



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI  
DIPARTIMENTO PER I SERVIZI TECNICI NAZIONALI

SERVIZIO GEOLOGICO

---

# MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

# CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME LVII

---

CARTOGRAFIA GEOCHIMICA AMBIENTALE DELLA SARDEGNA  
CARTE D'INTERVENTO PER L'USO DEL TERRITORIO  
*ENVIRONMENTAL GEOCHEMICAL MAPS OF SARDINIA*  
*INTERVENTION MAPS FOR LAND USE*

*Coordinamento scientifico:*

Benedetto DE VIVO - Maria BONI

ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO

*Direttore responsabile:* Andrea TODISCO

---

Comitato di Redazione:

F. PETRONE (Presidente), R. BENCINI, E. CIRESE, M. COSCI (Segretario), F. FERRI,  
R. FUNICIELLO, G. GIARDINI, G. GISOTTI, A. JORI, E. LA POSTA, N. I. MELLINO, N. A. PANTALEONE, M. G. ROSSI,  
M. SANTANTONIO, A. SCALISE, M. SCIOTTI, G. VENTURA

---

*Redazione e revisione cartografica:* M. COSCI, M. L. VATOVEC

---

(2213058) Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - Roma (2001)

## PRESENTAZIONE

### *Significato e contenuti dell'Opera*

La Sardegna è stata da secoli una delle poche regioni d'Italia a vocazione mineraria, ed è probabilmente l'unica in cui tale vocazione è stata sempre preponderante sugli altri tipi di attività. Sono ben noti i distretti minerari dell'Iglesiente-Sulcis, del Sarrabus-Gerrei, della Nurra e della Sardegna centrale, in cui mineralizzazioni di varia entità economica sono state sfruttate a partire da epoche arcaiche fino ai nostri giorni.

La coltivazione di giacimenti costituiti da diverse associazioni metalliche ha segnato profondamente non solo la storia, ma anche e soprattutto la natura di gran parte del territorio sardo, modificandone a tratti sia la morfologia superficiale, che le caratteristiche idrologiche e geochimiche. È pertanto molto importante che tali modificazioni vengano monitorate, dal momento che la loro influenza sull'ambiente, e di conseguenza sulla qualità della vita, può essere estremamente significativa in varie parti dell'isola.

Per potere, comunque, misurare le variazioni sul territorio del contenuto in vari elementi, tra i quali anche quelli potenzialmente inquinanti, è necessario avere una cartografia geochimica di riferimento, anche a grande scala, delle varie aree, che tenga conto sia della natura geologica dell'isola, che delle concentrazioni anomale in vari elementi, localizzate non solo nelle zone d'influenza dell'attività mineraria, ma anche nell'intorno di insediamenti antropici e centri industriali.

In una recente Monografia (De Vivo *et alii*, 1998), pubblicata dal Servizio Geologico d'Italia, in cui sono stati raccolti i contributi di cartografia geochimica multielementale della Toscana meridionale, della Calabria e della Sicilia orientale, è stata prodotta anche una cartografia geochimica della Sardegna, in cui sono stati utilizzati circa 17.000 campioni di sedimenti fluviali (stream sediments), campionati a scopo di prospezione mineraria all'inizio degli anni '70.

Il presente lavoro, dedicato esclusivamente alla Sardegna, e portato avanti da un gruppo di ricerca dell'Università Federico II di Napoli, sviluppa in parte il tema di cartografia geochimica di base già iniziato, integrando i dati precedenti con altri 9.000 campioni di sedimenti fluviali provenienti da campionature relative a Convenzioni effettuate tra il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato e l'Ente Minerario Sardo negli anni 80. La campionatura totale si estende per circa 12.000 km<sup>2</sup> con una densità nominale di un campione per 0,5 km<sup>2</sup>. Per la compilazione delle carte è stato usato il GIS Arc/View.

Inoltre per un numero selezionato di elementi (quelli di potenziale pericolosità ambientale), sono state elaborate carte di intervento per l'uso del territorio, in cui la classificazione è stata fatta considerando come concentrazioni limite dei metalli pesanti i criteri di intervento stabiliti dal Canada per l'uso agricolo, residenziale/ricreativo e commerciale/industriale del territorio. I dati presentati nelle carte d'intervento sono stati confrontati con la costituzione geologica del territorio sardo, e più segnatamente con la distribuzione delle mineralizzazioni note nell'isola e delle loro aree di influenza.

I risultati di tali valutazioni sono estremamente utili, non solo dal punto di vista scientifico, ma anche, e soprattutto, da quello ambientale. 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

### Purpose and contents of the work

*For centuries Sardinia has been one of the few Italian regions, where mining exploitation has played a leading role among other economic activities. In the mining districts of Iglesias-Sulcis, Sarrabus-Gerrei, Nurra and central Sardinia, ore deposits have been exploited since pre-Romans times up to present.*

*The exploitation of different types of ore deposits has influenced the history of Sardinia, but as well has influenced the territory, modifying the surface morphology and the geochemical and hydrologic characteristics. It is hence very important that such modifications are monitored, because their influence on the environment and the quality of the life, in different areas of the island, can be very important.*

*To register the concentrations of different chemical elements (among which the toxic ones), it is fundamental to produce geochemical maps of the entire Sardinia territory, covering not only the mining district areas but as well urbanised and industrial areas.*

*In a recent monograph (DE VIVO et alii, 1998) published by the Servizio Geologico d'Italia (Italy Geological Survey), have been produced multielement geochemical maps of Sardinia, using about 17.000 stream sediment samples from past geochemical prospecting projects carried out by Ente Minerario Sardo, during the years 70. This monograph includes as well multielement geochemical maps of Southern Tuscany, Calabria and eastern Sicily.*

*The present monograph concerns the publication of multielement geochemical maps of Sardinia, carried out by a research group of University of Napoli Federico II and it integrates the file data of 17,000 stream sediment samples with additional 9,000 stream sediment samples from Conventions carried out in the years '80 and agreed upon by the Ente Minerario Sardo and the Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (Ministry of Industry). The total sampling covers about 12,000 km<sup>2</sup>, with a nominal density of 1 sample per 0.5 km<sup>2</sup>. The geochemical maps have been compiled using the GIS Arc/View.*

*For a selected number of chemical elements (those with a potential risk for the environment) have been compiled intervention maps for land use. The intervention limits are those used for agriculture, recreational/residential, and commercial/industrial land use in Canada. The results obtained are discussed taking into account the geology and mostly the mineralization distribution in the island.*

*The geochemical intervention maps obtained are very useful, from the scientific point of view and mostly for environmental land use. The public Authorities should take in the proper account the above results for land use planning and remediation projects.*

Prof. Mario BARBIERI  
Università di Roma  
"La Sapienza"

## Cartografia geochemica ambientale della Sardegna Carte d'intervento per l'uso del territorio

*Environmental geochemical maps of Sardinia.  
Intervention maps for land use*

Benedetto DE VIVO (\*), Maria BONI (\*), Salvatore COSTABILE (\*)

**RIASSUNTO** – In una recente monografia (DE VIVO *et alii*, 1998a) è stata prodotta una cartografia geochemica multielementale della Sardegna utilizzando 16.890 campioni di sedimenti fluviali raccolti fra il 1972 e 1975 dall'Ente Minerario Sardo. In questo lavoro la campionatura di 16.890 campioni è stata integrata con ulteriori 9.260 campioni di sedimenti fluviali provenienti da 7 Convenzioni fra il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato e l'Ente Minerario Sardo eseguite negli anni 80.

Complessivamente per la compilazione della nuova cartografia geochemica multielementale della Sardegna (51 elementi) si sono utilizzati 26.337 campioni su di una superficie di circa 12.000 km<sup>2</sup>, con una densità nominale di un campione per ogni 0,5 km<sup>2</sup>. Sono state costruite, attraverso metodologie statistiche e l'uso del GIS Arc/View, carte geochemiche, per singolo elemento, per associazioni di elementi (*factor scores* dell'analisi fattoriale) e per combinazione di elementi chimicamente compatibili a gruppo di tre (es. Pb, Zn, Ag). Per alcuni elementi sono state infine compilate carte delle soglie geochemiche, in cui la distribuzione degli elementi sul territorio è stata riclassificata considerando come concentrazioni limite i criteri di intervento stabiliti dal Canada per l'uso agricolo, residenziale/ricreativo e commerciale/industriale del territorio.

**PAROLE CHIAVE:** Cartografia geochemica ambientale; Sardegna; Mineralizzazioni; Ambiente.

**ABSTRACT** – In a recent paper (DE VIVO *et alii*, 1998a) have been compiled multielement geochemical maps of Sardinia island using 16,890 stream sediment samples collected from 1972 to 1975 by the Ente Minerario Sardo. In this work the 16,890 samples have been integrated with 9,260 additional stream sediment samples from 7 Conventions between the Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA) and the Ente Minerario Sardo, collected during the 80's. All together for the new multielement geochemical maps (51 elements) of Sardinia a total of 26,337 samples have been used out of a surface of about 12,000 km<sup>2</sup>, with a nominal density of one sample per 0.5 km<sup>2</sup>. Geochemical maps for single elements, for elements association (*factor scores* from R-mode factor analysis) and for combination (groups of three) of chemically compatible elements (*e.g.* Pb, Zn, Ag) have been produced by means of statistics methods and of a GIS (Arc/View). For some selected elements have been also produced geochemical intervention maps; for the compilation of these maps the regional element distribution has been reclassified using as thresholds the intervention criteria established in Canada for the agricultural, residential/recreational and commercial/industrial land use.

**KEY WORDS:** Geochemical mapping; Sardinia; Mineralizations; Environment.

(\*) Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia - Via Mezzocannone 8 - 80134 Napoli - e-mail:devivo@dgbm.unina.it

## 1. – INTRODUZIONE

In una recente monografia (DE VIVO *et alii*, a, 1998) è stato prodotto il primo esempio di cartografia geochimica ambientale in Italia. In questa monografia, per la produzione delle carte geochimiche sono stati utilizzati dati di analisi geochimiche multielementali di sedimenti fluviali raccolti nell'ambito dei programmi della Ricerca Mineraria di Base finanziata negli anni 70 e 80 dal Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato. I programmi di prospezione sono stati eseguiti da Istituzioni pubbliche di ricerca (Ente Minerario Sardo; Ente Minerario Siciliano) che si sono avvalse operativamente della collaborazione di Società ENI (RIMIN SpA) (DE VIVO *et alii*, 1984; MARCELLO *et alii*, 1978).

Per l'elaborazione della cartografia geochimica già prodotta per la Sardegna (DE VIVO *et alii*, b, 1998) sono stati utilizzati 16.890 campioni di sedimenti fluviali raccolti tra il 1972 e il 1975 dall'Ente Minerario Sardo su di una superficie di circa 8.000 km<sup>2</sup>.

Nell'elaborazione della nuova cartografia geochimica contenuta in questo lavoro la campionatura già utilizzata è stata integrata con ulteriori *files* di dati geochimici di sedimenti fluviali provenienti da 7 Convenzioni stipulate fra il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato e l'Ente Minerario Sardo (EMSA) nell'ambito dei programmi della Ricerca Mineraria di Base negli anni 80 (Legge 6 Ottobre 1982, n. 752, art. 4). In aggiunta quindi ai 16.890 campioni già utilizzati in (DE VIVO *et alii*, b, 1998), sono stati usati per la nuova cartografia altri 185 campioni dalla Convenzione EMSA degli anni 1972-75 e 9.260 campioni di sedimenti fluviali provenienti dalle 7 Convenzioni sopra menzionate. L'area specifica di influenza di ognuna delle Convenzioni è indicata analiticamente nella figura 1. Il numero di elementi analizzati non è uguale per tutte le Convenzioni; l'area di influenza delle carte geochimiche elaborate varia quindi da elemento ad elemento.

