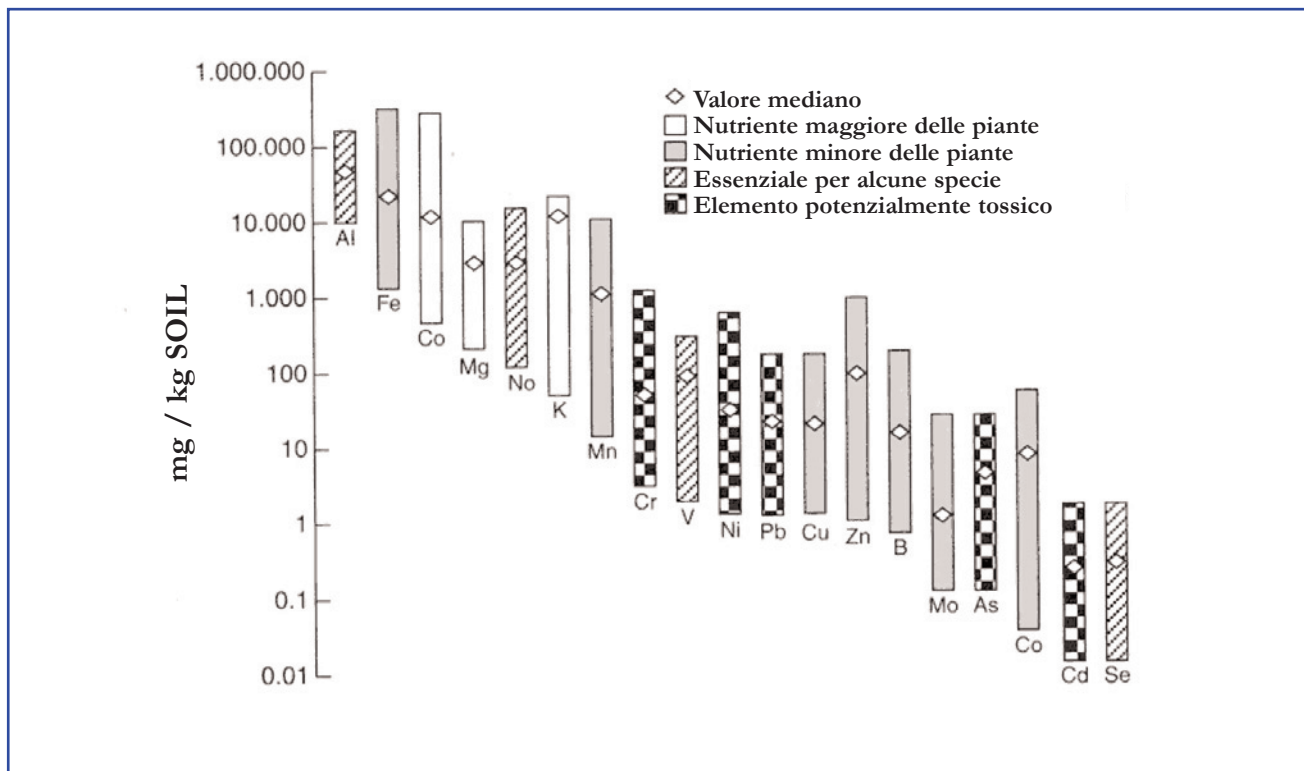


Fig. 10 - Intervalli tipici delle concentrazioni di metalli nei suoli non contaminati (da DE VIVO, 1995).  
 - Metal element concentration ranges in uncontaminated soils (from DE VIVO, 1995).

- *Flysch Numidico*: Successione prevalentemente quarzo-arenitica con livelli pelitici (Langhiano - Oligocene superiore). Affiora a sud-est dei Monti Matese in concordanza con le Unità Lagonegresi II.

Le unità stratigrafiche mesozoiche, risultanti dalla deformazione dei domini esterni appenninici sono rappresentate da:

- *Unità Molisane* (Complesso calcareo-silico-marnoso): dall'alto verso il basso, consta di calcareniti, siltiti e arenarie di prevalenti depositi di bacino con caratteri abbastanza prossimali (Miocene); ruditi e arenarie carbonatiche gradate, calcilutiti e marne (Paleogene - Cretacico); argilliti e radiolariti con intercalazioni vulcaniche (Giurassico), dolomie con selce (Lias<sup>2</sup>- Trias). Affiora immediatamente a nord del Matese, nella parte del Molise attraversata dal fiume Volturno.

- *Unità Matese - Monte Maggiore* (Piattaforma abruzzese-campana): la successione, quasi interamente carbonatica nei termini medi e superiori (Cretacico superiore - Lias medio), è prevalentemente dolomitica nei termini più bassi (Lias inferiore - Trias superiore), Affiora ampiamente nella parte centro settentrionale del bacino del Volturno.

- *Unità Lagonegrese II* (Flysch Rosso): Formazioni sedimentarie con argilliti rosse e verdi, calcareniti e calciruditi e arenarie (Oligocene - Cretacico superiore). Affiora estesamente nell'area sud orientale

del bacino del Volturno.

- *Unità dei Monti Picentini - Taburno* (inclusi gli Aurunci occidentali) (Piattaforma campano-lucana): La successione, quasi interamente carbonatica nei termini medi e superiori con calcari a rudiste, presenta diffusi livelli carbonatici risedimenti (Cretacico superiore - Lias), è formata da dolomie, marne e calcareniti, scisti bituminosi, nei termini più bassi (Lias inferiore- Trias superiore). Affiora parzialmente lungo il margine sud occidentale del bacino del Volturno.

Le Unità derivanti dalla deformazione dei domini appenninici interni sono invece rappresentate da:

- *Unità Sicilidi*: Formazioni sedimentarie spesso caotiche con l'aspetto e i caratteri tipici delle argille varicolori; sono formate da arenarie e conglomerati di facies decisamente batiali (Miocene inferiore-Cretacico). Affiora a est dei rilievi calcarei nella parte più meridionale del bacino del Volturno.

## 6. - ATTIVITA' ECONOMICHE, USO DEL TERRITORIO E INQUINAMENTO

L'intero sistema idrografico del bacino del fiume Volturno ricade nelle province di Caserta e Benevento ed in parte in quelle di Avellino e di Isernia.



L'economia della valle del Volturno è stata sempre fortemente condizionata dalla morfologia dell'intero bacino, variamente articolata per l'alternanza di rilievi montuosi e collinari con zone pianeggianti. In tutte le epoche storiche essa si è basata sull'agricoltura, la zootecnica, l'attività commerciale, l'artigianato. L'industrializzazione è un fenomeno relativamente recente, sviluppatosi a partire dall'immediato dopoguerra, che si è via via potenziato in particolar modo laddove le infrastrutture hanno consentito il fiorire di zone industriali e l'accentrarsi di attività commerciali.

La tavola 3 illustra la distribuzione delle attività lavorative come risulta dai dati dell'ultimo censimento ISTAT (1996) per le industrie e l'artigianato. La tabella 5 mostra le aziende industriali attive sull'intero bacino e le unità lavorative in esse occupate; sia nella tavola 3 che nella tabella 5 non figurano solo i piccoli comuni con una presenza esigua di unità lavorative impegnate in attività industriali. Nella tavola 3 ad ogni comune è stato associato un grafico circolare suddiviso in spicchi. Ad ogni spicchio, di colore diverso, corrisponde un'attività industriale così come è indicato nelle suddivisioni sia della tabella 5 che della tavola 3. L'ampiezza dello spicchio è proporzionale al numero di attività presenti nello specifico settore; allo stesso modo, il diametro del diagramma circolare è proporzionale al numero totale di addetti nelle attività lavorative di tipo industriale. Dalla distribuzione ottenuta si evince che la fascia sud orientale del bacino, che si estende da Capua verso Benevento fino all'avellinese, ha una più fitta concentrazione di attività industriali. Il settore nord occidentale, fatta eccezione per i comuni di Isernia e Venafro, è meno interessato da attività industriali.

La tavola 4 illustra l'utilizzo del suolo in tutto il bacino del fiume Volturno (RUOCCO, 1970). Come si può constatare esso è fortemente influenzato dall'altimetria, che presenta un grado piuttosto elevato di montuosità, e dalla distribuzione dei suoli, legata a parecchi fattori pedogenetici. Per quanto concerne la natura del suolo, in tutto il bacino del Volturno l'apporto di materiali piroclastici, da parte delle limitrofe aree vulcaniche (Roccamonfina, Campi Flegrei, Vesuvio), assume particolare importanza. I suoli derivati dal mescolamento di materiali calcarei, argillosi e vulcanici sono diffusi su tutti i rilievi calcarei e raggiungono una considerevole potenza sulle basse falde poco acclivi, sui ripiani e in alcune valli e conche, assicurando grande rigoglio, ora alle colture legnose (vite, olivo, alberi da frutta), ora di bosco di castagno. Nelle aree pianeggianti, costituite da depositi di materiali vulcanici e alluvionali, si ritrovano le terre più fertili dell'intera Italia che, grazie anche al clima riescono ad assicurare un'alta resa

unitaria per una grande varietà di prodotti di tipo seminativo, seminativo-arborato ed altro.

Negli ultimi decenni comunque il processo di urbanizzazione, associato alla mancanza di una politica territoriale, ha eroso la superficie agricola dell'intera regione che è in continua diminuzione: dal 1970 al 1990 è calata di oltre 130.000 ettari con una flessione del 16,7%, superiore alla media nazionale (14%). La tendenza rimane confermata per il periodo compreso tra il 1990 e il 1995, con una riduzione di oltre 22.000 ettari.

Per quanto attiene alla composizione chimica dei suoli e quindi anche dei sedimenti, il fattore principale che regola il contenuto dei metalli nei suoli è la composizione della roccia madre. L'arricchimento o l'impoverimento di determinati elementi è poi condizionato dalla mobilità relativa dei metalli nelle condizioni che regolano l'ambiente di alterazione superficiale; così per esempio, l'alluminio, il ferro e il titanio tendono ad arricchirsi nei suoli in quanto sono immobili rispetto al luogo di alterazione, mentre altri elementi tendono ad impoverirsi.

La figura 10 indica gli elementi essenziali, macronutrienti e micronutrienti per le piante nonché quelli potenzialmente tossici e mostra l'intervallo tipico di concentrazioni di metalli nei suoli non contaminati da presenza di mineralizzazioni oppure di attività antropiche.

In ogni caso concentrazioni anomale di molti metalli possono verificarsi naturalmente e produrre nei suoli inquinamenti del tutto naturali.

In modo schematico, il diagramma di figura 11, illustra i fattori che influenzano le concentrazioni di elementi metallici nei suoli. In particolare le diverse categorie di attività antropiche che determinano inquinamento nei suoli possono essere classificate come sorgenti puntiformi, facilmente individuabili e generalmente non volontarie, e come sorgenti non puntiformi, prodotte deliberatamente dall'uomo.

Tra le sorgenti non puntiformi sono da annoverare:

- I fanghi derivati dal trattamento delle acque luride urbane ed industriali che sono stati usati per decenni come fertilizzanti dei suoli determinando spesso accumulo di concentrazioni tossiche di elementi quali Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn e As.

- Le ceneri da combustione che ammontano a circa il 70% del totale delle ceneri prodotte nelle centrali elettriche. In genere solo una piccola parte viene riciclata, la restante viene smaltita nel terreno dove si ottiene un aumento di elementi nutrienti per le piante quali Ca, Mg, Mo e B con notevole inquinamento dovuto alle alte concentrazioni di V, Ni, Pb, Cu, Zn, Mo, Co, Cd, B, As e Se.