I dati geochimici sono stati utilizzati per la compilazione delle carte geochimiche relative alla distribuzione dei singoli elementi, dei *factor scores* delle associazioni fattoriali e delle anomalie di elementi fra di loro strettamente relazionati chimicamente, raggruppati a gruppi di tre (es. Pb, Zn e Ag). Per un numero selezionato di elementi sono state elaborate carte delle soglie geochimiche facendo riferimento alle concentrazioni limite dei criteri di intervento del Canada per vari elementi per l'uso agricolo, residenziale/ricreativo e industriale/com-

merciale del territorio (VISSER, 1996). I criteri di intervento del Canada per l'uso del territorio coincidono, in larga misura, con quelli utilizzati dal Ministero dell'Ambiente in Italia per il caso specifico del risanamento dei suoli dei siti industriali dell'area siderurgica di Bagnoli (L. 18.11.1996, n. 582, G. U. 19.11.1996, n. 271). Nella fase di bozza del presente lavoro, il Ministro all'Ambiente ha emanato nel 1999 un decreto, fissando i limiti di intervento, sia per gli elementi organici che inorganici, per l'uso ricreativo-residenziale e commerciale-industriale del territorio in Italia.

La cartografia geochimica contenuta in questo volume è stata realizzata con fondi C.N.R. nell'ambito del Progetto Strategico (1997), Carta Geochimica d'Italia.

## 2. – CAMPIONI E ANALISI CHIMICHE

Nell'elaborazione della nuova cartografia geochimica contenuta in questo lavoro abbiamo integrato la campionatura già utilizzata (DE VIVO *et alii*, b, 1998) con ulteriori *files* di dati geochimici di sedimenti fluviali provenienti da 7 Convenzioni stipulate fra il Ministero dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato e l'Ente Minerario Sardo nell'ambito dei programmi della Ricerca Mineraria di Base negli anni 80. I 9.260 nuovi campioni utilizzati provengono dalle Convenzioni: A - Vulcaniti terziarie della Sardegna centro-settentrionale, Area 1; B - Vulcaniti terziarie della Sardegna centro-settentrionale, area 2; C - Vulcaniti terziarie della Sardegna centro-settentrionale, area 3; D - Area del Sulcis (Sardegna sud-occidentale); E - Area della Sardegna centro-orientale; F - Il complesso granitoide della Sardegna; G - Le successioni paleozoiche della Sardegna nord-orientale. Il totale quindi dei campioni presi in considerazione nella costruzione delle nuove carte geochimiche è di 26.337 (17.075 campioni, provenienti dalla Convenzione EMSA degli anni 1972-75, di cui 16.890 già utilizzati in DE VIVO *et alii* (b, 1998), integrati con 9.260 campioni di sedimenti fluviali provenienti dalle 7 Convenzioni sopra menzionate) (Tavola 1). L'area specifica di influenza di ognuna delle Convenzioni è indicata analiticamente nella figura 1. Il numero di elementi analizzati non è uguale per tutte le Convenzioni; l'area di influenza delle carte geochimiche elaborate varia quindi da elemento ad elemento. Il numero di campioni e gli elementi analizzati per ognuna delle 7 Convenzioni sono indicati nelle Tabella 1.

Complessivamente la superficie interessata da campionatura geochimica, ai fini della nostra carto-

## Convenzioni

A: Vulcaniti Terziarie della Sardegna Centro-Settentrionale. Area 1. Campioni n. 610.

B: Vulcaniti Terziarie della Sardegna Centro-Settentrionale. Area 2. Campioni n. 600.

C: Vulcaniti Terziarie della Sardegna Centro-Settentrionale. Area 3. Campioni n. 2500.

D: Area del Sulcis (Sardegna Sud-Occidentale). Campioni n. 525.

E: Area della Sardegna Centro-Orientale. Campioni n. 2370.

F: Il complesso granitoide della Sardegna. Campioni n. 690.

G: Le successioni Paleozoiche della Sardegna Nord-Orientale. Campioni n. 120.

EMSa: Ente Minerario Sardo Anni '70. Campioni n. 16.890.

## Laboratori di Analisi

Convenzioni A, B, C: Laboratorio SIM SpA- PROGEMISA SpA

Convenzioni D, E, F, G: Laboratorio PROGEMISA SpA - ALFALAB

## Metodo di Analisi

1 - Assorbimento Atomico; 2 - Spettrometro ad emissione atomica con sorgente DCP; 3 - Spettrometro ad emissione atomica con sorgente ICP; 4 - Spettrometria di fluorescenza a Raggi X; 5 - Colorimetria; 6 - Attivazione Neutronica.

L.R.S. - Limite di rilevabilità strumentale (in ppm).

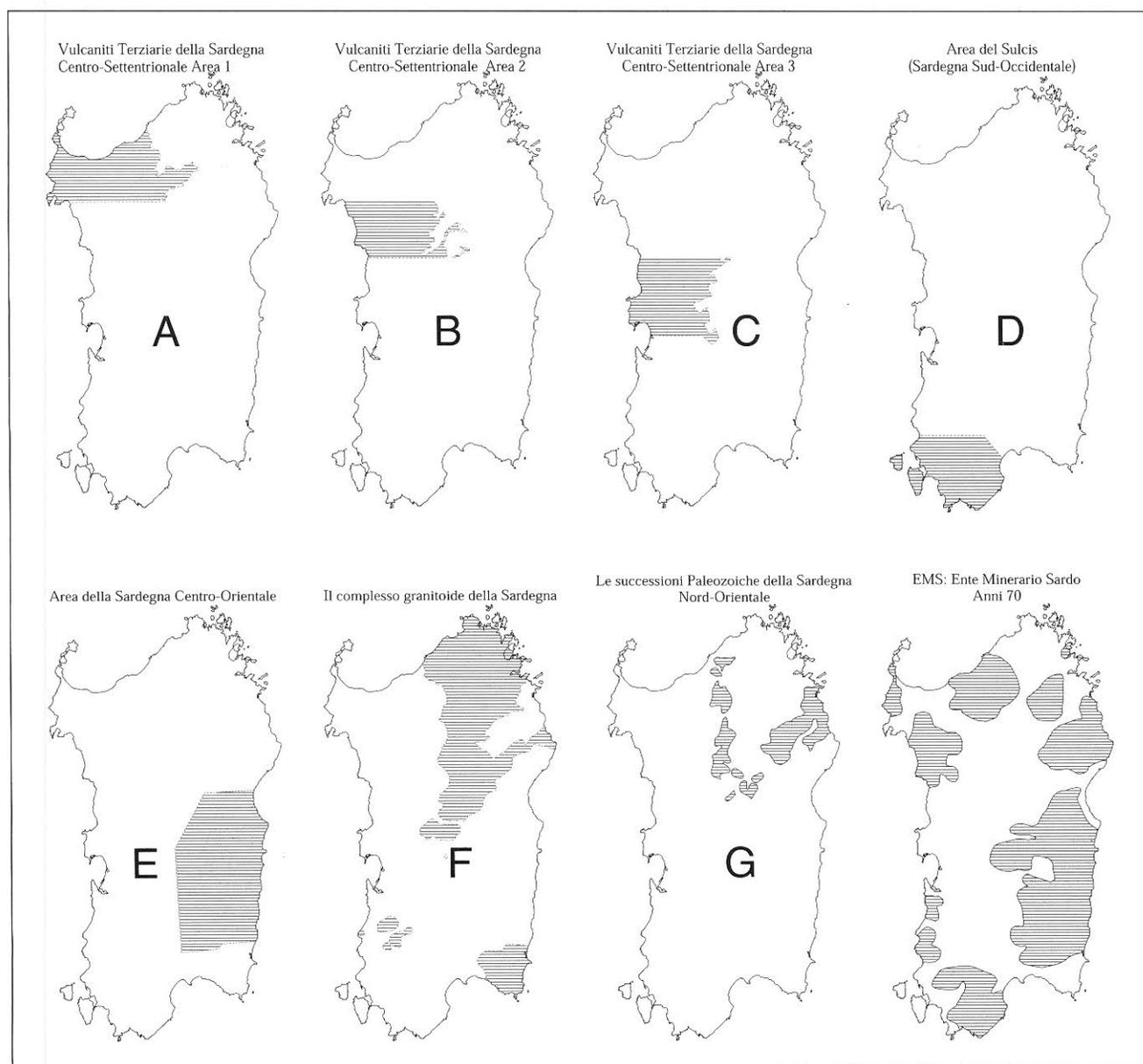


Fig. 1 - Carte della Sardegna con indicazione delle aree di influenza delle 7 Convenzioni fra Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato e Ente Minerario Sardo.

*Sardinia maps with delimitations of the sampling areas of the 7 Convenzioni between Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato and Ente Minerario Sardo.*

TAB. 1 - Informazioni relative alle determinazioni analitiche delle Convenzioni fra Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA) e Ente Minerario Sardo (EMSA).

Analytical data of the chemical analyses of the *Convenzioni* between the Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA) and the Ente Minerario Sardo (EMSA).

Elementi	Convenzione A			Convenzione B			Convenzione C			Conv. D, E, F, G			EMSa		
	Met. Anal.	Accur.	LRS	Met. Anal.	Accur.	LRS	Met. Anal.	Accur.	LRS	Met. Anal.	Met. Anal.	LRS	Met. Anal.	Met. Anal.	LRS
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	4	2%	100	3	—	100	4	—	100	—	—	—	—	—	—
CaO %	4	3%	100	3	—	100	4	—	100	2	—	—	—	—	—
FeO %	6	—	100	6	—	100	6	—	100	—	—	—	—	—	—
K <sub>2</sub> O %	4	—	100	3	—	100	4	—	100	1	—	—	—	—	—
MgO %	4	—	100	3	—	100	4	—	100	—	—	—	—	—	—
MnO %	4	6%	10	3	3%	1	4	3%	10	—	1	5	—	—	—
Na <sub>2</sub> O %	6	—	100	6	—	100	6	—	100	1	—	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	4	3%	50	3	10%	10	4	10%	50	4	—	—	—	—	—
SiO <sub>2</sub> %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TiO <sub>2</sub> %	4	5%	100	3	25%	100	4	25%	100	—	—	—	—	—	—
Ag ppm	—	—	—	3	5%	0,4	—	—	—	1,2,3	1	1	—	—	—
Au ppb	6	11%	2	6	11	2	6	11%	2	—	—	—	—	—	—
As ppm	6	16%	0,5	6	3%	0,5	6	3%	0,5	1,2,3	—	—	—	—	—
B ppm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2,3	—	—	—	—	—
Ba ppm	6	17%	50	6	15%	50	6	15%	50	2,3,4	—	—	—	—	—
Bc ppm	—	—	—	3	8%	2	—	—	—	2,3	—	—	—	—	—
Bi ppm	—	—	—	3	12%	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Br ppm	6	5%	0,5	6	5%	0,5	6	5%	0,5	—	—	—	—	—	—
Cd ppm	—	—	—	3	12%	0,5	—	—	—	1,2,3	—	—	—	—	—
Ce ppm	6	15%	3	6	10%	3	6	10%	3	1,2,3	—	—	—	—	—
Co ppm	6	18%	1	6	8%	1	6	8%	1	1,2,3	1	1	—	—	—
Cr ppm	6	14%	5	6	4%	5	6	4%	5	—	1	1	—	—	—
Cs ppm	6	15%	1	6	5%	1	6	5%	1	—	—	—	—	—	—
Cu ppm	4	3%	10	3	8%	1	4	8%	10	1,2,3	1	1	—	—	—
Eu ppm	6	15%	0,2	6	5%	0,2	6	58%	0,2	—	—	—	—	—	—
F ppm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	5	5	—	—	—
Ge ppm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—
Ga ppm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—
Hf ppm	6	12%	1	6	2%	1	6	2%	1	—	—	—	—	—	—
Hg ppm	6	—	1	6	—	1	6	—	1	1,2,3	—	—	—	—	—
In ppm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2,3	—	—	—	—	—
Ir ppb	6	—	5	6	—	5	6	—	5	—	—	—	—	—	—
La ppm	6	14%	0,5	6	4%	0,5	6	4%	0,5	1,2,3	—	—	—	—	—
Li ppm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,3	—	—	—	—	—
Lu ppm	6	12%	0,05	6	11%	0,05	6	11%	0,05	—	—	—	—	—	—
Mo ppm	6	16%	1	6	6-1%	1	6	6%	1	1,3	1	10	—	—	—
N ppm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2,3	—	—	—	—	—
Nb ppm	4	—	10	3	—	5	4	—	10	—	—	—	—	—	—
Nd ppm	6	7%	5	6	2%	5	6	2%	5	—	—	—	—	—	—
Ni ppm	4	6%	5	3	3%	1	4	3%	5	—	1	1	—	—	—
Pb ppm	4	17%	5	3	7%	5	4	7%	5	1,2,3	1	2	—	—	—
Rb ppm	6	12%	15	6	2%	15	6	2%	15	2,3	—	—	—	—	—
Sb ppm	6	14%	0,1	6	4%	0,1	6	4%	0,1	2,3	1	20	—	—	—
Sc ppm	6	16%	0,1	6	6%	0,1	6	6%	0,1	—	—	—	—	—	—
Se ppm	6	5%	3	6	5%	3	6	5%	3	—	—	—	—	—	—
Sm ppm	6	10%	0,1	6	10%	0,1	6	10%	0,1	—	—	—	—	—	—
Sn ppm	6	35%	100-10	6	35%	100-5	6	35%	100-10	2,3	—	—	—	—	—
Sr ppm	4	15%	5	3	5%	1	4	5%	5	2,3,4	—	—	—	—	—
Ta ppm	6	1%	0,5	6	10%	0,5	6	10%	0,5	—	—	—	—	—	—
Tb ppm	6	6%	0,5	6	6%	0,5	6	6%	0,5	—	—	—	—	—	—
Th ppm	6	13%	0,2	6	3%	0,2	6	3%	0,2	1,2,3	—	—	—	—	—
U ppm	6	14%	0,5	6	4%	0,5	6	4%	0,5	—	—	—	—	—	—
V ppm	4	20%	5	3	20%	2	4	20%	5	2,3	—	—	—	—	—
W ppm	6	6%	1	6	6%	1	6	6%	1	2,3	—	—	—	—	—
Y ppm	4	23%	5	3	23%	2	4	23%	5	2,3	—	—	—	—	—
Yb ppm	6	16%	0,2	6	6%	0,2	6	6%	0,2	—	—	—	—	—	—
Zn ppm	4	9%	5	3	9%	1	4	9%	5	1,2,3	1	1	—	—	—

grafia, è di circa 12.000 km<sup>2</sup> per un numero totale di 26.337 campioni, con una densità nominale di 1 campione circa ogni 0.5 km<sup>2</sup>. Il file dati con 9.260 campioni copre una superficie di circa 4.500 km<sup>2</sup>, con una densità di campionatura di 1 campione circa ogni 0.5 km<sup>2</sup>.

I campioni sono stati essiccati e setacciati, e per le determinazioni analitiche è stata trattenuta la frazione < 80 mesh.

Le analisi chimiche sono state eseguite presso i laboratori Progemisa SpA, Alfab SpA e SIM SpA. I campioni sono stati sottoposti ad analisi multielementali attraverso AA, ICP-AES, DCP-AES e XRF (Tabella 1).

I dati geochimici utilizzati nella compilazione della cartografia geochimica sono necessariamente eterogenei, per quanto riguarda la metodologia di preparazione dei campioni e le procedure di analisi. Le carte geochimiche elaborate, comprese quelle riportanti le soglie geochimiche per l'uso del territorio, hanno valore a livello regionale. Per le definizioni del rischio a livello locale è necessario procedere all'effettuazione di campionature di suoli nelle specifiche aree potenziali di rischio.

### 3. – ANALISI STATISTICA

Nella costruzione della cartografia geochimica sono state usate le stesse metodologie utilizzate per la Calabria, i Monti Peloritani (Sicilia) e la Sardegna (DE VIVO *et alii*, a, 1998).

Le carte geochimiche sono corredate da curve cumulative di frequenza, con l'indicazione dei parametri statistici dei dati geochimici (Tabella 2). Per ogni elemento è indicato il valore minimo, massimo, mediano, medio, la media geometrica e la deviazione standard. I percentili riportati sulle carte geochimiche si riferiscono alla distribuzione dei *pixels*, utilizzati nell'elaborazione delle immagini geochimiche, attraverso l'utilizzo del GIS Arc/View. L'elaborazione statistica per singolo elemento è stata effettuata con il programma Probplot (STANLEY, 1987).

Una lettura immediata dei parametri statistici dei dati chimici di partenza viene fornita a mezzo dei *box-plots* (mediana, scostamento valori estremi, valori anomali) (Figura 2). Il ricorso ai *box-plots* diventa ancora più interessante quando si conducono confronti paralleli per gruppi di dati analoghi (CASTINO & ROLETTA, 1991). Per la costruzione dei *box-plots* è stato utilizzato il programma Kaleidagraph.

Per l'analisi multivariata degli elementi è stata utilizzata l'analisi fattoriale in R-mode, la quale consente una valutazione quantitativa di diverse variabi-

li in gioco e la loro reciproca influenza. Essa permette così di valutare le possibili correlazioni esistenti tra la distribuzione dei singoli elementi, le caratteristiche litologiche, gli eventuali adunamenti minerali, i fenomeni di arricchimento legati all'ambiente superficiale, l'inquinamento antropico ed altro (DE VIVO *et alii*, 1981). Questo tipo di analisi ci restituisce non una soluzione, ma una serie di soluzioni (modelli fattoriali). La scelta della soluzione più consona è basata sul fatto che le associazioni prescelte sono quelle che presentano maggiore significato rispetto alle caratteristiche geologiche e all'ambiente superficiale (modello fattoriale significativo). Attraverso la distribuzione dei *factor scores* è possibile calcolare l'incidenza di ogni associazione di elementi per ogni campione e quindi in ogni sito campionato. Per l'analisi fattoriale è stato utilizzato il programma G-RFAC (MIESCH, 1990).

Per la digitalizzazione delle carte riportanti il reticolo idrografico, la geologia, le mineralizzazioni e la distribuzione dei campioni è stato utilizzato il programma Autocad 13.

### 4. – ELABORAZIONE DEI DATI PER LA COMPILAZIONE DELLE CARTE GEOCHIMICHE

La stesura delle carte geochimiche per elemento, per associazioni di elementi (*factor scores* delle associazioni fattoriali), per gruppi di elementi geochimicamente compatibili e la stesura delle carte di rischio è stata eseguita usando il GIS Arc/View. L'area in esame è stata analizzata costruendo una griglia che definisce un numero di celle (*pixels*), in funzione della densità di campionatura. Nel nostro caso è stata utilizzata una griglia in cui la singola cella copre un'area di 500 m × 500 m, con un'incidenza fino a 2 km. L'interpolazione dei dati spaziali, per il computo delle concentrazioni nelle singole celle, è stata eseguita utilizzando il metodo dell'inverso della distanza al quadrato (*inverse weighted method*). Le concentrazioni ottenute con il suddetto metodo, per ogni singola cella, sono classificate sottoforma di percentili. Dalle griglie sono state sempre escluse le aree non campionate.

I colori che illustrano le carte di questa monografia sono diversificati in modo da riflettere gli intervalli di concentrazione scelti in corrispondenza dei percentili 5, 10, 15, 25, 50, 75, 90, 95, 99 %. Per gli elementi caratterizzati da un'elevata percentuale di dati al di sotto del limite di rilevabilità strumentale (ad es. Au, Th, W, Sn) è stato utilizzato un numero più basso di percentili da rappresentare.

TAB. 2 - *Parametri statistici dei campioni di sedimenti fluviali della Sardegna.*

Statistical parameters of the Sardinia stream sediment samples.

Elementi	Numero Campioni	Media Aritmetrica	Mediana	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Media Geometrica
Al %	7.337	7,67	7,78	1,69	0,53	15,16	7,28
Ca %	7.337	1,72	1,16	2,19	0,01	36,02	0,98
Fe %	7.337	4,17	3,75	2,30	0,01	29,10	3,57
K %	7.337	2,55	2,57	0,92	0,02	18,26	2,21
Mg %	7.337	0,88	0,80	0,59	0,01	9,17	0,67
Na %	7.337	1,39	1,39	0,60	0,01	10,00	1,23
P %	7.336	0,07	0,06	0,05	0,01	0,87	0,05
Si %	6.722	27,09	27,10	5,82	2,11	40,15	25,8
Ti %	7.337	0,56	0,48	0,59	0,01	36,14	0,39
Ag ppm	25.069	0,4	0,3	2,2	0,4	325	0,2
As ppm	4.810	9	6	20,5	0,5	898	6
Au ppb	4.196	6	0,3	23,3	2	650	1
B ppm	1.574	4	2	5,7	1	60	2
Ba ppm	7.448	733	560	2.062	50	31.464	558
Br ppm	4.196	31	24	24,3	0,7	310	23
Cd ppm	3.746	2	1	3,7	0,5	95	1
Ce ppm	7.377	66	60	42,6	3	939	54
Co ppm	24.447	19	17	12,4	1	245	15
Cr ppm	21.306	83	75	84,8	5	3.300	60
Cs ppm	4.196	5	4	4,3	1	65	4
Cu ppm	25.868	35	28	45,9	1	2.480	25
Bu ppm	4.196	1,6	1,5	0,7	0,2	14	1,5
F ppm	20.227	617	600	1.342	3,5	21.464	346
Ga ppm	3.141	20	18	10,1	2,5	74	17
Hf pm	4.196	8	7	5,0	1	79	7
In ppm	3.141	2	1	3,2	1	66	1
La ppm	7.337	33	29	23,4	0,5	492	26
Lu ppm	4.196	0,5	0,5	0,2	0,05	4	0,4
Mn ppm	25.061	1.163	1.040	738	1	14.850	923
Mo ppm	24.707	4	2,5	12,4	1	1.560	2
Nb ppm	4.196	20	13	18,4	5	228	12
Nd ppm	4.196	31	26	16,8	5	348	27
Ni ppm	24.447	32	26	39,1	1	1.829	17
Pb ppm	25.946	73	42	231	2	10.362	40
Rb ppm	4.196	88	85	41,8	15	520	76
S ppm	3.581	484	360	804	4	15715	165
Sb ppm	25.070	8	5	117	0,1	17.000	2
Sc ppm	4.196	14	13	6,0	1,1	52	13
Sm ppm	4.196	6	5	2,7	0,4	51	6
Sn ppm	7.641	7	5	9,0	5	260	4
Sr ppm	7.338	212	162	176	1	2.771	140
Ta ppm	4.196	1	0,9	1,7	0,5	36	0,5
Th ppm	4.196	0,6	0,7	0,5	0,5	7	0,4
Th ppm	7.355	10	8	8,0	0,6	165	8
U ppm	4.196	2,9	2,5	2,3	0,5	93	2,4
V ppm	4.327	138	115	97	2	1.025	98
W ppm	7.641	4	3	8,3	1	260	2
Y ppm	4.196	25	24	14,1	2	432	21
Yb ppm	4.196	3,1	2,9	1,5	0,2	35	2,9
Zn ppm	25.879	176	118	306	1	9.120	112
Zr ppm	4.702	287	267	224	5	4.488	199