- I fertilizzanti chimici che pur apportando elementi nutrienti per le coltivazioni determinano

Tab. 5 - *Distribuzione delle attività industriali nel Bacino del fiume Volturno (ISTAT, 1996).*  
- Industrial activities distribution in the Volturno river basin (ISTAT, 1996).

Comune	Numero imprese						Totale Imprese	Totale Addetti	Comune	Numero imprese						Totale Imprese	Totale Addetti
	A	B	C	D	E	F				A	B	C	D	E	F		
Ailano	7	1	0	0	1	4	13	92	Montella	19	2	12	9	4	25	71	236
Airola	8	2	8	11	1	9	39	285	Montemiletto	16	1	4	5	5	20	51	337
Alife	16	1	11	3	6	11	48	252	Montesarchio	30	2	19	13	3	31	98	269
Altavilla Irpina	3	1	5	4	0	6	19	111	Morcone	8	1	13	2	3	5	32	122
Apice	11	0	1	11	2	10	35	161	Nusco	12	1	9	2	5	11	40	716
Ariano Irpino	55	5	29	36	9	40	174	765	Paolisi	3	1	3	1	1	3	12	45
Atripalda	20	0	15	9	8	24	76	381	Pescopisciaro	3	0	2	5	2	6	18	151
AVELLINO	48	21	59	49	74	69	320	2927	Piedimonte Matese	19	0	16	8	7	18	68	373
BENEVENTO	56	12	66	29	47	77	287	1544	Pietradefusi	0	3	4	2	2	8	19	152
Bonea	3	0	2	1	3	2	11	108	Pietramelara	6	1	5	3	4	6	25	158
Caiazzo	9	1	6	2	12	11	41	119	Pietrelcina	6	1	5	8	3	10	33	159
Calvi	4	1	3	3	1	4	16	58	Pignataro Maggiore	12	3	3	3	6	10	37	881
Cancello ed Arnone	4	0	5	1	5	19	34	111	Ponte	3	3	2	3	2	12	25	210
Capua	23	2	15	4	8	18	70	675	Pontelatone	4	1	1	0	0	4	10	37
Casagiove	27	3	9	4	10	19	72	356	Pratola Serra	3	0	5	2	3	5	18	1450
Casapulla	16	0	9	12	6	16	59	308	Rotondi	7	2	6	5	1	9	30	189
CASERTA	80	17	44	60	76	87	364	3944	S. Agata dei Goti	20	2	8	22	16	16	84	410
Castel Volturno	18	4	9	7	5	33	76	237	S. Giorgio del Sannio	20	2	11	6	11	19	69	209
Cervinara	10	3	20	5	2	8	48	191	S. Giorgio La Molara	7	0	2	8	1	6	24	138
Colle Sannita	6	0	5	5	0	7	23	103	S. Lorenzello	9	1	2	1	0	13	26	115
Conca della Campania	0	0	1	2	0	0	3	175	S. Marco dei Cavoti	12	0	6	20	4	12	54	515
Curti	12	2	6	2	3	11	36	104	S. Maria C. Vetere	47	8	35	15	35	46	186	579
Dugenta	6	0	3	9	3	5	26	80	S. Michele di Serino	1	1	3	4	2	10	21	281
Durazzano	4	0	6	13	0	4	27	144	S. Prisco	9	1	8	2	8	10	38	133
Flumeri	3	4	0	3	1	10	21	108	S. Salvatore Telesino	6	1	7	1	4	10	29	102
Frasso Telesino	1	1	4	1	1	6	14	119	S. Stefano del Sole	6	0	2	3	1	4	16	102
Frigento	6	0	4	6	1	5	22	175	Teano	14	1	7	5	3	13	43	214
Grottaminarda	16	5	8	13	6	25	73	264	Telese	7	1	10	4	4	11	37	122
Lapio	5	0	8	1	0	2	16	118	Torre le Nocelle	7	3	4	0	0	6	20	196
Limatola	10	0	2	6	15	4	37	484	Torrelestricose	9	0	5	6	3	9	32	221
Luogosano	6	0	0	3	0	3	12	305	Venticano	9	0	6	5	2	6	28	149
Mercogliano	9	1	12	8	8	8	46	286	Vitulazio	12	2	2	0	8	12	36	209
Mirabella Eclano	15	1	7	6	2	15	46	187	ISERNIA	25	4	16	23	14	40	122	3465
Motiano	5	1	3	6	3	8	26	121	Montaquila	8	0	3	1	1	6	19	354
Molinara	4	0	4	7	1	9	25	166	Venafro	17	1	7	3	17	23	68	2019

**A:** Produzione e fabbricazione di prodotti in metallo e minerali non metalliferi; **B:** Prodotti chimici, gomma, plastica, coke, raffinerie di petrolio; **C:** Legno, carta, stampa ed editoria; **D:** Tessili, conciarie, lavorazione pelle, cuoio e similari; **E:** Fabbricazione di apparecchi meccanici, elettrici, ottici e mezzi di trasporto; **F:** Alimentari, delle bevande e del tabacco.

accumuli anomali di Cd, V, Zn, As, B e Sc.

- L'uso di pesticidi inorganici, in agricoltura, che soprattutto in passato, ha determinato vaste contaminazioni di Cu, Hg, Pb, Mn e Zn in suoli trattati intensivamente.

- L'irrigazione che, soprattutto in aree aride e semiaride, rappresenta un potenziale pericolo di salificazione determinando una riduzione della crescita delle piante.

Tra le sorgenti puntiformi sono importanti:

- Il traffico che inquina i suoli adiacenti alle strade carrozzabili con concentrazioni anomale di Pb e anche alte concentrazioni di Cd, Ni, e Zn. Negli ultimi 10 anni, con l'uso sempre più diffuso delle marmitte catalitiche a questi elementi si aggiungono i platinoidi.

- Salamoie geotermiche utilizzate per la produzione di energia elettrica che a causa di perdite accidentali di fluidi possono produrre inquinamento nei suoli circostanti.

- Attività minerarie estrattive e di raffinazione che determinano inquinamento in suoli circostanti le aree coltivate.

- Industrie che possono immettere nei suoli elementi metallici a seconda della attività svolta, come illustrato nella tabella 6.

- Radionuclidi immessi nell'ambiente da centrali nucleari, industrie di armamenti atomici, centrali elettriche a carbone. In particolare le ceneri di queste ultime contengono U e Th. Altre sorgenti di radionuclidi nei suoli sono le industrie del cemento che immettono radio.

Tab. 6 - *Elementi metallici immessi nei suoli da attività industriali (da DE VIVO, 1995).*

- Metal elements introduced into the soils by industrial activities.

INDUSTRIA	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn
Carta	X	X	X	X	X	X	X
Fertilizzanti	X	X	X	X	X	X	X
Prodotti chimici	X	X		X	X		X
Raffinerie di petrolio	X	X	X		X	X	X
Metallurgiche	X	X	X	X	X	X	X
Automobili, aeroplani ecc.	X	X	X	X		X	
Centrali elettriche	X	X	X	X		X	X
Tessili		X					

7. - ACIDITÀ E CONDUCEBILITÀ NELLE ACQUE

7.1. - ACIDITÀ (pH)

L'acidità delle acque del fiume Volturno indica una distribuzione di valori di pH compresi fra 5,1 e 10,2, con una prevalenza dei valori da acidi a leggermente basici nella zona a ridosso di Caserta e lungo il tratto del bacino del Volturno fino quasi all'altezza di Venafro; i valori più marcatamente

basici si registrano soprattutto lungo il fiume Calore con valori compresi fra 8,5 e 10,2 (tav. 5).

7.2. - CONDUCEBILITÀ (μS/cm)

La conducibilità delle acque indica una distribuzione dei valori compresa fra 159 e 2320 S/cm con una prevalenza dei valori più elevati nelle acque dei fiumi Calore e Ufita e nel tratto fluviale compreso fra Capua e Montesarchio. Le acque invece del Volturno comprese fra Caiazzo fino alle sorgenti del fiume, in provincia di Isernia, hanno viceversa valori di conducibilità mediamente bassi (fra 159 e 681 S/cm). Ugualmente bassi valori hanno mediamente le acque della parte alta dei fiumi Tammaro, Calore e Ufita (tav. 6).

8. - DISTRIBUZIONE GEOCHIMICA DEGLI ELEMENTI

I parametri statistici dei singoli elementi chimici, riportati nella tabella 3, sono rappresentati sinteticamente dai *box-plots* riportati su ciascuna carta geochimica. Nelle figure da 1 a 9 sono rappresentati gli

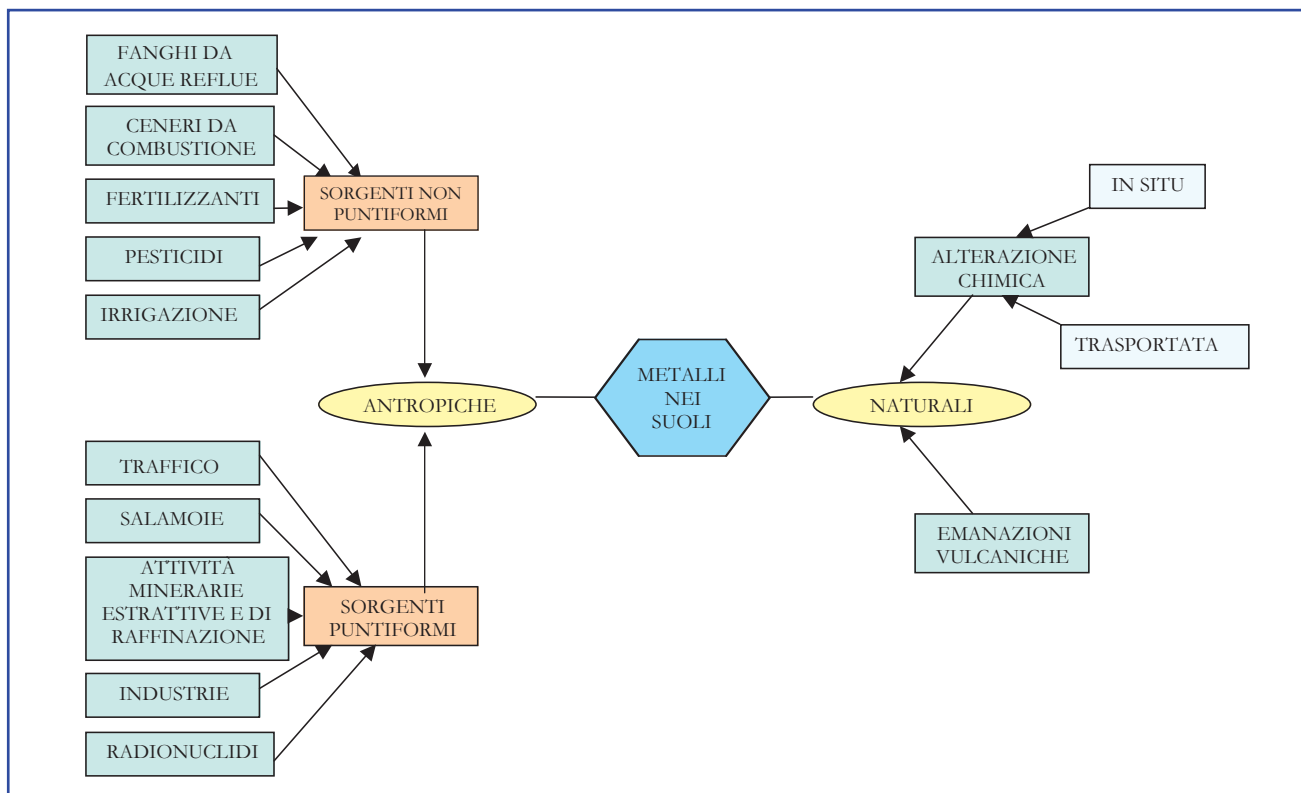


Fig. 11 - Fattori che influenzano le concentrazioni di elementi metallici nei suoli (da DE VIVO, 1995).  
 - Factors influencing metal element concentrations in the soils (from DE VIVO, 1995).





presenza di affioramenti di lave potassiche e ultrapotassiche e depositi piroclastici del vulcano Roccamonfina e di piroclastiti da flusso (Ignimbriti Campane) (ovest di Presenzano, fra Alvignano e Vairano, fra Caserta e Caiazzo, zona di Avellino, Castelvoturno) (tav. 10). Altri valori elevati si riscontrano in corrispondenza di litologie sedimentarie delle Unità Molisane (Complessi calcareo-silico-mar-nose) (ovest di Roccaravindola, sud di Isernia) e delle Unità del Matese (carbonati di piattaforma, con talora la presenza di depositi di bauxite) (nord-est di Piedimonte Matese, zona di Montella e Monte Terminio); questi alti valori potrebbero anche essere di origine antropica (pesticidi). Gran parte del territorio del bacino è caratterizzato comunque da valori bassi ( $< 9$  mg/Kg – percentile 75). L'arsenico mostra una buona correlazione con tallio ( $r = 0,72$ ), wolframio ( $r = 0,66$ ), bario ( $r = 0,62$ ), lantanio ( $r = 0,62$ ) e torio ( $r = 0,61$ ) (tab. 7).

#### 8.5. - BORO (B)

I valori elevati del boro (tav. 11) sono quasi esclusivamente distribuiti nel settore orientale del bacino, in corrispondenza di litologie sia vulcaniche che sedimentarie. Nell'area di Avellino, nel bacino del Sabato, si registrano valori alti ( $> 14$  mg/Kg – percentile 95, fino a 62 mg/Kg) in corrispondenza di piroclastiti delle Ignimbriti Campane, mentre nell'area di Ariano Irpino i valori alti, nei bacini del Miscano e dell'Ufita, cadono in corrispondenza di litologie sedimentarie dell'Unità di Ariano (successioni terrigene, caratterizzate da argille, sabbie e conglomerati) e dell'Unità Lagonegro II (argille, calcareniti, calciruditi e arenarie). La gran parte del bacino del Volturno, a parte altre isolate aree con alti valori, è caratterizzata comunque da valori del boro  $< 10$  mg/Kg (percentile 75). Il boro mostra una leggera correlazione con il bario ( $r = 0,45$ ).

#### 8.6. - BARIO (Ba)

Il bario mostra una distribuzione dei suoi valori elevati ( $> 332$  mg/Kg – percentile 90, fino a 1362 mg/Kg) abbastanza simile a quella dell'arsenico; la correlazione fra i due elementi è infatti abbastanza buona ( $r = 0,62$ ). I valori elevati cadono in modo diffuso in corrispondenza di litologie vulcaniche (Ignimbriti Campane e Roccamonfina), nella zona di Avellino, Caserta, fra Alvignano e Vairano, ad ovest di Caianello e più isolatamente in corrispondenza di litologie sedimentarie in vari punti del bacino (Roccaravindola, sud di Isernia, S. Marco dei Cavoti, fra Solopaca e Vitulano). Oltre che con l'ar-

senico, il bario mostra una buona correlazione anche con tallio ( $r = 0,82$ ), wolframio ( $r = 0,77$ ), uranio ( $r = 0,70$ ), lantanio ( $r = 0,68$ ), torio ( $r = 0,67$ ) e vanadio ( $r = 0,65$ ). Il territorio del bacino nella sua interezza mostra valori  $< 237$  mg/Kg (percentile 75) (tav. 12).

#### 8.7. - BISMUTO (Bi)

I valori elevati ( $> 0,5$  mg/Kg – percentile 90, fino a 7,3 mg/Kg) del bismuto sono esclusivamente dislocati nel settore occidentale (Caserta – Isernia) del territorio del bacino, prevalentemente in corrispondenza delle litologie vulcaniche del Roccamonfina e delle Ignimbriti Campane (area Caserta – Capua, fascia da Alvignano fino ad ovest di Caianello – Presenzano). Altre aree con valori elevati sono individuate fra Presenzano e Venafrò, ad ovest di Roccaravindola, a sud di Isernia e a nord di Piedimonte Matese, in litologie prevalentemente carbonatiche (Unità del Matese). Il territorio beneventano e avellinese, fatta eccezione per qualche isolata area con alti valori (Vitulano – Solopaca), è viceversa, caratterizzato essenzialmente da valori bassi ( $< 0,3$  mg/Kg – percentile 75) (tav. 13).

#### 8.8. - CADMIO (Cd)

La distribuzione dei valori del cadmio (tav. 14) assume quasi un carattere di *marker* litologico in quanto le concentrazioni alte ( $> 0,7$  mg/Kg – percentile 90, fino a 6,4 mg/Kg) cadono quasi esclusivamente in corrispondenza delle facies carbonatiche delle Unità del Matese (fascia da Monte Moschiatturo fino ad ovest di Roccaravindola, Venafrò e Presenzano), nel territorio iserniano – casertano, e delle Unità dei Monti Picentini – Taburno, nel territorio beneventano (fascia da Monte Taburno a Solopaca) e nel territorio avellinese (area Montella – Monte Tuoro). La restante parte del territorio del bacino è caratterizzato da valori  $< 0,4$  mg/Kg (percentile 75). Come per i valori elevati, anche i valori molto bassi del cadmio ( $< 0,1$  mg/Kg) assumono quasi un carattere di *marker* litologico, coincidendo quasi perfettamente con la distribuzione delle litologie terrigene dell'Unità di Ariano. Il cadmio risulta moderatamente correlato con l'antimonio ( $r = 0,54$ ).

#### 8.9. - CALCIO (Ca)

La distribuzione dei valori del calcio assume certamente un carattere *marker* per la distribuzione delle facies carbonatiche delle Unità Molisane e del

Matese, riscontrandosi gli alti valori ( $> 9,75\%$  - percentile 75, fino a  $27,19\%$ ) esclusivamente nell'area nord - occidentale del bacino (dalla zona di Cerreto Sannita nel bacino del Calore fino alle sorgenti del Volturno). Tutto il territorio orientale del bacino (area casertana, beneventana e avellinese) registra valori  $< 9,75\%$  (percentile 75), fatta eccezione per alcune aree ristrette del bacino del fiume Miscano (ovest di Ariano Irpino) e ad est di Avellino nei bacini dei fiumi Sabato e Calore (tav. 15).

#### 8.10 - COBALTO (Co)

I valori alti del cobalto ( $> 14\text{ mg/Kg}$  - percentile 75, fino a  $59\text{ mg/Kg}$ ) delimitano perfettamente gli affioramenti dell'Unità di Lagonegro II (argille rosse e verdi, calcareniti, calciruditi, arenarie), nel bacino del fiume Tammaro a nord di Benevento e dell'Unità Molisane (complessi calcarei-silico-marnosi); rispetto alle Unità lagonegresi i valori alti del cobalto assumono un vero e proprio carattere *marker* litologico. I valori alti del cobalto sono da mettere in relazione molto probabilmente alla componente argillosa delle Unità lagonegresi e molisane. Il cobalto, come il nickel, peraltro è anche fortemente condizionato dalla presenza di idrossidi di manganese. La correlazione infatti del cobalto è elevata sia con il manganese ( $r = 0,76$ ) che con il nickel ( $r = 0,75$ ). Questi due elementi mostrano una distribuzione degli alti valori del tutto simile a quella del cobalto. La rimanente parte del territorio del bacino del Volturno è caratterizzata da concentrazioni  $< 14\text{ mg/Kg}$  (tav. 16).

#### 8.11. - CROMO (Cr)

La distribuzione dei valori alti del cromo ( $> 25\text{ mg/Kg}$  - percentile 75, fino a  $116\text{ mg/Kg}$ ) non sembra essere legata a particolari litologie. I valori alti sono infatti distribuiti in diverse aree del territorio del bacino (a nord di Isernia, in corrispondenza per lo più delle Unità Molisane; fra Presenzano e Roccaravindola, a nord di Piedimonte Matese, a sud del Monte Taburno, ad ovest di Altavilla Irpina, in corrispondenza delle Unità del Matese; nell'area di Sepino, ad est di S. Giorgio La Molarata, ad est di Grottaminarda, ad est di Montella, a ridosso di Benevento, in corrispondenza delle Unità Lago-negro II). Questo tipo di distribuzione fa ritenere probabile una componente di natura antropica, relazionata alle industrie meccaniche, posizionate in molti dei punti dove sono stati individuati gli alti valori del cromo. La gran parte del territorio del bacino è caratterizzato da valori  $< 25\text{ mg/Kg}$ . Il cromo risulta essere discretamente correlato con il nickel ( $r = 0,66$ ) (tav. 17).

#### 8.12. - FERRO (Fe)

I valori alti del ferro ( $> 2,66\%$  - percentile 75, fino a  $10,06\%$ ) sono distribuiti lungo una fascia orientata da sud-est a nord-ovest del territorio del bacino del fiume Volturno, da Montella fino a Presenzano. In particolare i valori più elevati cadono quasi esclusivamente in corrispondenza degli affioramenti di piroclastiti e delle lave delle Ignimbriti Campane e del vulcano Roccamonfina (area di Avellino, area Dugenta - S. Agata dei Goti, area Alvignano - Presenzano). Valori sparsi alti si registrano anche in altre parti del bacino non in relazione ad affioramenti di natura vulcanica (nord di Piedimonte Matese, nord di S. Marco Cavoti, area di Vitulano, area a sud di Benevento, area di Montella). La rimanente parte del territorio è interessata da valori  $< 2,66\%$  (percentile 75) (tav. 18).

#### 8.13. - FOSFORO (P)

I valori alti del fosforo ( $> 0,10\%$  - percentile 75, fino a  $0,66\%$ ) sono distribuiti in una fascia meridionale del bacino, che si estende da Caserta fino a Montella, in prevalenza nei litotipi vulcanici (piroclastiti delle Ignimbriti Campane) ma anche nei litotipi carbonatici delle Unità del Matese e in un'area a nord di Piedimonte Matese, sempre nei litotipi carbonatici delle Unità del Matese. Altre aree con alti valori vengono individuate a nord di Presenzano, a Roccaravindola e a sud-est di Vairano. Valori molto bassi ( $< 0,05\%$  - percentile 10) vengono registrati soprattutto lungo il bacino del Tammaro nei litotipi delle Unità Irpine Interne e di Lagonegro II e nell'area compresa fra Isernia e Castelnuovo al Volturno, sia nelle Unità del Matese che nelle Unità Molisane. La rimanente parte del territorio è caratterizzato da valori fra  $0,05$  e  $0,10\%$  (tav. 19).