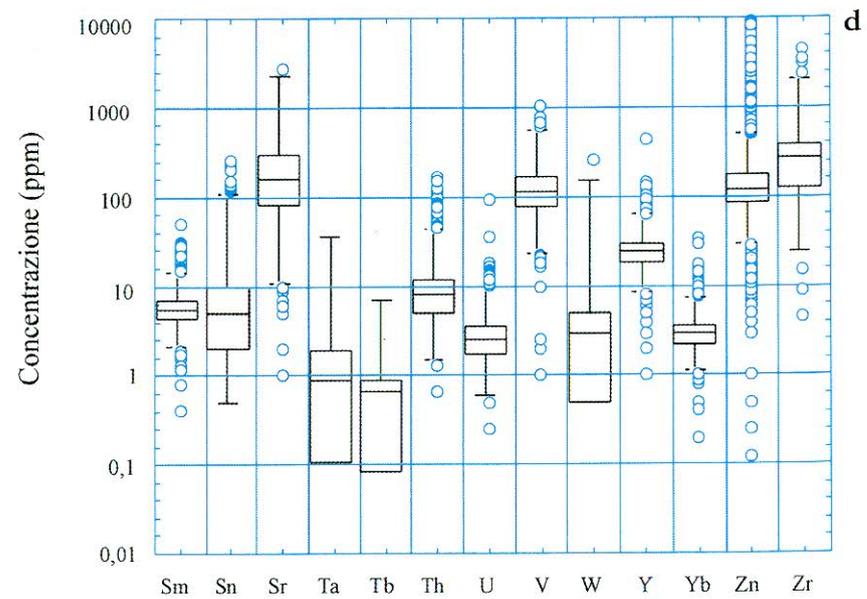
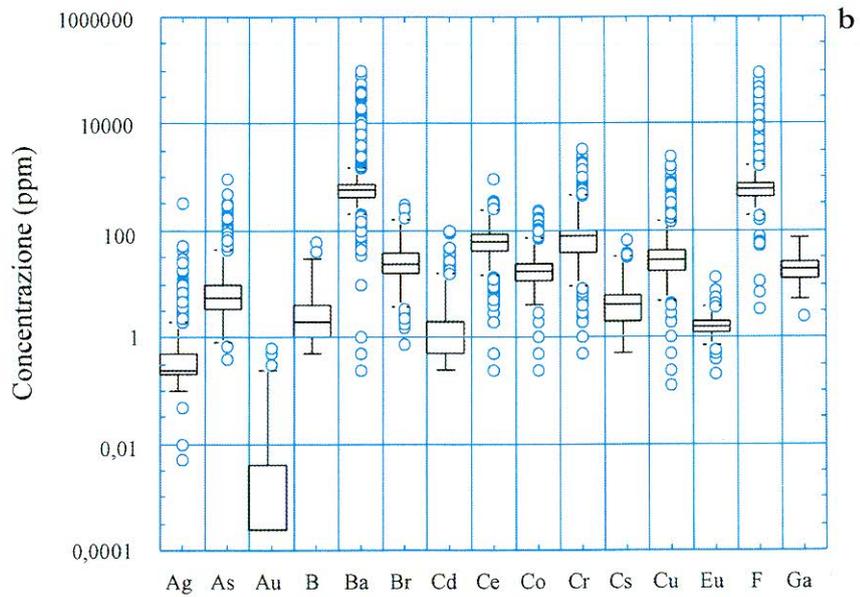
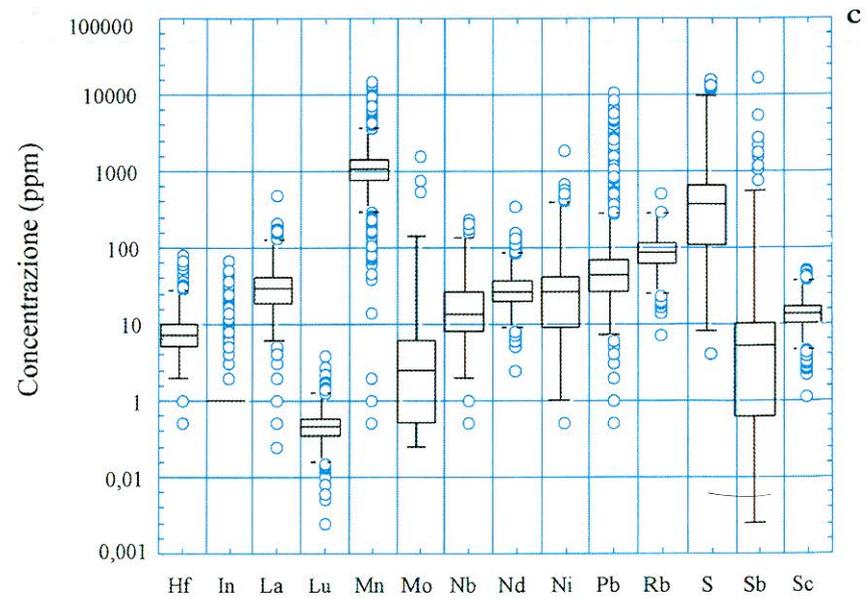
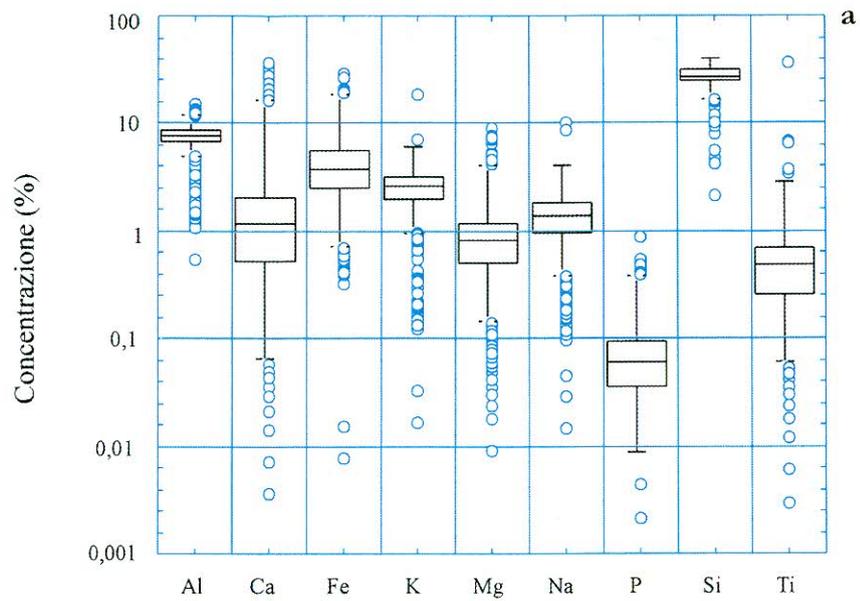


Fig. 2 - Box plots dei parametri statistici degli elementi relativi alle determinazioni analitiche dei campioni di sedimenti fluviali della Sardegna. - a) Elementi maggiori; b, c, d) Elementi minori e in traccia.  
 Box plots of the element statistical parameters from the Sardinia stream sediment samples. - a) Major elements; b, c, d) Minor and trace elements.

TAB 3 - *Criteri di intervento per elementi metallici per l'uso agricolo, residenziale/ricreativo e industriale/commerciale del Canada (VISSER, 1996).*

Intervention criteria for agriculture, residential/recreational and industrial/commercial land use in Canada (from VISSER, 1996).

Elementi	Qualità dei terreni (ppm)	Nessun intervento (ppm)	Criteri di Intervento (ppm)		
			Agricolo	Residenziale Ricreativo	Comm.le Industriale
Ag	2	2 - 20	20	20	40
As	5	5 - 20	20	30	50
Ba	200	200 - 500	750	500	2.000
Cd	0,5	0,5 - 3	3	5	20
Co	10	10 - 40	40	50	300
Cr	20	20 - 250	750	250	800
Cu	30	30 - 100	150	100	500
Mo	2	2 - 5	5	10	40
Ni	20	20 - 100	150	100	500
Pb	25	25 - 375	375	500	1.000
Sb	20	—	20	20	40
Sn	10	< 5	5	50	300
V	25	25 - 200	200	200	—
Zn	50	50 - 500	600	500	1.500

Le carte geochimiche riportanti tre elementi (combinazione di tre *grid*) raggruppati per compatibilità chimica (es. Pb, Zn e Ag), sono state compilate unendo tre differenti *files raster*, corrispondenti ognuno ad un determinato elemento chimico. I *pixels* di ogni *grid* vengono classificati con colori differenti; la combinazione dei tre *grid* sovrapposti dà origine ad una gamma di colori di intensità variabile, in funzione delle concentrazioni dei tre elementi che partecipano contemporaneamente alla definizione del singolo *pixel*. La condizione di massima significatività dei tre elementi, considerati contemporaneamente è rappresentata graficamente dal colore bianco.

Le carte delle soglie geochimiche sono state compilate con una griglia, variabile da elemento ad elemento, in cui la singola cella bloccata copre un'area di 1000 m × 1000 m. In pratica, per la compilazione di queste carte il valore attribuito alla singola cella coincide con quello del singolo sito campionato; se all'interno di una cella sono presenti più siti campionati, il valore attribuito alla cella è quello corrispondente al valore più elevato fra i siti campionati. In pratica per la compilazione delle carte di rischio è stata effettuata un'operazione inversa rispetto a quella eseguita per la compilazione delle carte geochimiche regionali per singolo elemento, dando

molto più peso al contributo locale rispetto al contributo regionale nella definizione della distribuzione delle concentrazioni dei singoli elementi chimici.

Le carte delle soglie geochimiche sono state riclassificate considerando come concentrazioni limite i criteri di intervento stabiliti dal Canada per metalli pesanti per l'uso agricolo, residenziale/ricreativo e commerciale/industriale del territorio (VISSER, 1996) (Tabella 3). Nella Tabella 4 vengono riportate le superfici delle aree di intervento per l'uso agricolo, residenziale/ricreativo e commerciale/industriale del territorio individuate sulla base delle concentrazioni limite della tabella 3.

## 5. - GEOLOGIA

Come è noto, la geologia della Sardegna è largamente dominata dai terreni di età Paleozoica, sia sedimentari che ignei e metamorfici, in percentuale senz'altro superiore a quella di altre aree della penisola italiana. Seguono come abbondanza le vulcaniti Terziarie e Quaternarie e le successioni sedimentarie, prevalentemente continentali, delle stesse età. I sedimenti di età Mesozoica sono assolutamente subordinati (Tavola 2).

Qui di seguito verrà brevemente delineata la distribuzione dei diversi tipi litologici presenti nell'iso-

TAB 4 - *Superfici delle aree di intervento per l'uso agricolo, residenziale ricreativo e industriale-commerciale del territorio sardo.*

Intervention areas for agriculture, residential-recreational and industrial/commercial Sardinia land use.

Elementi	Qualità dei terreni km <sup>2</sup>	Nessun intervento km <sup>2</sup>	Agricolo km <sup>2</sup>	Residenziale Ricreativo km <sup>2</sup>	Comm.le Industriale km <sup>2</sup>
Ag	7662	—	68	—	1
As	843	943	97	71	49
Ba	19	829	1138	644	78
Cd	431	560	34	58	1
Co	1605	5570	242	277	—
Cr	630	6320	331	8	27
Cu	3984	3432	169	135	23
Mo	3839	1702	1819	329	7
Ni	3297	3917	234	243	3
Pb	1590	5949	48	82	87
Sb	7514	165	—	—	53
Sn	—	—	2715	36	—
V	—	—	59	—	452
Zn	488	6801	83	277	89

la, rimandando per maggiori informazioni ad una descrizione geologica più dettagliata che è stata presentata nell'atlante geochimico, già pubblicato dal Servizio Geologico d'Italia (DE VIVO *et alii*, a, 1998).

#### 5.1. – SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE (IGLESIENTE-SULCIS-ARBURESE)

In queste aree, tradizionalmente le più importanti d'Italia dal punto di vista minerario, prevalgono i terreni «autoctoni» di età Cambro-Ordoviciano in facies anchimetamorfica, ascritti alle cosiddette «Zone Esterne» dell'orogene Ercinico, a cui si sovrappongono tettonicamente nelle zone più orientali lembi di successioni silicoclastiche con vulcaniti Ordoviciane («Arenarie di San Vito», «post-Gotlandiano» AUCT. etc.) (CARMIGNANI *et alii*, 1994a, b), che verranno meglio descritti nel paragrafo dedicato alla Sardegna sud-orientale.

I terreni «autoctoni» sono costituiti inizialmente da successioni terrigene e terrigeno-carbonatiche di età Cambriana, depositatesi in ambiente variabile da rampa a *shelf* epicontinentale (Gruppo di Nebida), che evolvono a dolomie e calcari ascrivibili ad ambienti di piattaforma (Gruppo di Gonnese) (BECHSTÄDT & BONI, 1994). Entrambi questi due tipi litologici sono spesso estremamente modificati da processi di dolomitizzazione idrotermale pervasiva di età ercinica (BONI *et alii*, 1992), che ne hanno variato la composizione originaria, aumentandone il contenuto in metalli pesanti. Nel successivo Gruppo di Iglesias (Cambriano medio-superiore - Ordoviciano inferiore) prevalgono i sedimenti silicoclastici di ambiente profondo. L'Ordoviciano medio-superiore autoctono, in discordanza angolare sul Cambriano, è costituito inizialmente da spesse successioni conglomeratiche ed arenacee continentali («Puddinga» AUCT.), a cui seguono sedimenti marini, anch'essi di natura silicoclastica, di età Ordoviciano-Siluriana (BECHSTÄDT & BONI, 1994).

Nell'Arburese e nel Sulcis affiorano i graniti Ercinici con le loro aureole metamorfiche (Carbonifero medio-superiore). Essi sono di natura essenzialmente calcoalcalina con un'evoluzione da tipi ad alto potassio a tipi peralluminosi.