#### 8.14. - GALLIO (Ga)

La distribuzione dei valori elevati del gallio ( $> 6,2\text{ mg/Kg}$  - percentile 75, fino a  $15,1\text{ mg/Kg}$ ) è fortemente controllata dalla presenza dei litotipi vulcanici del vulcano Roccamonfina e delle Ignimbriti Campane, soprattutto lungo la fascia allungata da sud-est a nord-ovest del bacino. Gli alti valori infatti assumono un carattere più marcato proprio in corrispondenza delle litologie vulcaniche (area Alvignano - Presenzano, area di Avellino, area di Caserta). Valori alti vengono peraltro registrati anche in corrispondenza di litologie carbonatiche dell'Unità del Matese (nord di Piedimonte Matese,

area Montella – Monte Terminio).

I valori molto bassi non mostrano una distribuzione preferenziale. Gran parte del territorio del bacino mostra valori  $< 6,2$  mg/Kg (percentile 75) (tav. 20).

#### 8.15. - LANTANIO (La)

La distribuzione dei valori, sia alti che bassi, del lantanio mostra un andamento del tutto simile a quella del gallio. Gli alti valori ( $> 31$  mg/Kg – percentile 75) cadono infatti lungo la stessa fascia (da sud-est a nord-ovest) individuata dal gallio, con i valori più marcati ( $> 60$  mg/Kg – percentile 95) quasi esclusivamente in corrispondenza delle litologie (piroclastiti e lave) del vulcano Roccamonfina (da Alvignano a Presenzano). Come per il gallio tutto la porzione centro – orientale del bacino è caratterizzata da valori bassi ( $< 31$  mg/Kg – percentile 75) (tav. 21).

#### 8.16. - MAGNESIO (Mg)

I valori alti ( $> 0,76$  % - percentile 75, fino a 8,54 %) del magnesio sono distribuiti esclusivamente nell'area orientale e occidentale del bacino. I valori più marcati ( $> 2,23$  % - percentile 95) denotano un forte controllo litologico, cadendo in corrispondenza delle dolomie e calcari dolomitici (fascia ad ovest di Piedimonte Matese, nell'area occidentale) e delle facies carbonatiche (fascia da Avellino a sud-est del Monte Terminio, nell'area orientale) delle Unità del Matese. Valori compresi mediamente fra 0,76 e 2,23 % vengono registrati nella parte alta del fiume Volturno, in corrispondenza sia delle litologie carbonatiche dell'Unità del Matese che delle dolomie dell'Unità di Frosolone. I valori da bassi ( $< 0,76$  %) a molto bassi ( $< 0,30$  %) vengono registrati in tutto il settore centrale e orientale del territorio del bacino (tav. 22).

#### 8.17. - MANGANESE (Mn)

Il manganese mostra una distribuzione di valori del tutto simile a quella del cobalto e del nickel (tav. 16 e 26). Come per questi due elementi, i valori alti ( $> 1162$  mg/Kg – percentile 75, fino a 5751 mg/Kg) delimitano perfettamente gli affioramenti dell'Unità di Lagonegro II (argille rosse e verdi, calcareniti, calciruditi, arenarie), nel bacino del fiume Tammaro a nord di Benevento e dell'Unità Molisane (complessi calcarei-silico-marnosi); rispetto alla distribuzione del cobalto e del nickel, i valori alti individuano anche l'a-

rea caratterizzata da affioramenti di lave e piroclastiti del vulcano Roccamonfina (area da Alvignano a Presenzano). I valori molto bassi ( $< 577$  mg/Kg – percentile 10) cadono nelle aree di Piedimonte Matese, Monte Taburno – Airola – Rotondi, e Ariano Irpino. La restante parte del territorio del bacino registra valori fra 577 e 1162 mg/Kg (tav. 23).

#### 8.18. - MERCURIO (Hg)

La distribuzione dei valori del mercurio non mostra un controllo litologico ben definito. I valori alti ( $> 89$   $\mu$ g/Kg – percentile 75, fino a 6213  $\mu$ g/Kg) sono distribuiti su diverse litologie del territorio del bacino, con una prevalenza nell'area casertana – beneventana. I valori più marcati ( $> 553$   $\mu$ g/Kg), comunque, cadono soprattutto in corrispondenza delle litologie vulcaniche (piroclastiti) delle Ignimbriti Campane (area fra Caserta e Capua, area di S. Agata dei Goti, area di Avellino). La distribuzione dei valori, da medio alti ad alti, in diverse tipologie litologiche potrebbe anche denotare una origine antropica per alcune delle anomalie. La parte orientale del bacino è caratterizzata da valori prevalentemente molto bassi ( $< 24$   $\mu$ g/Kg), mentre la parte occidentale del bacino è contrassegnata da valori moderatamente bassi (fra 24 e 89  $\mu$ g/Kg) (tav. 24).

#### 8.19. - MOLIBDENO (Mo)

La distribuzione dei valori del molibdeno è caratterizzata essenzialmente da bassi valori ( $< 1,1$  mg/Kg – percentile 90). Limitate aree, ben delineate, di alti valori ( $> 1,1$  mg/Kg, fino a 4,5 mg/Kg) vengono individuate in varie parti del bacino; esse non sono caratteristiche della presenza di particolari litologie, fatta eccezione per quelle ricadenti in corrispondenza di affioramenti di litologie vulcaniche nella zona a nord di Caserta e fra Alvignano e Caianello. Un treno di anomalie viene anche registrato nell'alto Volturno fra Isernia e Castelnuovo al Volturno, per lo più in presenza di affioramenti silico-marnosi delle Unità Molisane. Le anomalie sparse potrebbero anche avere una origine antropica (tav. 25).

#### 8.20. - NICKEL (Ni)

Il nickel è fortemente correlato al cobalto ( $r = 0,75$ ), al cromo ( $r = 66$ ) e più moderatamente al manganese ( $r = 0,48$ ). In particolare insieme al cobalto è fortemente influenzato dalla presenza di

ossidi di manganese; questi ultimi infatti determinano processi di coprecipitazione appunto di elementi quali cobalto e nickel. Questo comportamento trova riscontro nel fatto che la distribuzione dei valori del nickel ha un andamento del tutto simile sia al cobalto che al manganese. I valori alti del nickel ( $> 31$  mg/Kg – percentile 75, fino a 103 mg/Kg), come il cobalto, assumono quasi un carattere di *marker* litologico per le litologie delle Unità Lagonegro II (argille, calcareniti, calciruditi, arenarie), presenti nei bacini del Calore, del Tammaro e del Miscano; rispetto però alla distribuzione dei valori sia del cobalto che del manganese, assumono un carattere *marker* anche per le litologie delle Unità Molisane (complessi calcareo-silico-marnosi) e delle Unità di Frosolone (dolomie selcifere, argilliti, radiolariti, areniti, marne), affioranti nell'alto Volturno a nord della direttrice Isernia – Castelnuovo al Volturno. Tutta la rimanente parte del territorio del bacino è caratterizzata da valori bassi ( $< 31$  mg/Kg, fino ad un minimo di 3 mg/Kg). I valori molto bassi sono in particolare distribuiti sia nelle litologie vulcaniche (nord di Caserta, ovest di Vairano) che sedimentarie (ovest di Piedimonte Matese, fra Benevento e S. Giorgio del Sannio, zona di Ariano Irpino, lungo il bacino dell'Ufita) (tav. 26).

#### 8.21. ORO (Au)

L'oro non mostra alcuna significativa correlazione con alcun elemento. I valori da elevati a marcatamente elevati ( $> 27$   $\mu$ g/Kg – percentile 90, fino a 669  $\mu$ g/Kg) cadono comunque, prevalentemente, in corrispondenza delle litologie vulcaniche, sia delle Ignimbriti Campane (fascia da Rotondi fino a nord di Caserta, ovest di Caiazzo, nord di Avellino lungo il fiume Sabato, est di Presenzano) che del vulcano Roccamonfina (zona Alvignano -Vairano -Caianello); altre marcate anomalie vengono riscontrate a ridosso di Alife e S. Giorgio del Sannio (depositi sedimentari alluvionali), a sud di Venafro e Monte Terminio (facies carbonatiche del Matese), ed in altre sparse località. I valori elevati assumono il carattere di anomalie di assoluto interesse geominerario, non essendo però da escludere la componente antropica nella determinazione di alcune di queste anomalie. Mentre risultano infatti plausibili le anomalie riscontrate nelle vulcaniti da potassiche ad ultrapotassiche, non altrettanto si può dire invece in merito a quelle che vengono riscontrate nei terreni sedimentari. Queste ultime potrebbero comunque sempre ricondursi alla presenza a monte dei bacini di drenaggio di rocce vulcaniche quali sorgenti delle anomalie stesse (tav. 27).

#### 8.22. - PIOMBO (Pb)

Il piombo mostra una discreta correlazione con tallio ( $r = 0,51$ ), wolframio ( $r = 0,47$ ), bario ( $r = 0,46$ ) e zinco ( $r = 0,45$ ). La distribuzione dei valori di questi quattro elementi è infatti abbastanza simile. In particolare gli alti valori ( $> 39$  mg/Kg – percentile 75, fino a 435 mg/Kg) del piombo cadono prevalentemente in corrispondenza delle litologie vulcaniche delle Ignimbriti Campane (a ridosso di Avellino, S. Agata dei Goti, fra Caserta e Capua, ovest di Alvignano, ovest di Solopaca) e del vulcano Roccamonfina (Alvignano – Caianello – Vairano); alti valori si riscontrano anche in litologie sedimentarie (Roccaravindola – sud di Venafro) dell'Unità del Matese. I valori molto bassi ( $< 12$  mg/Kg) sono individuati in vari punti del territorio del bacino, in particolare nell'alto Volturno (nord di Castelnuovo al Volturno – Isernia) e nel bacino del Miscano e dell'Ufita (tav. 28).

#### 8.23. - POTASSIO (K)

La distribuzione del potassio è assolutamente dominata da valori molto bassi ( $< 0,29$  % - percentile 50). I valori elevati ( $> 1,04$  % - percentile 95, fino a 3,69 %) vengono registrati esclusivamente nell'area sud-orientale nella parte alta dei bacini del Sabato e del Calore avellinese, in una fascia che si estende dal Terminio a Rotondi, con i valori più marcati in corrispondenza delle piroclastiti delle Ignimbriti Campane (area a ridosso di Avellino).

Valori intermedi, fra 0,40 e 0,67 %, vengono anche riscontrati in una fascia che si estende da est di Avellino fino a Grottaminarda, a ridosso di Benevento, ad est e nord di Ariano Irpino, in corrispondenza di litologie sedimentarie, ad est di Caserta e nell'area Vairano -Caianello-Presenzano, in presenza di litologie vulcaniche (Ignimbriti Campane e vulcano Roccamonfina) (tav. 29).

#### 8.24. - RAME (Cu)

Il rame non mostra alcuna marcata correlazione con nessuno degli altri elementi analizzati. I valori alti ( $> 40$  mg/Kg – percentile 75, fino a 773 mg/Kg) individuano una fascia che si estende con relativa continuità da nord-est di Cerreto Sannita fino al Monte Terminio, interessando diverse litologie, pur se sembra mostrare una particolare corrispondenza con la presenza delle litologie vulcaniche (zona di Avellino, S. Agata dei Goti, ovest di Solopaca). Altre aree anomale sono individuate, sempre in corrispondenza di vulcaniti, fra Caserta e Capua e a sud di Vairano.



Anomalie sparse sono individuate anche in presenza di litologie sedimentarie di vario tipo (est di Venafro, Piedimonte Matese, San Marco dei Cavoti, Castelfranco, Grottaminarda). Questa non corrispondenza sistematica fra particolari litologie e ricorrenza di anomalie, fa ritenere come probabile anche una componente antropica (sia di natura industriale che agricola) per gli arricchimenti di rame riscontrati. Una particolare incidenza di bassi valori ( $< 18$  mg/Kg – percentile 10) si riscontra ad est di Benevento, in presenza esclusivamente delle litologie dell'Unità di Ariano Irpino (territorio a ridosso della confluenza fra i fiumi Calore, Ufita e Miscano) (tav. 30).