Mentre i sedimenti Mesozoici affiorano in aree molto limitate, i sedimenti e le vulcaniti del Terziario sono abbastanza diffusi nella Sardegna sud-occidentale. Sono infatti ben noti i sedimenti Eocenici calcareo-marnosi del bacino del Sulcis, sede dei giacimenti di carbone, e le successioni Oligo-Mioceniche, da continentali a marine, di riempimento delle fosse tettoniche. I depositi vulcanici, a carattere

calco-alcalino (da andesiti a rioliti), sono diffusi nella fossa del Cixerri, in quella di Giba e nelle due isole di San Pietro e Sant'Antioco.

#### 5.2. – SARDEGNA SUD-ORIENTALE E CENTRALE (SARRABUS-GERREI, GOCEANO, SARCIDANO, QUIRRA, BARBAGIA E GENNARGENTU)

È la classica zona delle «Falde esterne» e «Falde interne» con vergenza SW, messe in posto durante l'orogenesi Ercinica. Tale zona comprende gran parte della Sardegna orientale e centrale, con gli affioramenti Paleozoici localizzati a sud della linea tettonica Posada-Asinara (CARMIGNANI *et alii*, 1994a, b). I terreni dei due sistemi di falde hanno un metamorfismo crescente da sud a nord, passando dalla facies degli scisti verdi a quella delle anfiboliti. Le successioni affioranti sono costituite inizialmente (Cambriano superiore-Ordoviciano) da terreni prevalentemente silicoclastici di ambiente profondo in cui prevalgono le torbiditi, a cui seguono nel Siluriano depositi di ambiente più tranquillo e ridotto. Tali successioni sono state raggruppate nel Sarrabus-Gerrei nelle Formazioni di San Vito e di Solanas, che sostituiscono in gran parte il cosiddetto «post-Gotlandiano» AUCT. In esse sono intercalati potenti livelli di «Porfiroidi» Ordoviciani a carattere sub-alcalino (MEMMI *et alii*, 1982), che sono stati interpretati come prodotto di un arco magmatico Caledonico. Le successioni filladiche e anfibolitiche della zona delle «Falde» evolvono poi a terreni scistosi e calcarei Siluro-Devoniani, in cui sono intercalate delle metavulcaniti basiche. In diverse località della Sardegna sud-orientale, come già nel Sulcis, sono stati rinvenuti depositi flyschoidi di tipo Culm, da ascrivere al Carbonifero inferiore (BARCA, 1992).

Nella zona più meridionale del Sarrabus, lungo parte della fascia costiera e nella Barbagia sono presenti estesi affioramenti di graniti Ercinici, attraversati da frequenti filoni aplitici e porfirici.

I depositi Mesozoici, prevalentemente carbonatici, sono abbastanza diffusi sia sotto forma dei cosiddetti «Tacchi» (isolati lembi di successione con andamento orizzontale poggianti in discordanza angolare sul basamento paleozoico), che lungo tutta la fascia del golfo di Orosei. Sedimenti e vulcaniti Terziarie (comprendenti sia i tipi andesitici che riolitici) affiorano sulla fascia occidentale dell'area considerata, in prossimità della linea tettonica che delimita il graben del Campidano. Nella zona settentrionale del golfo di Orosei sono presenti anche degli espandimenti basaltici alcalini e transizionali del Plio-Pleistocene.

### 5.3 – SARDEGNA NORD-OCCIDENTALE (ORISTANESE, PLANARGIA, SASSARESE E NURRA)

Nella zona più settentrionale della Nurra affiorano sia le successioni silico-clastiche del Paleozoico inferiore in facies anfibolitica ascritte alle «Falde Interne» (area dell'Argentiera), che i termini metamorfici di alto grado a micascisti e paragneiss di Stintino e dell'Asinara. Tali litotipi, insieme ai depositi carbonatici del Mesozoico della Nurra, rappresentano comunque solo una piccola parte degli affioramenti in questa parte dell'isola, in cui sono preponderanti le vulcaniti Terziarie e Quaternarie (CARMIGNANI et al., 1989).

I depositi vulcanici del Terziario appartengono in gran parte al complesso calcareo Oligo-Miocenico, in cui prevalgono le formazioni ignimbritiche da riolitiche a riocacitiche del Miocene affioranti a sud-est di Alghero ed a sud di Castelsardo. I termini andesitici, affioranti ad esempio nell'area di Osilo, sono decisamente subordinati.

Un ampio affioramento di basalti Plio-Quaternari, da alcalini a transizionali, è localizzato nel Montiferru e nella Campeda: in molte di queste aree sono evidenti le tracce di centri di emissione vulcanica Pleistocenica. Nel Montiferru sono comunque presenti anche aree limitate di rocce vulcaniche calcaline. Zone estese di affioramenti di sedimenti Miocenici, da continentali a marini, sono presenti nel Sassarese.

### 5.4. – SARDEGNA NORD-ORIENTALE (BARONIE E GALLURA)

In queste aree sono prevalenti le formazioni granitiche Erciniche (Carbonifero superiore-Permiano), in cui sono presenti quasi tutti i termini riscontrati in Sardegna, dai leucograniti alle monzograniti, alle granodioriti ed alle tonaliti.

Subordinatamente si riscontrano, soprattutto nella zona a nord della linea di *shear* tettonico Posada-Asinara (Budoni, ad ovest di Siniscola, a nord di Olbia), affioramenti delle formazioni metamorfiche di alto grado (HGMC), comprendenti micascisti, ortogneiss, paragneiss e migmatiti.

Depositi di carbonati Mesozoici di minore entità sono presenti lungo la fascia costiera orientale e nella zona del Monte Albo (Siniscola).

## 6. – MINERALIZZAZIONI

La Sardegna, ed essenzialmente il suo basamento Paleozoico, è la Regione più ricca di mineralizzazioni metallifere e/o minerali industriali di tutto il territorio italiano (COCOZZA et alii, 1974).

I corpi minerari economicamente più importanti sono *stratabound*, associati ai litotipi del Paleozoico Inferiore, sia delle «Zone Esterne», che, anche se in maniera subordinata, delle «Falde Esterne» e delle «Falde Interne». Altre mineralizzazioni d'importanza economica sono quelle legate alle intrusioni dei graniti Ercinici, con prevalenza delle fasi a leucograniti. Altri corpi minerari filoniani di origine idrotermale che interessano il basamento, non apparentemente connessi a fenomeni intrusivi, sono estremamente diffusi in tutta l'isola ed hanno alimentato nel tempo attività minerarie di entità variabile.

I tipi mineralizzati più importanti conosciuti in Sardegna sono i seguenti (Tav. 2 e Tab. 5).

### 6.1. – SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE (IGLESIENTE-SULCIS-ARBURESE)

In quest'area le mineralizzazioni stratiformi e *stratabound* nei carbonati Cambriani, alcune delle quali ancora oggetto di coltivazione, rivestono la maggior importanza economica in assoluto (9-12-13-14-17 in Tav. 2). Si tratta di corpi a blenda-galena > barite con associata pirite, i cui tonnellaggi complessivi, dall'inizio della coltivazione con metodi industriali ad oggi, vengono calcolati in almeno 150 milioni di tonnellate. Le blende sono abbastanza ricche in cadmio, mentre alcune generazioni di pirite contengono arsenico. Geneticamente tali mineralizzazioni possono essere classificate in parte come Sedex (nella parte stratigraficamente più bassa dei carbonati Cambriani) ed in parte come *Mississippi Valley Type* (nella parte alta) (BONI et alii, 1996).

D'importanza minore, benchè non trascurabile, sono in quest'area altri tipi di mineralizzazioni *stratabound*, costituiti in prevalenza da barite > galena e situate al contatto trasgressivo tra i carbonati Cambriani ed i litotipi dell'Ordoviciano medio-superiore (7 in Tav. 2), in un'ampia zona di silicizzazione idrotermale (la cosiddetta «Quarzite») (BONI et alii, 1996).

Altri corpi di notevole importanza economica nella Sardegna sud-occidentale sono quelli legati alle intrusioni dei graniti Ercinici. Si tratta di mineralizzazioni in parte di elementi di nuova segregazione, come Ni-Co, Sn, Mo-W, Sb-As, U-Th (11-26 in Tav. 2), rispetto a quelli già noti nel basamento Paleozoico, ed altri, quali Zn, Pb-Ag, Cu e Ba (5 in Tav. 2), in gran parte ereditati dallo *stock* metallico delle mineralizzazioni preesistenti (GARBARINO et alii, 1989). Il primo tipo di mineralizzazioni ha di rado raggiunto valori economici, mentre il secondo ha costituito i giacimenti filoniani incredibilmente ricchi di Montevecchio-Ingurtosu nell'Arburese (3-6

TAB 5 - *Siti delle principali mineralizzazioni riportate in Tavola 2*  
Main ore sites, as reported in Tav. 2.

Sites Sito	Localities Località	Mineralizations Mineralizzazione	Sites Sito	Localities Località	Mineralizations Mineralizzazione	Sites Sito	Localities Località	Mineralizations Mineralizzazione
1	M. Funesu	Pb-Zn	29	Dolianuova	Pb-Zn-Cu	57	Bantine	Cu-Pb-Zn
2	Montevecchio	Pb-Zn-Cu	30	M. Liuru	F-Pb	58	Bono	Pb
3	Ingurtosu	Pb-Zn	31	M. Idda	F	59	Ploaghe	Mn
4	Punta Mannu	Ni-Co	32	M. Narba	As	60	M. Larenta	Cu
5	Case Atzeni	Cu-Pb-Zn	33	Muravera	Cu-As	61	M. Minerva	Mn
6	Monte Lisone	Pb-Zn-Ni-Co	34	R. Baracconi	Ni-Co	62	C. Marongiu	Pb-Cu
7	P. S.Vittoria	As	35	Bacu Scovas	Sb-W	63	M. Mannu	Pb-Cu-Zn
8	Santa Lucia	Pb-F	36	Villasalto	Sb	64	Calabona	Cu
9	Gutturu Pala	Pb-Zn	37	S. Andrea Frius	F	65	Uri	Mn
10	Arenas-Tiny	F	38	Silius	Pb-F	66	Tottubella	Mn
11	T. Leni	Mo-As	39	Baccu Locci	W-Au	67	C. Deroma	Pb-Zn-Ag
12	Buggerru	Zn	40	Tertenia	F	68	Argentiera	Pb-Zn
13	Nebida-Masua	Pb-Zn-Ag	41	F. Raminosa	Pb-Zn-Cu	69	Stintino	Pb-Zn-Cu
14	Monteponi	Pb-Zn-Ag	42	F. Raminosa	Pb-Zn-Cu	70	M. Doglia	Al
15	Campo Pisano	Pb-Zn	43	Lotzorai	Pb-F-Zn	71	Olmedo	Al
16	Portoscuso	Mn	44	Baunei	Pb-Zn-F	72	M. Nurra	Al
17	Barbusi	Pb-Zn	45	Galtelli	Ba	73	Osilo	Cu-Au
18	Rosas	Pb-Zn-Cu	46	Orune	Pb-Zn	74	Nulvi	Cu-Au
19	Is. S. Pietro	Mn	47	Bitti	Cu	75	Porto Liscia	Zn-Pb
20	Sa Marchesa	Pb-Zn-Cu	48	Lula	Pb	76	S. Giovanni	Pb-Zn
21	Is Caravius	F	49	M. Turoddu	Pb-As	77	-	Cu
22	Is. S. Antioco	Mn	50	R. Bacchisio	Pb-Zn	78	C. Monreale	F-Ba
23	M. Tamara	Pb-Zn-Cu	51	P. Sa Pruna	P	79	Furtei	Au
24	Teulada	Pb-Zn-Cu	52	M. Muros	Pb-F	80	Siliqua	Cu-Au
25	Teulada	Pb-Zn-Cu	53	S. Leonardo	Mo	81	M. Arcosu	U
26	San Giurgio	Mo	54	Monti Uri	Cu-Pb-Zn	82	Capoterra	U-th
27	Conca d'Oro	Cu	55	Ozieri	Cu	83	R. S. Mannu	Pb
28	Cala Piombo	Pb-Zn	56	Nughedu	Pb			

in Tav. 2), oltre a tutta una serie di manifestazioni di minore importanza ma altrettanto significative. Fra i corpi minerali costituiti da elementi di nuova segregazione ricordiamo le concentrazioni a Sn di Punta Santa Vittoria nel Fluminese, a Ni-Co situate ai margini del plutone granitico di Arbus (4 in Tav. 2), e quelle ad As-Sb dell'Ordoviciano-Siluriano delle falde «alloctone» dell'Arburese.

In prossimità dei graniti Ercinici e quindi connesse a fluidi prevalentemente di natura magmatica-idrotermale si rinvencono anche numerose mineralizzazioni a fluorite, con barite subordinata (Es. Su Zurfuru, Santa Lucia, Mont'Ega), che evidenziano anche aree con paragenesi di metamorfismo di contatto (8-10-21 in Tav. 2). Tali paragenesi si rinvencono anche in zone in cui i graniti hanno intruso mineralizzazioni stratiformi e/o *stratabound* preesistenti nelle rocce carbonatiche, creando dei veri e propri *skarn*, quali quelli rinvenuti a Su Zurfuru (zona «Misti»), ad Arenas-Tiny, a Sa Duchessa ed in molte aree del Sulcis (18-20-21-24-25 in Tav. 2). Sempre nel Sulcis, e soprattutto nelle sue aree più orientali, nelle facies di contatto tra i graniti intrusi e le silicoclastiti delle «Falde Esterne», sono noti piccoli corpi mineralizzati a U-Th (81-82 in Tav. 2) ed a Mo, oltre a depositi a feldspato e caolino idrotermale.

Mineralizzazioni di natura idrotermale, con più basse temperature (<200C°) e alte salinità (BONI *et alii*, 1992), sono infine presenti in molte zone dell'Iglesiente-Sulcis. Si tratta del riempimento di strutture filoniane e di cavità paleocarsiche, in cui le associazioni dei minerali sono costituite da galena argentifera e barite (13 e 14 in Tav. 2). L'età di questi corpi mineralizzati, detti «Ricchi Argento», è probabilmente compresa tra il Permiano ed il Mesozoico Inferiore.

Nell'Eocene è noto l'esteso giacimento lignitifero del bacino del Sulcis, oggetto di coltivazione a partire dagli anni '30 ed in cui sono stati effettuati negli ultimi anni vari lavori di esplorazione ed alcuni tracciamenti. Tale giacimento si estende per un'area abbastanza ampia dai bordi dei rilievi Paleozoici dell'Iglesiente fino alla costa occidentale della Sardegna, anche se è relativamente poco conosciuto in affioramento. Sempre nel Sulcis, ma connesse alle vulcaniti Mioceniche, da riolitiche a riodacitiche delle isole di San Pietro e Sant'Antioco (in cui sono presenti anche giacimenti di bentonite), sono note piccole mineralizzazioni a Mn (19-22 in Tav. 2), coltivate nella prima metà del secolo (COCOZZA *et alii*, 1974). Sempre legate all'idrotermalismo delle vulcaniti Terziarie, ma stavolta nelle andesiti Oligoceniche, sono ancora in fase di esplorazione alcune pic-

cole manifestazioni a minerali di Cu, del tipo *porphyry copper* (Siliqua, 80 in Tav. 2), che talvolta sembrano contenere piccole concentrazioni di Au epitermale. Indizi di Au epitermale sono noti anche nella zona di Sarroch.

#### 6.2. - SARDEGNA SUD-ORIENTALE E CENTRALE (SARRABUS-GERREI, GOCEANO, SARCIDANO, QUIRRA, BARBAGIA E GENNARGENTU)

In quest'area prevalgono le mineralizzazioni *stratabound* nei sedimenti Ordoviciani-Siluriani delle Falde Interne ed Esterne. Si tratta essenzialmente di mineralizzazioni vulcano-sedimentarie ad antimoniite (Ballao), scheelite ed arsenopirite nelle metarioliti («porfiroidi» AUCT.) dell'Ordoviciano medio (GARBARINO *et alii*, 1989) (32-33-35-36-39 in Tav. 2) e di corpi a solfuri di Cu-Pb(Ag)-Zn-Cu in rocce scisto-se alternate a vulcaniti al limite Ordoviciano-Siluriano nella zona di Laconi (es. Funtana Raminosa) (41-42 in Tav. 2). Queste ultime mineralizzazioni sono spesso interessate da metamorfismo di contatto Ercinico, che ne ha causato la modificazione delle paragenesi.

Anche Co and Ni sono talora arricchiti nelle vulcaniti Ordoviciane delle «Falde Interne» ed «Esterne», come ad esempio nell'area di Villaputzu (34 in Tav. 2), sulla costa orientale della Sardegna. È interessante notare, comunque, come tutti gli elementi citati, insieme a molti altri, quali ad esempio F, Ba, Mo e persino Cr, siano estremamente arricchiti nell'area della «Faglia di Villasalto» nel Sarrabus, un lineamento tettonico variamente interpretato, ma di notevole importanza per la circolazione dei fluidi mineralizzanti. Ba, F, Pb e Ag sono stati coltivati in condizioni economiche nel cosiddetto «Filone Argentifero» del Sarrabus (29-30-31-37-38-40-78 in Tav. 2), e nel campo filoniano di Silius, quest'ultimo più famoso per le concentrazioni di fluorite e barite.

Infine, connesse alle manifestazioni dell'alterazione idrotermale che ha interessato i corpi magmatici prevalentemente effusivi a carattere da andesitico a riodacitico dell'Oligocene-Miocene (in prevalenza caolinizzazione, piritizzazione e silicizzazione), sono state recentemente messe in luce ai bordi del graben del Campidano interessanti mineralizzazioni ad oro epitermale, con tenori anche abbastanza alti (>2 gr/tonn). I corpi mineralizzati di maggiore importanza sono stati rinvenuti essenzialmente nella zona di Serrenti-Furtei (Monastir) (79 in Tav. 2) e sono diffusi soprattutto come impregnazione di zone a «vuggy silica» e di livelli a

piroclastiti alterate; secondo gli studi più recenti essi appartenerebbero ad un «sistema epitermale di tipo acido-solfatico» (FIORI *et alii*, 1994; RUGGIERI *et alii*, 1997).

#### 6.3 – SARDEGNA NORD-OCCIDENTALE (ORISTANESE, PLANARGIA, SASSARESE E NURRA)

In quest'area le attività estrattive intorno alle mineralizzazioni metallifere, pur dovendo segnalare la presenza di alcuni giacimenti d'importanza storica, non sono mai state parte integrante del tessuto economico e sociale come è accaduto per varie centinaia di anni nell'Iglesiente o nel Sarrabus.

Nel Paleozoico metamorfico sono note le mineralizzazioni filoniane a Pb-Zn-Cu e quelle ferrifere della parte settentrionale della Nurra, di cui la più importante è quella dell'Argentiera (67-68 in Tav. 2). Alla fase di emersione del Cretacico medio nella Nurra è collegato l'unico evento d'importanza mineraria di questo periodo (COCOZZA *et alii*, 1974), che ha portato alla formazione di un deposito bauxitico abbastanza continuo (70-71-72 in Tav. 2), anche se con tenori non sempre economici.

È alle vulcaniti Terziarie che sono legate, comunque, la maggior parte delle mineralizzazioni note nella Sardegna nord-occidentale: Mn nelle rioliti e riolaciti (65-66 in Tav. 2), Cu nel *porphyry copper* di Calabona (64 in Tav. 2) (a sud di Alghero) (FREZZOTTI *et alii*, 1992) e Au nell'alterazione epitermale dei corpi vulcanici affioranti nella zona di Osilo (73-74 in Tav. 2). Indizi auriferi sono noti anche nella zona del Montiferru (RUGGIERI *et alii*, 1997).

#### 6.4. – SARDEGNA NORD-ORIENTALE (BARONIE E GALLURA)

Questa è la zona in cui sono presenti per la maggior parte metamorfiti di alto grado e rocce granitiche Erciniche delle quali è spesso ben individuabile l'origine migmatitica, ma anche corpi intrusivi ben delimitati. Le poche mineralizzazioni presenti sono limitate a corpi filoniani a Pb-Zn-Cu-F-Ba all'interno delle aree di contatto tra metamorfiti di alto grado e graniti (75-76 in Tav. 2), oltre ad alcune piccole concentrazioni di aspetto *stratabound*, anch'esse però interessate dal metamorfismo. Associazioni a Mo-W sono anche presenti ai bordi del granito nelle zone prospicienti il lago del Coghinis ed a nord di Alà dei Sardi (51-53 in Tav. 2).

## 7. – DISTRIBUZIONE GEOCHIMICA DEGLI ELEMENTI

I parametri statistici dei singoli elementi sono indicati nelle figure relative alla distribuzione delle concentrazioni e vengono sinteticamente rappresentati dai *box-plots* (Figura 2). Di seguito viene illustrata la distribuzione regionale delle concentrazioni per singolo elemento:

*Alluminio (Al)*. I più alti valori dell'alluminio (>9,2 % - percentile 90) sono localizzati nelle vulcaniti plio-quadernarie (da alcaline a subalcaline) a sud-ovest di Macomer e nella Sardegna sud-orientale, lungo una fascia ad andamento nord-ovest - sud-est (da Villasalto a Nurri) in corrispondenza di argilliti e filladi del basamento ercinico. Ulteriori arricchimenti si notano nelle vulcaniti terziarie a sud di Ittiri e nelle formazioni scistose del Paleozoico inferiore del Sulcis orientale (Tavola 3).

*Calcio (Ca)*. I valori alti del calcio (>4,2 % - percentile 90) ricadono in prevalenza in corrispondenza di terreni sia della copertura sedimentaria (sedimenti eocenico-miocenici, da marini a continentali) che delle vulcaniti calco-alcaline terziarie (area di Castelsardo, a sud di Laconi, a sud-est di Ittiri, fossa di Giba) (Tavola 4).

*Ferro (Fe)*. I valori più elevati del ferro (>6,8 % - percentile 90) ricadono in modo marcato in corrispondenza delle vulcaniti plio-quadernarie ad ovest di Macomer. Arricchimenti sono stati localizzati anche nei dintorni di Villasalto ed al contatto tra le vulcaniti calco-alcaline e la copertura sedimentaria ad ovest di Castelsardo (Tavola 5).

*Fosforo (P)*. Gli alti valori del fosforo (>0,13 % - percentile 90) mostrano una distribuzione simile a quella del ferro; tuttavia, una distribuzione uniforme di valori bassi (<0,03 % - percentile 15) si identifica in corrispondenza delle vulcaniti calco-alcaline (Eocene-Miocene) a sud di Castelsardo (Tavola 6).

*Magnesio (Mg)*. Gli alti valori del magnesio (>1,45 % - percentile 90) non mostrano una corrispondenza puntuale con particolari litologie, anche se è individuabile una preferenza in corrispondenza delle vulcaniti, sia quelle alcaline - subalcaline (Pliocene - Quaternario) a sud e ad ovest di Macomer, che le calco-alcaline Oligo-Mioceniche (Tavola 7).

*Manganese (Mn)*. Gli alti valori (>1747 ppm - percentile 90) del manganese ricadono in prevalenza nell'area occidentale della Sardegna, generalmente in corrispondenza delle vulcaniti alcaline - subalcaline (Pliocene - Quaternario) intorno a Macomer.

Viceversa i valori bassi (<697 ppm - percentile 15) ricadono nella Sardegna nord-orientale, in corrispondenza di litotipi metamorfici (filladi e metavulcaniti) del basamento ercinico. Zone di particolare arricchimento sono tuttavia ben visibili nelle aree interessate da alterazione idrotermale connessa alle mineralizzazioni *stratabound* e in fratture situate nel Paleozoico inferiore (Iglesiente, Guspinese, Sarrabus). Arricchimenti, anche se di natura puntuale, sono legati alle vulcaniti Oligo-Mioceniche, in cui il manganese è stato anche localmente coltivato (Tavola 8).

*Potassio (K)*. Il potassio mostra una prevalenza di alti valori (>3,4 % - percentile 90) in corrispondenza di litotipi intrusivi ercinici nella Sardegna orientale (fascia Urzulei - Lanusei). Nella Sardegna occidentale viene individuata una grossa fascia di valori bassi (<1,6 % - percentile 15) nelle vulcaniti alcaline - subalcaline (Pliocene - Quaternario), da Ittiri a sud-est di Macomer; a sud-ovest di Macomer, nei litotipi calcareali del Montiferru è ben definita altresì un'area con valori elevati (Tavola 9).

*Sodio (Na)*. Il sodio indica una prevalenza di alti valori (>2,0 % - percentile 90) in corrispondenza delle vulcaniti della Sardegna occidentale, mentre valori marcatamente bassi (<0,8 % - percentile 15) risultano nella Sardegna sud-orientale, ma anche immediatamente ad ovest e sud-ovest di Macomer. Arricchimenti sporadici sono stati rinvenuti nei dintorni di Olbia e ad ovest di Bitti (Tavola 10).