#### 8.25. - SELENIO (Se)

La distribuzione del selenio è quasi totalmente dominata da valori molto bassi ( $< 0,3$  mg/Kg – percentile 25). I valori elevati ( $> 0,8$  mg/Kg – percentile 95, fino a 2,9) vengono esclusivamente riscontrati in una fascia che si estende in modo omogeneo da Monte Moschiatturo fino a Monte Soglio, e con più discontinuità a Venafro e Isernia. La fascia omogenea di valori elevati cade esclusivamente in corrispondenza delle litologie carbonatiche dell'Unità del Matese. Valori moderati (fra 0,5 e 0,7 mg/Kg) vengono anche individuati, nei bacini del Sabato e del Calore, a sud-est di Benevento (tav. 31).

#### 8.26. - SODIO (Na)

Il sodio mostra una distribuzione, per grandi linee, abbastanza simile a quella del potassio, in quanto le aree con alti valori vengono registrate nella parte centro-meridionale del territorio del bacino, mentre tutto il settore settentrionale (bacini del Tammaro e del Volturno in senso stretto) è caratterizzato da valori molto bassi ( $< 0,02$  % - percentile 25). I valori da moderati ad elevati ( $> 0,07$  % - percentile 75, fino a 1,93 %), individuano le stesse aree individuate dagli alti valori del potassio, cioè fra Rotondi – Monte Terminio – Benevento – Grottaminarda, e ad est e nord di Caserta. Rispetto al potassio, i valori alti del sodio, vengono registrati in modo distintivo nelle lave e depositi piroclastici del vulcano Roccamonfina, nell'area ad ovest di Presenzano – Caianello (tav. 32).

#### 8.27. - STRONZIO (Sr)

I valori marcati ( $> 272$  mg/Kg – percentile 90, fino a 808 mg/Kg) ricadono in modo abbastanza

omogeneo nell'area dell'alto Volturno, nel territorio di Isernia, essenzialmente in corrispondenza delle litologie delle Unità Molisane (complessi calcareo-silico-marnosi) e dell'Unità di Frosolone (dolomie selcifere, argilliti, areniti carbonatiche) e nell'area ad ovest di Caianello, in corrispondenza delle lave potassiche e ultrapotassiche del vulcano Roccamonfina. Valori alti (fra 209 e 431 mg/Kg) individuano un'altra area omogenea lungo il bacino del fiume Sabato fra Avellino e Altavilla Iripina, in corrispondenza delle piroclastiti delle Ignimbriti Campane. Altre aree sparse con valori alti vengono registrate nei bacini dei fiumi Ufita, Miscano e Tammaro. Per quanto riguarda la distribuzione dei valori molto bassi ( $< 97$  mg/Kg – percentile 10), questi vengono registrati in modo molto omogeneo, fra Alviagnano e Vairano (piroclastiti), ad ovest e ad est di Piedimonte Matese (dolomie e calcari dolomitici e facies carbonatiche dell'Unità del Matese) (tav. 33).

#### 8.28. - TALLIO (Tl)

Il tallio è altamente correlato con wolframio ( $r = 0,90$ ), lantanio ( $r = 0,87$ ), uranio ( $r = 0,85$ ), torio ( $r = 0,84$ ), bario ( $r = 0,82$ ) e vanadio ( $r = 0,74$ ), per cui la distribuzione dei suoi valori è del tutto simile a quella di questi elementi. I valori più alti ( $> 0,8$  mg/Kg – percentile 75, fino a 2,8 mg/Kg), in corrispondenza soprattutto delle litologie vulcaniche (piroclastiti e lave, delle Ignimbriti Campane del vulcano Roccamonfina) individuano una fascia estesa dal Monte Terminio fino a ridosso di Presenzano; altri alti valori vengono anche registrati fra Roccaravindola e sud di Venafro e a nord di Piedimonte Matese, in litologie carbonatiche dell'Unità del Matese. I valori molto bassi ( $< 0,1$  mg/Kg – percentile 10) individuano una zona molto omogenea, nell'alto Volturno, ad ovest e nord-ovest di Isernia, essenzialmente in corrispondenza delle litologie dell'Unità di Frosolone (tav. 34).

#### 8.29. - TELLURIO (Te)

I valori elevati ( $> 0,07$  – percentile 90, fino a 0,59 mg/Kg) del tellurio vengono registrati essenzialmente nei bacini del Tammaro e dell'alto Volturno. I valori elevati nel bacino del Tammaro cadono essenzialmente in corrispondenza delle litologie dell'Unità Lagonegro II (argilliti, calcareniti, calciruditi) e dell'Unità Iripine Interne (conglomerati, arenarie, marne ed argille); nell'alto Volturno cadono essenzialmente in corrispondenza delle Unità



Molisane (complessi calcareo-silico-marnosi) e dell'Unità di Frosolone (dolomie selcifere, argilliti radiolariti, areniti carbonatiche). Alti valori individuano anche piccole aree anomale nei bacini dei fiumi Sabato e Calore. I bassi valori ( $< 0,04$  mg/Kg – percentile 50) individuano essenzialmente due fasce di territorio: una che si spinge da Capua fino ad Ariano Irpino, e l'altra che occupa tutto il basso Volturno, da Capua fino a Venafro (tav. 35).

### 8.30. - TITANIO (Ti)

La distribuzione dei valori del titanio è alquanto caratteristica; essa divide il territorio dell'intero bacino in due fasce ben distinte. Gli alti valori ( $> 0,10$  % - percentile 75, fino a 0,59 %) identificano nettamente una fascia che si estende da Montella, a sud-est, fino a Venafro, a nord-ovest; i valori più marcati all'interno di questa fascia si registrano essenzialmente in corrispondenza delle litologie vulcaniche delle Ignimbriti Campane (a ridosso di Avellino, S. Agata dei Goti, Capua, fra Alvignano e Vairano) e del vulcano Roccamonfina (ovest di Vairano). I valori marcatamente bassi ( $< 0,04$  % - percentile 50) delimitano viceversa tutta la zona a nord della fascia precedentemente descritta (alto bacino del fiume Calore, bacini dei fiumi Ufita, Miscano, Tammaro e dell'alto Volturno) (tav. 36).

### 8.31. - TORIO (Th)

Il torio ha una correlazione molto elevata con lantanio ( $r = 0,93$ ), tallio ( $r = 0,84$ ), uranio ( $r = 0,81$ ), wolframio ( $r = 0,70$ ), vanadio ( $r = 0,68$ ), bario ( $r = 0,67$ ) e arsenico ( $r = 0,61$ ). In considerazione delle sopra indicate correlazioni il torio ha una distribuzione di valori molto simile a quella di tutti gli elementi sopra indicati, ma soprattutto è del tutto simile a quella del lantanio. Come per il lantanio, infatti, i valori molto marcati ( $> 21,4$  mg/Kg – percentile 95) vengono registrati esclusivamente in corrispondenza delle litologie vulcaniche potassiche e ultrapotassiche del vulcano Roccamonfina (ovest di Vairano); come per il lantanio i valori mediamente alti (da 9,9 a 21,4 mg/Kg) cadono in una fascia di territorio compresa fra il Monte Terminio e Alvignano, ancora prevalentemente, in corrispondenza delle piroclastiti delle Ignimbriti Campane. Tutto la restante parte del territorio (bacini dell'alto Volturno, dei fiumi Tammaro, Miscano, Ufita, Calore e basso Sabato) è caratterizzata da valori bassi ( $< 8,4$  mg/Kg – percentile 68) (tav. 37).

### 8.32. - URANIO (U)

L'uranio è fortemente correlato con tallio ( $r = 0,85$ ), torio ( $r = 0,81$ ), lantanio ( $r = 0,78$ ), wolframio ( $r = 0,77$ ), bario ( $r = 0,70$ ) e vanadio ( $r = 0,67$ ) e meno fortemente con arsenico ( $r = 0,59$ ). La distribuzione degli alti valori ( $> 1,7$  mg/Kg – percentile 70, fino a 9,9 mg/Kg) dell'uranio replica in particolare la distribuzione del torio, individuando nettamente come anomale le stesse aree già descritte per il torio; rispetto a quest'ultimo le anomalie dell'uranio registrano nettamente le piroclastiti (Ignimbriti Campane) a ridosso di Avellino. Come per il torio tutto il territorio a nord della fascia anomala è caratterizzata da valori  $< 1,7$  mg/Kg (percentile 75) (tav. 38).

### 8.33. - VANADIO (V)

Il vanadio presenta una buona correlazione con tallio ( $r = 0,74$ ), wolframio ( $r = 0,73$ ), lantanio ( $r = 0,69$ ), torio ( $r = 0,68$ ), uranio ( $r = 0,67$ ), bario ( $r = 0,65$ ) e arsenico ( $r = 0,52$ ). Tutti i sopraindicati elementi riflettono quindi una marcata similitudine nella distribuzione dei valori sia alti che bassi. In particolare quindi, anche il vanadio, ugualmente agli altri elementi, individua una fascia di valori anomali ( $> 64$  mg/Kg – percentile 75, fino a 297 mg/Kg) che si estende da Montella fino a Venafro, prevalentemente in corrispondenza delle litologie vulcaniche delle Ignimbriti Campane e del vulcano Roccamonfina (tav. 39).

### 8.34. - WOLFRAMIO (W)

Il wolframio mostra una buona correlazione con tallio ( $r = 0,90$ ), uranio ( $r = 0,77$ ), bario ( $r = 0,77$ ), lantanio ( $r = 0,74$ ), vanadio ( $r = 0,73$ ), torio ( $r = 0,70$ ) e arsenico ( $r = 0,66$ ). Oltre che con questi elementi il wolframio è anche ottimamente correlato con il titanio; infatti le carte della distribuzione dei due elementi sono assolutamente sovrapponibili, con la netta suddivisione in una fascia meridionale, allungata da sud-est a nord-ovest, caratterizzata da valori anomali ( $> 0,6$  mg/Kg – percentile 75, fino a 2,1 mg/Kg) ed una fascia settentrionale, comprendente i bacini dei fiumi Calore, Ufita, Miscano, Tammaro e alto Volturno, con valori  $< 0,2$  mg/kg (percentile 25). I valori anomali, come per titanio e tutti gli elementi fra loro fortemente correlati, cadono prevalentemente in corrispondenza delle litologie vulcaniche (Ignimbriti Campane e vulcano Roccamonfina) (tav. 40).

## 8.35. - ZINCO (Zn)

Lo zinco mostra una discreta correlazione con piombo ( $r = 0,45$ ) e antimonio ( $r = 0,41$ ). La distribuzione dei valori alti dello zinco, pur individuando, come anomale le stesse aree individuate dai valori anomali del piombo e in parte dell'antimonio, presenta elementi di diversità, in quanto i valori più elevati ( $> 169$  mg/Kg – percentile 95, fino a 1667 mg/Kg) dello zinco cadono essenzialmente nell'area compresa fra S. Agata dei Goti e Capua (piroclastiti delle Ignimbriti Campane), fra Vairano e Caianello (vulcaniti del Roccamonfina) e ad est di Venafro (litologie carbonatiche dell'Unità del Matese). Come per il piombo i bacini dei fiumi Calore, Ufita, Miscano, Tammaro e alto Volturno sono caratterizzati da valori  $< 93$  mg/Kg (percentile 75) (tav. 41).