*Silicio (Si)*. Il silicio mostra un marcato controllo litologico; in particolare la distribuzione dei bassi valori (<22,4 % - percentile 15) individua molto distintamente le vulcaniti alcaline - subalcaline (Pliocene - Quaternario) della Sardegna occidentale. I valori più alti sono in corrispondenza di determinate aree delle magmatiti erciniche (Tavola 11).

*Titanio (Ti)*. Il titanio, come il silicio, mostra un elevato controllo litologico, anche se di segno opposto; infatti per il titanio è la distribuzione degli alti valori (>1,13 % - percentile 90) ad individuare distintamente gli affioramenti delle vulcaniti alcaline-subalcaline della Sardegna occidentale; i bassi valori (<0,20 % - percentile 15) ricadono nei corpi intrusivi acidi ercinici (fra Nuoro e Lanusei) (Tavola 12). La corrispondenza con la maggior parte dei valori del ferro è abbastanza evidente.

*Antimonio (Sb)*. L'antimonio (Tavola 13) mostra una distribuzione di alti valori (>12,5 ppm - percentile 90) soprattutto nell'area sud-orientale dell'isola (Sarrabus - Gerrei), in corrispondenza delle rocce metamorfiche di medio-alto grado del Cam-

briano superiore - Ordoviciano. È particolarmente arricchito nelle aree di Villasalto - Nurri e Lanusei - Tertenia, dove erano presenti importanti miniere di antimonio. I valori bassi (<0,7 ppm - percentile 15) individuano distintamente gli affioramenti delle vulcaniti alcaline - subalcaline basiche della Sardegna occidentale, nell'area compresa fra Oristano e Macomer.

*Argento (Ag)*. Gli alti valori dell'argento (>0,57 ppm - percentile 90) sono localizzati (Tavola 14) anch'essi essenzialmente nelle aree sud-orientali, dove affiorano silicoclastiti e porfiroidi delle Falde Esterne. In particolare, valori altamente anomali (>1,60 fino a 22 ppm) ricadono nell'intorno di Laconi (dove sono presenti i giacimenti skarnoidi di Funtana Raminosa) e a Villasalto (dove è presente, fra l'altro, la mineralizzazione del Filone Argentifero). Anomalie di argento si ritrovano anche a nord di Iglesias, dove sono presenti i noti giacimenti a piombo-zinco, alcuni dei quali sfruttati anche per argento. Bassi valori (<0,13 ppm - percentile 15) corrispondono soprattutto alle aree nord-occidentali, caratterizzate da vulcaniti calcoalcaline andesitico-riolitiche (Eocene-Miocene). Le vulcaniti alcaline-subalcaline (Pliocene-Quaternario) fra Macomer e Oristano sono caratterizzate uniformemente da valori compresi fra 0,19 e 0,21 ppm (percentili 25 e 50).

*Arsenico (As)*. I dati analitici dell'arsenico coprono essenzialmente solo parte della Sardegna nord-occidentale (4810 campioni). Alti valori (>16,7 ppm - percentile 90) sono stati riscontrati anche ad est-sud est di Castelsardo, a nord di Montresta, intorno a Laconi e ad est di Carbonia, per lo più in corrispondenza di vulcaniti calcaree andesitico-riolitiche (Eocene-Miocene). Bassi valori (<2,8 ppm - percentile 15) caratterizzano viceversa in modo netto le vulcaniti alcaline-subalcaline fra Macomer e Oristano (Tavola 15).

*Boro (B)*. Il boro è stato analizzato in un numero limitatissimo di aree per 1574 campioni; le aree con alti valori (>6 ppm - percentile 90) sono state individuate intorno a Tertenia, a nord-est di Teulada ad est e a nord di Nurri (Tavola 16).

*Bario (Ba)*. Il bario mostra una fascia di alti valori (>907 ppm - percentile 90) lungo l'allineamento Villasalto-Nurri, in corrispondenza della omonima zona di «faglia», con mineralizzazioni anche baritiche, e ad est-nord est di Carbonia, nel Sulcis, in corrispondenza di filladi, argilloscisti, dolomie e metacalcarei (Cambriano - Ordoviciano). Valori distintamente bassi (<400 ppm - percentile 15) sono

stati identificati a sud di Castelsardo, nelle zone di affioramento delle vulcaniti calcalcaline andesitico-riolitiche (Eocene - Miocene) (Tavola 17).

*Bromo (Br)*. I dati del bromo coprono essenzialmente solo la Sardegna occidentale. Tali valori mostrano un controllo essenzialmente litologico, con gli alti (>48,7 ppm - percentile 90) in corrispondenza delle vulcaniti della zona del Montiferru, a sud-ovest di Macomer (Tavola 18).

*Cadmio (Cd)*. Il cadmio è stato analizzato solo per 3746 campioni, in aree abbastanza puntiformi della Sardegna. Alti valori (>6,6 ppm - percentile 95) si registrano nel settore centro-orientale, sia nel complesso intrusivo che nelle metamorfite erciniche. Nell'intorno della «faglia» di Villasalto gli alti valori di cadmio riscontrati possono essere connessi alla presenza di mineralizzazioni blendose. Le vulcaniti (Eocene - Miocene) a sud-est di Castelsardo sono caratterizzate da omogenei bassi valori (<0,3 ppm - percentile 15) (Tavola 19).

*Cerio (Ce)*. Il cerio, analizzato solo per 7377 campioni, mostra un controllo essenzialmente litologico, essendo gli alti valori (>103,4 ppm - percentile 90) circoscritti in modo prevalente agli affioramenti delle vulcaniti alcalino-subalcaline a sud-ovest di Macomer; lo stesso può dirsi per gli alti valori riscontrati a sud-ovest di Nuoro. I bassi valori (<35,3 ppm - percentile 15) ricadono prevalentemente nella Sardegna centro-orientale, in corrispondenza dei complessi intrusivi e metamorfici ercinici (Tavola 20). Come al solito, anomalie anche di questo elemento si notano nell'intorno di Villasalto.

*Cesio (Cs)*. Il cesio, analizzato in 4196 campioni, mostra un comportamento del tutto opposto a quello del cerio, con bassi valori (<1,9 ppm - percentile 15) nelle vulcaniti basiche Plio-Quaternarie a sud e a sud-ovest di Macomer, ed alti valori (>12 ppm - percentile 95) a sud-est di Castelsardo in corrispondenza di vulcaniti calcalcaline (Eocene - Miocene) (Tavola 21).

*Cobalto (Co)* Il cobalto mostra un controllo marcatamente litologico per gli alti valori (>28 ppm - percentile 90 %), che cadono in modo omogeneo in corrispondenza delle vulcaniti alcalino-subalcaline Plio-Quaternarie a sud di Macomer. Altri alti valori si registrano in modo sparso in tutta la Sardegna sud-orientale, in corrispondenza delle aree mineralizzate nel complesso metamorfico delle Falde Esterne ed Interne. I valori bassi (<8,2 ppm - percentile 15) ricadono soprattutto intorno a Monti, a sud-ovest di Nuoro, intorno ad Alghero e a Urzulei, a sud est di Castelsardo, a est e a nord-est

di Teulada per lo più in corrispondenza di magmatiti acide appartenenti al Complesso Intrusivo Ercinico (Tavola 22).

*Cromo (Cr)*. Il cromo mostra (Tavola 23) una distribuzione di valori molto simile a quella del cobalto, con i valori più elevati (>219 ppm - percentile 95) nei basalti a sud e ad ovest di Macomer; rispetto al cobalto la distribuzione dei bassi valori (<26 ppm - percentile 15) ricade soprattutto nell'area fra Montresta, Alghero e Ittiri nelle vulcaniti calcalcaline andesitico-riolitiche (Eocene - Miocene), oltre che nelle aree fra Castelsardo, Sassari e Tempio Pausania, a sud ovest di Nuoro, intorno a Urzulei e limitatamente intorno a Monti.

*Europio (Eu)*. L'europio, analizzato in 4196 campioni, mostra i valori alti, come il cobalto e il cromo (>2,2 ppm - percentile 90) in corrispondenza dei basalti a sud e ad ovest di Macomer, mentre i bassi valori (<1,1 ppm - percentile 15) sono associati alle vulcaniti a sud e ad est di Castelsardo (Tavola 24).

*Fluoro (F)*. Il fluoro mostra (Tavola 25) una distribuzione di valori molto simile a quella del cobalto e dell'argento, anche se non vi sono dati per l'area a sud di Macomer. Questo è particolarmente vero per la distribuzione degli alti valori (>907 ppm - percentile 95) che ricadono essenzialmente nell'area ad ovest della faglia di Villasalto (in prossimità della miniera di Ba e F di Silius). Alti valori di fluoro si ritrovano anche in corrispondenza delle rocce carbonatiche dell'Iglesiente-Sulcis, da mettere in relazione probabilmente ai filoni idrotermali ricchi in galena e barite, ma con sporadico contenuto in fluorite. La distribuzione di bassi valori (<3,5 ppm - percentile 10) ricade essenzialmente in tutta l'area nord-occidentale, in corrispondenza delle vulcaniti andesitico-riolitiche fra Montresta, Alghero e Ittiri e fra Castelsardo, Sassari e Tempio Pausania.

*Gallio (Ga)*. Il gallio, per il limitato numero di campioni analizzati (3141), non permette di definire degli andamenti ben mercati a livello regionale. Si riscontrano valori puntuali alti (>34,7 ppm - percentile 95) e bassi (<10,8 ppm - percentile 15) intorno, rispettivamente, a Siniscola, Bitti e Lanusei e ad est di Teulada, a nord di Villasalto e fra Orgosolo e Nuoro (Tavola 26).

*Hafnio (Hf)*. L'hafnio, analizzato in 4196 campioni, mostra valori alti (>12,8 ppm - percentile 90) soprattutto lungo due zone di vulcaniti ad est ed a sud-ovest di Macomer, mentre i bassi valori (<5 ppm - percentile 15) ricadono soprattutto intorno e a sud di Castelsardo e ad est di Montresta (Tavola 27).

*Indio (In)*. L'indio, come il gallio, è stato analizzato per un numero molto limitato di campioni (3141). A livello regionale è riconoscibile un andamento di alti valori ( $>3$  ppm - percentile 95) lungo l'allineamento Villasalto - Nurri e in diverse altre aree di affioramento delle magmatiti erciniche. Altri alti valori si riscontrano intorno a Tertenia e ad est di Urzulei (Tavola 28).

*Itterbio (Yb)*. L'itterbio, analizzato in 4196 campioni, mostra una fascia di alti valori ( $>5,2$  ppm - percentile 95) a nord di Laconi e a sud-ovest di Tempio Pausania, in corrispondenza di intrusioni acide del Complesso Intrusivo Ercinico, mentre i bassi valori ( $<2$  ppm - percentile 10) sono distribuiti a sud di Macomer nelle vulcaniti alcalino - subalcaline (Pliocene - Quaternario) (Tavola 29). Gli alti valori intorno a Montresta ed a ovest di Nuoro si pongono anche in connessione con le vulcaniti calcocalcine terziarie.

*Ittrio (Y)*. L'ittrio (4196 campioni) mostra un andamento del tutto simile all'itterbio per ciò che riguarda la distribuzione degli alti valori ( $>41,6$  ppm - percentile 95); i bassi valori invece cadono soprattutto a sud-est di Montresta e a sud di Castelsardo nelle vulcaniti andesitico - riolitiche (Eocene - Miocene) (Tavola 30).

*Lantanio (La)*. Il lantanio (7377 campioni) indica una concentrazione di alti valori ( $>66,4$  ppm - percentile 95) nelle vulcaniti del Montiferru a sud-ovest di Macomer e nelle vulcaniti terziarie ad ovest-sud-ovest di Nuoro; i bassi valori cadono nelle aree orientali nel complesso metamorfico ercinico (aree Villasalto - Nurri, Lanusei, Orgosolo) (Tavola 31).

*Lutezio (Lu)*. Il lutezio (campioni 4196) mostra un andamento del tutto opposto a quello del lantanio con i valori più bassi ( $<0,32$  ppm - percentile 15) nelle vulcaniti alcalino-subalcaline a sud di Macomer (Tavola 32).