## 9. - CARTE DELLA RADIOATTIVITÀ

9.1. - RADIOATTIVITÀ  $^{40}\text{K}$ 

La distribuzione dei valori della radioattività imputabile a  $^{40}\text{K}$  individua diverse aree anomale su tutto il territorio del bacino. I dati anomali ( $> 4.0$  cps – percentile 95) più omogenei si riscontrano comunque essenzialmente in corrispondenza delle lave potassiche e ultrapotassiche del vulcano Roccamonfina (area Vairano – Caianello) e delle piroclastiti delle Ignimbriti Campane (a ridosso di Avellino). Altre aree anomale vengono comunque riscontrate su litologie sedimentarie (S. Giorgio del Sannio, nord di Benevento, est di S. Giorgio la Molarra, ovest di Monte Soglio, sud di Isernia, area delle sorgenti del Volturno) (tav. 42).

9.2. - RADIOATTIVITÀ  $^{232}\text{Th}$ 

I valori anomali ( $> 1,3$  cps – percentile 95) della radioattività imputabile al  $^{232}\text{Th}$ , diversamente da quelli del  $^{40}\text{K}$ , individuano un'area ben delimitata fra Alvignano ed ovest di Caianello – Presenzano, in corrispondenza essenzialmente delle vulcaniti potassiche e ultrapotassiche del Roccamonfina. Le piroclastiti delle Ignimbriti Campane fanno registrare dei valori più bassi, compresi fra 0,7 e 1,3 cps (area di Avellino; fra Rotondi e Capua; fra Capua e Alvignano; Vitulano – Solopaca). Altre aree con valori fra 0,7 e 1,3 cps cadono isolatamente anche in corrispondenza di litologie sedimentarie in vari punti del territorio del bacino, senza però alcun carattere distintivo per alcuna particolare litologia (tav. 43).

9.3. - RADIOATTIVITÀ  $^{238}\text{U}$ 

I valori anomali ( $> 2,5$  cps – percentile 95) della radioattività imputabile a  $^{238}\text{U}$ , hanno una distribuzione quasi del tutto sovrapponibile a quella del  $^{232}\text{Th}$ , con una netta delimitazione della zona compresa fra Alvignano e ovest di Caianello – Presenzano come area a forte anomalia (vulcaniti potassiche e ultrapotassiche del vulcano Roccamonfina). Per  $^{238}\text{U}$  viene individuata, rispetto al  $^{232}\text{Th}$ , come area anomala anche la zona a sud-est di Avellino (sud di Monte Terminio) (tav. 44).

9.4. - RADIOATTIVITÀ TOTALE ( $> 0.08$  MeV) (U, Th, K)

La carta della radioattività totale ( $> 0,08$  MeV) (U – Th – K) coincide abbastanza fedelmente a quelle del  $^{238}\text{U}$  e del  $^{232}\text{Th}$  (tav. 45). La maggiore similitudine comunque è con la carta della radioattività imputabile a  $^{238}\text{U}$ . Come per  $^{238}\text{U}$  gli alti valori ( $> 37$  cps – percentile 90) della radioattività totale si registrano in modo molto netto in corrispondenza delle vulcaniti potassiche e ultrapotassiche del vulcano Roccamonfina (da Alvignano ad ovest di Caianello – Presenzano) e delle piroclastiti delle Ignimbriti Campane. Rispetto sia all' $^{238}\text{U}$  che al  $^{232}\text{Th}$ , i valori della radioattività totale non individuano come leggermente anomala l'area compresa fra Capua e S. Agata dei Goti.

9.5. - RADIOATTIVITÀ TOTALE ( $> 0.40$  MeV) (U, Th, K)

La distribuzione dei valori anomali ( $> 250$  cps – percentile 90) della radioattività totale ( $> 0,40$  MeV) (U – Th – K) (tav. 46), non mostra alcuna sostanziale diversità rispetto a quella della radioattività totale ( $> 0,08$  MeV) (tav. 45). Le due carte sono per grandi linee assolutamente sovrapponibili.

## 10. - DISTRIBUZIONE DEI FACTOR SCORES DELLE ASSOCIAZIONI FATTORIALI

L'analisi fattoriale è stata eseguita solo sui 998 campioni di nuova acquisizione, su di una matrice contenente 24 elementi (variabili indipendenti). Non sono stati considerati per l'analisi fattoriale gli elementi chimici con una elevata percentuale di determinazioni analitiche inferiore al limite di rilevanza strumentale e gli elementi maggiori, in quanto questi ultimi nell'analisi fattoriale non si comportano come variabili indipendenti.

La tabella dei modelli fattoriali fa ritenere come

Tab. 8 - Modelli fattoriali dell'analisi fattoriale dei dati geochimici relativi ai campioni di sedimenti fluviali del bacino del fiume Volturno.

- *Factor models of the Volturno basin stream sediment geochemical data.*

FATTORI					
	1	2	3	4	5
<b>Elementi</b>	<b>Th-Tl-W-La-V-U-Ba-As-Pb-Sb</b>	<b>Co-Ni-Mn-Cr</b>	<b>Au-Ag-Zn-Hg-Cu-Pb-Sb</b>	<b>B-Sr</b>	<b>Se-Mo-Cd</b>
B mg/kg	0,218	0,327	0,232	<b>0,694</b>	0,038
Ba mg/kg	<b>0,843</b>	0,229	0,198	0,162	0,086
Cr mg/kg	-0,14	<b>0,708</b>	0,367	0,092	0,105
Cu mg/kg	0,359	0,445	<b>0,58</b>	0,192	0,048
La mg/kg	<b>0,874</b>	0,107	0,232	-0,174	0,047
Mn mg/kg	0,29	<b>0,765</b>	-0,14	-0,039	-0,016
Ni mg/kg	-0,276	<b>0,888</b>	0,079	0,172	0,152
Pb mg/kg	<b>0,686</b>	0,119	<b>0,583</b>	-0,08	0,117
Sr mg/kg	-0,229	0,056	-0,104	<b>0,776</b>	0,114
Th mg/kg	<b>0,904</b>	0,121	0,173	-0,003	-0,124
V mg/kg	<b>0,856</b>	0,148	0,209	-0,037	0,023
Zn mg/kg	0,44	0,17	<b>0,703</b>	0,133	0,125
As mg/kg	<b>0,727</b>	0,239	0,071	-0,096	0,179
Cd mg/kg	0,409	0,183	0,361	-0,324	<b>0,526</b>
Co mg/kg	0,243	<b>0,911</b>	0,012	0,094	0,054
Mo mg/kg	0,313	0,35	0,054	0,065	<b>0,604</b>
Sb mg/kg	<b>0,579</b>	0,009	<b>0,559</b>	-0,08	0,351
Se mg/kg	-0,091	-0,066	0,151	0,182	<b>0,795</b>
Tl mg/kg	<b>0,926</b>	-0,037	0,255	-0,109	0,055
U mg/kg	<b>0,848</b>	-0,171	0,258	0,162	0,089
W mg/kg	<b>0,881</b>	-0,237	0,215	-0,127	0,093
Ag µg/kg	0,242	-0,05	<b>0,779</b>	0,148	0,117
Au µg/kg	0,2	-0,093	<b>0,802</b>	-0,009	0,081
Hg µg/kg	0,127	0,236	<b>0,661</b>	-0,198	0,002
Varianza % (totale dati)	<b>56,82</b>	<b>19,79</b>	<b>10,99</b>	<b>6,47</b>	<b>5,93</b>

rappresentativo dei processi litologici, minerogenetici e dell'ambiente superficiale (tab. 8) il modello fattoriale 5, responsabile del 76.2% della variabilità dei dati. Per la determinazione delle associazioni di elementi costituenti tale modello fattoriale si sono considerati come significativi i valori con *loadings* > |0.5|. Le associazioni del modello 5 sono F1: Tl-Th-W-La-V-U-Ba-As-Pb-Sb; F2: Co-Ni-Mn-Cr; F3: Au-Ag-Zn-Hg-Cu-Pb-Sb; F4: Sr-B; F5: Se-Mo-Cd.

Per la rappresentazione della distribuzione dei

valori dei *factor scores* delle singole associazioni fattoriali è stato utilizzato il metodo di interpolazione dell'inverso della distanza al quadrato (IDW).

10.1. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE F1: Th -Tl-W-La-V-U-Ba-As-Pb-Sb

L'associazione F1, responsabile del 55,11 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di

0,93, 0,90, 0,88, 0,87, 0,86, 0,85, 0,84, 0,73, 0,68 e 0,58 rispettivamente per Tl, Th, W, La, V, U, Ba, As, Pb e Sb. Questa associazione fattoriale riflette esclusivamente la componente litologica. I suoi alti *factor scores* ( $> 1,33$  – percentile 90, fino a 3,06) coincidono infatti quasi sempre con gli affioramenti sia delle vulcaniti potassiche e ultrapotassiche del vulcano Roccamonfina (ovest di Vairano -Presenzano) e delle piroclastiti delle Ignimbriti Campane (fascia da nord di Caserta fino a Vairano; area Altavilla Irpina – Avellino – Monte Terminio). La fascia di territorio del bacino a nord di questa fascia con alti valori, è essenzialmente caratterizzata da valori bassi o negativi ( $< 0,56$  – percentile 75) dei *factor scores* (tav. 47).

#### 10.2. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE F2: Co-Ni-Mn-Cr

L'associazione fattoriale F2, responsabile del 19,82 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,91, 0,89, 0,77 e 0,71 rispettivamente per Co, Ni, Mn e Cr. Anche l'associazione F2, come la F1, si deve interpretare come controllata dalla componente litologica. I suoi alti *factor scores* ( $> 0,61$  – percentile 75, fino a 3,43) delimitano infatti quasi perfettamente le litologie sedimentarie delle Unità Lagonegro II (argilliti, calcareniti, calciruditi) e delle Unità Irpine Interne (conglomerati, arenarie, marne e argille) nei bacini del Tammaro e del Miscano, e delle Unità Molisane (complessi calcareo-silico-marnosi) nell'alto Volturno. Nella determinazione dei valori alti dei *factor scores* di questa associazione giocano un ruolo primario sia la presenza di argille che quella degli idrossidi di manganese, in quanto fattori che determinano un forte effetto di barriera geo-chimica e di coprecipitazione di elementi quali cobalto, nickel e cromo. Tutto il settore meridionale del territorio del bacino è viceversa caratterizzato da valori dei *factor scores*  $< 0,61$  (percentile 75) fino a  $-3,54$  (tav. 48).

#### 10.3. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE F3: Au-Ag-Zn-Hg-Cu-Pb-Sb

L'associazione fattoriale F3, è responsabile del 11,55 % della variabilità totale dei dati con *loadings* di 0,80, 0,78, 0,70, 0,66, 0,58, 0,58 e 0,56 rispettivamente per Au, Ag, Zn, Hg, Cu, Pb e Sb. Gli alti *factor scores* ( $> 0,98$  – percentile 90) di questa associazione possono riflettere un fattore “mineralizzazione” in quanto rappresentano un'associazione geo-chimica tipica di mineralizzazioni epidermali associate a rocce vulcaniche; le aree individuate come anomale sembrano confermare questa circostanza

in quanto gli alti *factor scores* vengono registrati in prevalenza in corrispondenza di presenza di litologie vulcaniche (fra Caserta e Capua; fra S. Agata dei Goti e Rotondi; sud di Piedimonte Matese; area di Cerreto Sannita); peraltro aree con alti *factor scores*, benchè, più isolate vengono anche registrate in presenza di litologie sedimentarie (sud di Venafro; Prato Sannita; est di S. Giorgio la Molara; S. Giorgio del Sannio). In questo secondo caso è da ritenersi che molte delle aree anomale possano riflettere anche contaminazioni di origine antropica. Tutta la fascia centro-orientale del territorio (bacino dei fiumi Tammaro, Miscano, Ufita, Calore e Sabato) è caratterizzata da *factor scores*  $< 0,37$  (percentile 75), fino a  $-2,24$  (tav. 49).

#### 10.4. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE F4: B-Sr

L'associazione fattoriale F4, responsabile del 7,22 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,78 e 0,69, rispettivamente per Sr e B. Gli alti valori ( $> 1,09$  – percentile 90) dei *factor scores* dell'associazione F4, riflettono una componente litologica di diversa natura. La loro distribuzione coincide sia con le litologie vulcaniche del vulcano Roccamonfina (ovest di Caianello) e delle Ignimbriti Campane (a ridosso di Avellino nel bacino del Sabato; foce del Volturno), che con quelle sedimentarie dell'Unità di Ariano (argille, sabbie e conglomerati) ad est e a nord di Ariano Irpino e dell'Unità Molisane (complessi calcareo-silico-marnosi) nell'alto Volturno, a nord-ovest di Isernia. Tutta la parte centrale del territorio del bacino del Volturno è caratterizzata da valori bassi ( $< 0,59$  – percentile 75) dei *factor scores*, con una particolare incidenza di valori molto bassi ( $< -1,22$  fino a  $-3,33$ ) nel ramo casertano – molisano del Volturno (tav. 50).

#### 10.5. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE F5: Se-Mo-Cd

L'associazione fattoriale F5, responsabile del 6,30 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,80, 0,60 e 0,52, rispettivamente per Se, Mo e Cd. I valori elevati ( $> 1,18$  – percentile 90) dei *factor scores* dell'associazione F5 vengono individuati esclusivamente nel settore occidentale del territorio a nord di Piedimonte Matese in corrispondenza delle litologie carbonatiche dell'Unità del Matese, di cui assumono quasi un carattere *marker*. Valori fra 0,56 e 1,18 vengono registrati sempre nel bacino dell'alto Volturno e all'estremo sud-orientale del territorio nel bacino del Calore. La parte centrale del territorio (bacini dei fiumi del basso Volturno, Tammaro, Miscano, Ufita,



basso Calore e Sabato, e Isclero) è caratterizzata da valori < 0,56 (percentile 75) fino a -3,46 (tav. 51).

#### 11. - CARTE DELLE SOGLIE GEOCHIMICHE PER L'USO DEL TERRITORIO

Per la compilazione delle carte delle soglie geochimiche per l'uso del territorio sono stati utilizzati, come riferimento, i criteri di intervento del Canada e dell'Olanda, in considerazione del fatto che in Italia non è stata stabilita ancora una normativa ufficiale che fissi i limiti di intervento per i vari elementi chimici nei sedimenti fluviali. Solo recentemente è stato emanato un Decreto del Ministero Ambiente (N. 471, 25 Ottobre 1999) che fissa le concentrazioni limite nei suoli e nelle acque per l'uso ricreativo/residenziale e commerciale/industriale del territorio. Le aree che in questo lavoro vengono individuate come a rischio, sulla base delle soglie limite fissate dal Canada e dall'Olanda, necessitano quindi di essere ridefinite una volta che il Ministero dell'Ambiente provvederà a fissare per l'Italia una normativa di riferimento per i sedimenti fluviali. C'è da sottolineare comunque che le aree individuate come a rischio sulla base delle concentrazioni chimiche riscontrate nei sedimenti fluviali, sono in ogni caso da considerarsi come "aree a rischio potenziale", in quanto va verificata, localmente, la concentrazione di elementi chimici nei suoli in corrispondenza delle aree di influenza dei sedimenti con valori superiori alle soglie predefinite (nel nostro caso quelle del Canada e dell'Olanda).

##### 11.1. - ARSENICO (As)

Per l'arsenico non vengono individuate aree a rischio in tutto il territorio del bacino, fatta eccezione per una piccolissima area immediatamente a sud-est di Isernia, dove si registra un valore che supera la soglia limite canadese (>33 mg/Kg) (tav. 52).

##### 11.2. - CADMIO (Cd)

Per il cadmio non vengono individuate aree a rischio per i criteri di intervento sia olandese (> 7,5 mg/Kg) che canadese (> 10 mg/Kg) (tav. 53).

##### 11.3. - CROMO (Cr)

Per il cromo non vengono individuate aree a rischio per i criteri di intervento sia canadese (> 111 mg/Kg) che olandese (> 380 mg/Kg) (tav. 54).

##### 11.4. - MERCURIO (Hg)

Per il mercurio vengono individuate isolate, limitate, aree a rischio (> 1,6 mg/Kg, soglia olandese; > 2,0 mg/Kg, soglia canadese), sempre in corrispondenza di litologie vulcaniche (piroclastiti) delle Ignimbriti Campane ad est di Capua, a ridosso di S. Agata dei Goti a ridosso di Avellino e nei pressi di Montella (tav. 55).

##### 11.5. - NICHEL (Ni)

Le aree di intervento per il Ni vengono individuate prevalentemente (> 45 mg/Kg, soglia olandese; > 90 mg/Kg, soglia canadese) nel bacino del Tammaro (litologie sedimentarie delle Unità Lagonegro II e delle Unità Irpine Interne) e dell'alto Volturno (litologie sedimentarie delle Unità Molisane e di Frosolone). Isolate aree a rischio sono registrate anche nel settore orientale del bacino (nei fiumi Ufita e Calore) (tav. 56).

##### 11.6. - PIOMBO (Pb)

Per il piombo non vengono individuate aree a rischio per i criteri di intervento sia canadese (> 250 mg/Kg) che olandese (> 530 mg/Kg) (tav. 57).

##### 11.7 - RAME (Cu)

Per il rame vengono individuate aree a rischio con valori superiori alla soglia sia olandese (> 90 mg/Kg) che canadese (114 mg/Kg) per lo più nella porzione meridionale del territorio (bacini del Sabato, Isclero e Calore e del basso Volturno). I valori superiori alle soglie limite vengono registrati per lo più in corrispondenza di litologie vulcaniche; sembra più probabile comunque che questi alti valori possano essere attribuiti ad un contributo antropico (soprattutto attività agricole) (tav. 58).

##### 11.8 - ZINCO (Zn)

Per lo zinco secondo i criteri di intervento canadesi (> 80 mg/Kg) viene individuato come a rischio quasi il 50 % del territorio del bacino; secondo invece la soglia limite olandese (> 720 mg/Kg), le aree individuate come a rischio sono soltanto sette (ad est di Venafro; ad ovest di Vairano; ad Airola; a nord-ovest di Vallata). La situazione di rischio potenziale risultante dall'applicazione dei criteri canadesi è, comunque, da ritenersi assolutamente irrealistica.



## 12. - CONCLUSIONI

La cartografia geochemica prodotta su 1859 campioni di sedimenti fluviali del bacino del fiume Volturno, prelevati a profondità di 0 - 30 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 soprattutto all'intensa attività antropica presente sul territorio almeno nell'arco dell'ultimo secolo.

Il quadro conoscitivo derivante dall'analisi della distribuzione geochemica dei singoli elementi, dei *factor scores* delle associazioni fattoriali e delle carte delle soglie geochemiche di intervento, ha consentito di pervenire sinteticamente alle seguenti conclusioni:

- La distribuzione delle concentrazioni di molti degli elementi analizzati riflette esclusivamente la componente litologica. Infatti è possibile osservare dalla cartografia prodotta che le alte concentrazioni di elementi quali Tl, Th, W, La, V, U, Ba, As, Pb, Sb coincidono quasi sempre con gli affioramenti sia delle vulcaniti potassiche e ultrapotassiche del vulcano Roccamonfina (ovest di Vairano - Presenzano) che delle piroclastiti delle Ignimbriti Campane (fascia da nord di Caserta fino a Vairano; area Altavilla Irpina - Avellino - Monte Terminio). Allo stesso modo la distribuzione dei valori di Ca e Mg assume certamente un carattere *marker* per la distribuzione delle facies carbonatiche così come, per la presenza di alte concentrazioni nei sedimenti, Se, Mo e Cd assumono quasi un carattere *marker* delle litologie carbonatiche dell'Unità del Matese.

- Sono da attribuire ad una componente naturale, legata a processi geochemici superficiali, le alte concentrazioni di Co-Ni-Mn-Cr in corrispondenza delle litologie sedimentarie delle Unità Lagonegro II (argilliti, calcareniti, calciruditi) e delle Unità Irpine Interne (conglomerati, arenarie, marne e argille) nei bacini del Tammaro e del Miscano, e delle Unità Molisane (complessi calcareo-silico-marnosi) nell'alto Volturno. Nella determinazione delle alte concentrazioni di questi elementi nei sedimenti giocano un ruolo primario sia la presenza di argille che quella degli idrossidi di manganese, in quanto fattori che determinano un forte effetto di barriera geochemica e di coprecipitazione.

- Una duplice interpretazione possono avere le alte concentrazioni di Au, Ag, Zn, Hg, Cu, Pb, Sb. Infatti quest'insieme di elementi, rappresentando un'associazione geochemica tipica di mineralizzazioni epitermali associate a rocce vulcaniche, può riflettere un fattore "mineralizzazione" in corrispondenza di litologie vulcaniche. Le alte concentrazioni in

corrispondenza di litologie sedimentarie (sud di Venafro; Prato Sannita; est di S. Giorgio la Molara; S. Giorgio del Sannio) fanno supporre la presenza di contaminazioni di origine antropica.

- Gli alti valori della radioattività registrati in corrispondenza del vulcano Roccamonfina (da Alvignano ad ovest di Caianello - Presenzano) e delle piroclastiti delle Ignimbriti Campane sono da ritenersi del tutto normali in aree caratterizzate dalla presenza di vulcaniti potassiche ed ultrapotassiche.

- La forte pressione antropica sul territorio è messa in evidenza dalle carte di rischio che individuano ampie zone contaminate soprattutto dall'abbondante presenza di Hg, Ni, Cu e Zn.

- In conclusione, si può dire che forse le concentrazioni di metalli tossici riscontrate non sono molto elevate per creare seri problemi, nel breve periodo, alla salute dei cittadini e a quella delle piante, ma è probabile che ciò possa avvenire, nell'immediato futuro, se le emissioni tossiche nell'ambiente aumenteranno.

### Ringraziamenti

*Il presente lavoro è stato effettuato grazie ai finanziamenti ricevuti dal Professor Benedetto DE VIVO da un Progetto PRIN-MURST (1998-2000) e da una Convenzione stipulata con l'Autorità di Bacino dei fiumi Volturno e Liri-Garigliano.*

*Per le attività di campagna si ringraziano i dottori, Francesco MALANGA e Adriano IACHETTA che hanno, in parte, usufruito di fondi derivanti da una Convenzione ANPA-CNR finalizzata alla realizzazione di prototipi di carte tematiche di parte del territorio nazionale alla scala 1:250000.*

*Si ringraziano, infine, Marina COSCI e Maria Luisa VATOVEC (APAT) per la preziosa e collaborativa assistenza nelle fasi editoriali del manoscritto ed il Prof. Piero MANETTI per gli utili suggerimenti, che hanno migliorato il manoscritto finale.*

### BIBLIOGRAFIA

- AGIP (1986) - MOSTARDINI F. & MERLINI S. - *Appennino Centro Meridionale - Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. 73° Congresso Soc. Geol. It. Roma 30/9 - 4/10.
- APRILE F., CASTALDO V., ORTOLANI F., PAGLIUCA S. & ROLANDI G. (1992) - *Tettonica e vulcanismo negli ultimi 35.000 anni nella Piana Campana*. 11° Convegno GNGTS - CNR I: 425-429.
- BGS (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY), (1987) - *Regional Geochemical Atlas Series. Great. Glen*. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY), (1990) - *Regional Geochemical Atlas Series. Argyll*. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY), (1991) - *Regional Geochemical Atlas Series. East Grampians*. British Geological Survey, Keyworth.
- BGS (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY), (1992) - *Regional Geochemical Atlas Series. Lake District*. British Geological Survey, Keyworth.
- BODIS D. & RAPANT S., (1999) - *Geochemical Atlas of The Slovak Republic*. Ministry of Environment of Slovak Republic, Geological Survey of Slovak Republic.

- BONARDI G., D'ARGENIO B. & PERRONE V. (1988) - *Carta geologica dell'Appennino meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 41.
- BONI M., COSTABILE S., DE VIVO B. & GASPARRINI M. (1999) - *Potential environmental hazard in the mining district of southern Igesiente (SW Sardinia, Italy)*. J. Geochem. Explor., **67**: 417 – 430.
- CCME (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT) (1995) - *Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life*. Report CCME EPC-98E. Prepared by the Technical Secretariat of the Water Quality Guidelines Task Group, Winnipeg, Manitoba, 38 pp.
- CICCHELLA D., DE VIVO B. & LIMA A. (2003) - *Palladium and platinum concentration in soils from the Napoli metropolitan area, Italy: possible effects of catalytic exhausts*. Sci. Tot. Env., **308** (1-3): 121-131.
- CICCHELLA D. & ALBANESE S. (2004) - *Cartografia geochemica con l'uso di sistemi Informativi Geografici (GIS)*. In: De Vivo B., LIMA A. & SIEGEL F. (2004) : “*Geochemica ambientale. Metalli potenzialmente tossici?*”, Liguori Ed., Napoli. 464 pp.
- CICCHELLA D., DE VIVO B. & LIMA A. (2005) - *Background and baseline concentration values of elements harmful to human health in the volcanic soils of the metropolitan and provincial area of Napoli (Italy)*. Geochem: Explor.-Env.-Anal., **5**, 1-12.
- DARNLEY A.G., BJORKLUND A., BOLVIKEN B., GUSTAVSSON N., KOVAL P.V., PLANT J.A., STEENFELT A., TAUCHID M., XIE XUEJING, GARRETT R.G. & HALL G.E.M. (1995) - *A global geochemical database for environmental and resource management: recommendations for international geochemical mapping*. Earth Science Report, **19**, UNESCO Publishing, Paris, 122 pp.
- DE VIVO B., SCANDONE R. & TRIGILA R. (1993) - *Mount Vesuvius*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **58** (1 – 4).
- DE VIVO B. (con la collaborazione di LIMA A. ) (1995) - *Elementi e metodi di geochemica ambientale*. Liguori Editore, Napoli, 493 pp.
- DE VIVO B., BONI M., MARCELLO A., DI BONITO M. & RUSSO A. (1997) - *Baseline geochemical mapping of Sardinia (Italy)*. J. Geochem. Explor., **60**: 77 – 90.
- DE VIVO B., BONI M. & COSTABILE S. (1998a) - *Formational anomalies versus mining pollution: geochemical risk maps of Sardinia (Italy)*. J. Geochem Explor, **64**: 321-337. Geochemical Maps Congress, Denver, October 1997.
- DE VIVO B., BONI M., MARCELLO A., COSTABILE S., DI BONITO M. & RUSSO A. (1998b) - *Cartografia geochemica della Sardegna*. In: DE VIVO B., RICCOBONO F. & SABATINI G. (Eds.) : “*Cartografia geochemica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana meridionale*”, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, Servizio Geologico Nazionale, **LV**: 97-106.
- DE VIVO B., COSTABILE S. & LIMA A. (1998c) - *Cartografia geochemica della Calabria*. In: DE VIVO B., RICCOBONO F. & SABATINI G. (Eds.) : “*Cartografia geochemica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana meridionale*”, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, Servizio Geologico Nazionale, **LV**: 17-29.
- DE VIVO B., SAVA A., VILLANI V. & MESSINA A. (1998d) - *Cartografia geochemica dei Monti Peloritani*. In: DE VIVO B., RICCOBONO F. & SABATINI G. (Eds.) : “*Cartografia geochemica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana meridionale*”, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, Servizio Geologico Nazionale, **LV**: 33-47.
- DE VIVO B., BONI M., COSTABILE S. (2001a) - *Cartografia geochemica ambientale della Sardegna. Carte d'intervento per l'uso del territorio*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. Servizio Geologico Nazionale, **LVII**: 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. & ROLANDI G. (Edts) (2001) - *Mt Somma - Vesuvius and volcanism of the Campanian Plain*. SPECIAL ISSUE: MINERALOGY AND PETROLOGY, **73**.
- DE VIVO B., LIMA A. & CICCHELLA D. (2003) - *Cartografia geochemica ambientale: trattamento ed elaborazione dei dati*. Siti Contaminati, **1**: 36-51.
- DE VIVO B., LIMA A., ALBANESE S. & CICCHELLA D. (2003) - *Atlante geochemico-ambientale della Regione Campania*. De Frede Editore, Napoli, 214 pp.
- DE VIVO B., LIMA A. & SIEGEL F. R. (2004) - *Geochemica Ambientale. Metalli potenzialmente tossici*. Liguori Editore, Napoli, 464 pp.
- DE VIVO B., CICCHELLA D., LIMA A. & ALBANESE S., (2006) - *Atlante geochemico-ambientale dei suoli dell'area urbana e della Provincia di Napoli*. Aracne Editrice, Roma, 215 pp.
- DE VIVO B., BONI M., LIMA A., MARCELLO A., PRETTI S., COSTABILE S., GASPARRINI M., IACHETTA A. & TARZIA M. (2005) - *Cartografia geochemica ambientale e carte d'intervento per l'uso del territorio della Sardegna meridionale (Foglio Cagliari. Scala 1:250.000)*. . Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. Servizio Geologico Nazionale (in stampa).
- IPPOLITO F., D'ARGENIO B., PESCATORE T. & SCANDONE P. (1973) - *Unità stratigrafico-strutturali e schema tettonico dell'Appennino meridionale*. Ist. Geol. e Geof. dell'Università di Napoli, pubb. N°15.
- KADUNAS V., BUDAVICIUS R., GREGORANSKIENE V., KATINAS V., KLIANGIENE E., RADZEVICIUS A. & TARASKEVICIUS R., (1999) - *Geochemical Atlas of Lithuania*. Geological Survey of Lithuania, Geological Institute, Vilnius.
- LIMA A., CICCHELLA D. & DI FRANCIA S. (2003) - *Natural contribution of harmful elements in thermal groundwaters of Ischia island (southern Italy)* - Env. Geol. 2003, **43**: 930-940.
- LIMA A., ALBANESE S. & CICCHELLA D. (2005) - *Natural radioactivity of Campania Region (Italy) throughout K-U-Th concentration values in stream sediments and gamma-ray spectrometry surveys*. Appl. Geochem., (in stampa).
- MIESCH PROGRAMS (1990) - *G-RFac*. Grand Junction, CO, USA.
- ORSI G., CIVETTA L. & VALENTINE G.A. (1999) - *Volcanism in the Campi Flegrei*. J. Volcanol. Geotherm. Res., pp. 91.
- OTTESSEN R. T., BOGEN J., BOLVIKEN B., VOLDEN & HAUGLAND T. (2000) - *Geochemical Atlas of Norway*. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- PATACCA E., SARTORI R. & SCANDONE P. (1990) - *Tyrrhenian basin and Appenninic arcs: kinematic relations since late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It. **45**: 425-451.
- PLANT J., KLAVER G., LOCUTURA J., SALMINEN R., VRANA K. & FORDYCE F.M. (1997) - *The Forum of European Geological Surveys Geochemistry Task Group: geochemical inventory 1994-1996*. J. Geochem. Explor., **59**: 123 – 146.
- REIMANN C., AYRAS M., CHEKUSKIN V., BOGATYREV I., BOYD R., CARITAT P., DUTTER R., FINNE T.E., HALLERAKER J.H., JAEGER P., KASHULINA G., LEHTO O., NISKAVAARA H., PAVLOV V., RÄISÄNEN M.L., STRAND & VOLDEN T., (1998) - *Environmental Geochemical Atlas of Central Barent Region*. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- ROLANDI G., BELLUCCI F., HEIZLER M. T., BELKIN H. E. & DE VIVO B. (2003) - *Tectonic controls on the genesis of ignimbrites from the Campanian Volcanic Zone, Southern Italy*. In: DE VIVO B. & SCANDONE R. (Eds.) : “*Ignimbrites of the Campanian Plain*”, Italy Mineral. Petrol., **79**: 3 - 31.

- RUOCCO D. (1970) - *Memoria illustrativa della carta della utilizzazione del suolo della Campania*. CNR, Roma, pp. 181.
- SALMINEN R., TARVAINEN T., DEMETRIADES A., DURIS M., FORDYCE F.M., GREGORAUSKIENE V., KAHELIN H., KIVISILLA J., KLAVER G., KLEIN H., LARSON J.O., LIS J., LOCUTURA J., MARSINA K., MJARTANOVA H., MOUVET C., O'CONNOR P., ODOR L., PITTONELLO G., PAUKOLA T., PLANT J.A., REIMANN C., SCHERMANN O., SIEWERS U., STEENFELT A., VAN DER SLUYS J., DE VIVO B. & WILLIAMS L. (1998) - *FOREGS geochemical mapping field manual*. Guide 47, Geological Survey of Finland, Espoo, 36 pp.
- SALMINEN R., BATISTA M.J., BIDOVEC M., DEMETRIADES A., DE VIVO B., DE VOS W., GILUCIS A., GREGORAUSKIENE V., HALAMIC J., HEITZMANN P., LIMA A., JORDAN G., KLAVER G., KLEIN P., LIS J., LOCUTURA J., MARSINA K., MAZREKU A., MRNKOVA J., O'CONNOR P.J., OLSSON S., OTTESEN R.T., PETERSELL V., PLANT J.A., REEDER S., SALPETEUR I., SANDSTRÖM H., SIEWERS U., STEENFELT A., & TARVAINEN T. (2005) - *FOREGS - Geochemical Atlas of Europe. Part 1 - Background Information, Methodology, and Maps* (in stampa).
- SPERA F.J., DE VIVO B., AYUSO R.A. & BELKIN H.E. (1998) - *Vesuvius*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **82**: 1 – 4.
- STANLEY C.R. (1987) - *Probplot, an interactive computer program to fit mixtures of normal (or lognormal) distribution with maximum likelihood of optimization procedures*. Assoc. Explor. Geochem., Spec. Publ, n. **14**, 39 pp.
- TURCO E. & ZUPPETTA A. (1998) - *A kinematic model for the Plio – Quaternary evolution of the Tyrrhenian – Apenninic system : implications for rifting processes and volcanism*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **82**:1-8