*Molibdeno (Mo)*. Il molibdeno mostra (Tavola 33) una distribuzione di valori del tutto simile a quella dell'antimonio. I valori anomali ( $>15,1$  ppm - percentile 95) ricadono nell'area sud-orientale in corrispondenza di rocce metamorfiche di medio grado del Cambriano-Ordoviciano (aree Villasalto - Nurri; Tertenia; a sud di Lanusei). Rispetto all'antimonio, il molibdeno mostra anche valori più marcati nella Sardegna nord-orientale (area a est e a sud di Siniscola e a sud di San Teodoro), dove sono presenti anche piccole concentrazioni minerarie contenenti molibdenite e ad est di Teulada nel Sulcis. In maniera ancora più evidente che nell'antimonio, i valori bassi ( $<0,67$  ppm - percentile 15)

cadono in corrispondenza delle vulcaniti della Sardegna centro-occidentale.

*Niobio (Nb)*. Il niobio (4196 campioni) mostra una marcata concentrazione di alti valori ( $>40,5$  ppm - percentile 90) nelle vulcaniti alcalino-subalcaline a sud-ovest di Macomer e una concentrazione di bassi valori ( $<6,3$  ppm - percentile 15) nelle vulcaniti andesitico-riolitiche a sud di Castelsardo (Tavola 34).

*Neodimio (Nd)*. Il neodimio (4196 campioni) mostra una distribuzione di valori del tutto simile a quella del niobio, con gli alti valori ( $>45,8$  ppm - percentile 90) a sud-ovest di Macomer e i bassi valori ( $<18,5$  ppm - percentile 15) a sud di Castelsardo (Tavola 35).

*Nichelio (Ni)*. Il nichelio mostra (Tavola 36) una distribuzione di valori molto simile a quella del cromo e del cobalto; in particolare, i più alti valori «litologici» ( $>77,4$  ppm - percentile 95) corrispondono alle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline affioranti a sud di Macomer. Rispetto al cromo e al cobalto, il nichelio mostra anche marcati alti valori a nord di Villasalto, nell'Arburese e a nord-est di Teulada nel Sulcis. I valori bassi ( $<5,6$  ppm - percentile 15) cadono soprattutto nell'area nord-occidentale fra Alghero, Montresta e Ittiri e nella fascia che si estende da Oristano, a nord-est, in direzione di Nuoro, sempre in corrispondenza di vulcaniti andesitico-riolitiche. Gli arricchimenti nel Guspinese, nel Teuladese e nel Sarrabus sono probabilmente legati alla dispersione intorno a piccole concentrazioni minerarie nel Paleozoico inferiore delle Falde, a cui sono associati i Porfroidi Ordoviciani (cfr. Tavola 2).

*Oro (Au)*. L'oro (4196 campioni) mostra valori alti ( $>28,3$  ppb - percentile 95) in aree che sono generalmente in corrispondenza delle vulcaniti andesitico-riolitiche (ad est di Castelsardo, a sud-est di Macomer in direzione di Laconi; a nord e a nord-est di Montresta; a sud-ovest di Tempio Pausania); alti valori isolati si riscontrano anche nella zona di Sarroch, ad est di Carbonia, associati a litologie analoghe, ed alla base del Montiferru. I valori bassi cadono invece per lo più a sud-ovest di Macomer in corrispondenza delle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline (Tavola 37).

*Piombo (Pb)*. Il piombo (Tavola 38) ha una distribuzione di valori simile, in alcune aree della Sardegna sud-orientale, a quella dell'argento, con valori alti ( $>98,6$  ppm - percentile 90) nell'area della «faglia» di Villasalto e ad est di Laconi. I più alti valori si riscontrano comunque nella Sardegna sud-occidentale in corrispondenza del ben noto distretto minerario piombo-zincifero dell'Iglesiente - Sul-

cis-Arburese. Qui l'inquinamento provocato dalle attività minerarie è estremamente diffuso, anche in aree apparentemente non sospette e molto distanti dai centri estrattivi. I bassi valori (<19,5 ppm - percentile 15) sono distribuiti soprattutto nelle aree centro-occidentali e settentrionali, nelle aree di affioramento delle vulcaniti Terziarie.

*Rame (Cu)*. Il rame mostra (Tavola 39) una distribuzione di valori molto simile a quella di cobalto e nichelio, con alti valori (>63,7 ppm - percentile 95) nell'area sud-orientale (Villasalto - Nurri); altri alti valori si registrano nell'area nord-occidentale, in particolare a sud di Alghero, dove si trova la miniera di rame del tipo *porphyry copper* di Calabona, ad est di Sassari e vicino a Laconi in corrispondenza della miniera di Funtana Raminosa. Notevoli anomalie si registrano comunque anche nel Sulcis, nell'Iglesiente e nella Sardegna centro-orientale. Gli alti valori della zona sud-occidentale dell'isola sono in relazione a mineralizzazioni associate alle metamorfiti di contatto tra litologie paleozoiche e graniti ercinici. I bassi valori (<13 ppm - percentile 15) si registrano soprattutto nella Sardegna centro-settentrionale (a est di Nuoro, a nord di Orgosolo, a sud di Siniscola, nell'area di Monti).

*Rubidio (Rb)*. Il rubidio (4196 campioni) mostra un comportamento del tutto simile a quello dell'itterbio, con i valori alti (>144,3 ppm - percentile 95) in una fascia a nord-ovest di Laconi e ad ovest di Tempio Pausania, dove sono presenti per lo più, le intrusioni acide del Complesso Intrusivo Ercinico. I bassi valori (<49,3 ppm - percentile 15) sono distribuiti in modo prevalente a sud di Macomer nelle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline (Pliocene-Quaternario) (Tavola 40).

*Samarium (Sm)*. Il samario (4196 campioni) mostra alti valori (>9,8 ppm - percentile 95) in corrispondenza sia di una zona particolare nell'ambito delle vulcaniti calcocalcine del Montiferru (a sud-ovest di Macomer), che delle intrusioni acide erciniche a sud-ovest di Nuoro; i valori bassi (<3,7 ppm - percentile 10) cadono ad ovest di Laconi, a sud-est di Ittiri e a sud di Castelsardo, per lo più in corrispondenza delle vulcaniti andesitico-riolitiche (Tavola 41).

*Scandio (Sc)*. Lo scandio mostra un andamento del tutto opposto a quello del samario, con gli alti valori (>23,9 ppm - percentile 95) intorno a Montresta e a sud di Castelsardo nelle vulcaniti andesitico-riolitiche e i bassi valori (<8,7 ppm - percentile 15) a sud-ovest di Macomer, ad est di Oristano, a sud-ovest di Laconi e ad ovest di Tempio Pausania, per lo più, nelle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline (Tavola 42).

*Stagno (Sn)*. Lo stagno (7641 campioni) mostra un buon controllo litologico, con gli alti valori (>16,5 ppm - percentile 95) in corrispondenza sia delle vulcaniti alcalino-subalcaline (ad est di Oristano e a sud-est di Macomer), che dei corpi intrusivi acidi (sud-est di Olbia, nord di Tertenia, nord-est di Teulada). Arricchimenti puntuali sono legati sia alle formazioni Paleozoiche della zona delle Falde (in cui lo stagno potrebbe essere anche arricchito in *placers* detritici), che lungo zone di frattura a carattere locale e/o regionale. I valori bassi (<1,9 ppm - percentile 25) cadono distintamente solo in corrispondenza delle vulcaniti andesitico-riolitiche (area a sud di Castelsardo, area fra Alghero, Montresta e Ittiri, e area a sud-est di Carbonia) (Tavola 43).

*Stronzio (Sr)*. Lo stronzio (7338 campioni) mostra un andamento del tutto opposto a quello del rubidio, con tutti i valori >199 ppm (percentile 50) concentrati in corrispondenza delle vulcaniti terziarie della Sardegna centro-occidentale e settentrionale, sia di natura basica alcalino-subalcalina che andesitico-riolitica, mentre tutti i valori <199 ppm si riscontrano in corrispondenza delle rocce dei Complessi metamorfici e intrusivi ercinici della Sardegna orientale (Tavola 44). Non c'è una chiara corrispondenza Ba-Sr, dal momento che valori bassissimi di quest'ultimo elemento sono stati riscontrati all'intorno della «faglia» di Villasalto e nel Paleozoico del Sulcis, dove sono presenti alte anomalie a Ba, in gran parte collegate alle ben note mineralizzazioni baritiche.

*Tantalio (Ta)*. Il tantalio (4196 campioni) mostra una marcata e distinta concentrazione di alti valori (>2,47 ppm - percentile 90) nelle vulcaniti basiche alcaline-subalcaline a sud-ovest di Macomer e bassi valori (<0,20 ppm - percentile 15) nelle vulcaniti andesitico-riolitiche a sud-est di Ittiri e a sud di Castelsardo (Tavola 45).

*Terbio (Tb)*. Il terbio (4196 campioni) mostra gli alti valori (>1,26 ppm - percentile 95) in corrispondenza dei corpi intrusivi acidi ercinici sia nella zona a sud-ovest di Tempio Pausania che a sud-ovest di Nuoro. I bassi valori (<0,20 ppm - percentile 15) sono di preferenza distribuiti nelle vulcaniti andesitico-riolitiche a sud-est di Ittiri e a sud di Castelsardo (Tavola 46).

*Torio (Th)*. Il torio (7355 campioni) mostra i valori più alti (>22 ppm - percentile 95) in corrispondenza dei corpi intrusivi acidi ad ovest di Tempio Pausania, lungo la fascia estesa da sud-ovest a nord-est, a nord di Laconi, a nord-est di Teulada. Fra Nuoro e Macomer si hanno alti valori legati a zone di affioramento delle vulcaniti andesitico-rioli-

tiche, che però potrebbero essere legati anche qui a concentrazioni a carattere detritico di derivazione anch'esse dalle plutoniti erciniche. I valori bassi (< 5 ppm - percentile 15) cadono prevalentemente sia a sud di Macomer che nel complesso metamorfico ercinico della Sardegna orientale. Degno di rilievo è l'allineamento di valori bassi nella fascia che si estende da Villasalto a Nurri (Tavola 47).

*Uranio (U).* L'uranio (4196 campioni) mostra sostanzialmente lo stesso andamento del torio, con i valori alti (> 5,3 ppm - percentile 95) in corrispondenza dei corpi intrusivi acidi lungo le zone situate a nord di Laconi e ad ovest di Tempio Pausania, e con i valori bassi (< 1,6 ppm - percentile 15) in corrispondenza delle vulcaniti alcalino-subalcaline a sud di Macomer e delle vulcaniti andesitico-riolitiche (aree di Montresta, Ittiri e sud di Castelsardo) (Tavola 48). Per l'area a W-SW di Nuoro il discorso degli arricchimenti può essere analogo a quello del torio.

*Vanadio (V).* Il vanadio (4327 campioni) mostra gli alti valori (> 298,5 ppm - percentile 95) distribuiti essenzialmente nelle vulcaniti andesitico - riolitiche intorno a Montresta, a sud-est di Ittiri, a sud di Castelsardo e a sud di Carbonia (fossa di Giba); valori abbastanza alti si registrano anche nelle vulcaniti alcalino-subalcaline a sud di Macomer. Valori omogeneamente bassi (< 59,5 ppm - percentile 10) si riscontrano nell'area a sud-ovest di Tempio Pausania, in corrispondenza di corpi intrusivi acidi, metamorfiti erciniche e vulcaniti andesitico-riolitiche (Tavola 49).

*Wolframio (W).* Il wolframio (7641 campioni) mostra i valori più alti (> 7,5 ppm - percentile 90) in diverse aree della Sardegna orientale, dove affiorano metamorfiti e corpi intrusivi acidi ercinici (ad est di Teulada, a sud di Guspini, nell'area di Villasalto, a nord di Tertenia, nord di Urzulei, est di Bitti, intorno a Siniscola); viceversa le vulcaniti terziarie e quaternarie della Sardegna occidentale sono caratterizzate in modo uniforme da valori bassi (< 1,3 ppm - percentile 50) (Tavola 50).

*Zinco (Zn).* Lo zinco mostra una distribuzione di valori molto simile a quella del piombo con le percentuali più elevate (> 247 ppm - percentile 90) a sud-est di Villasalto, a est di Laconi e soprattutto in corrispondenza del distretto minerario piombo-zinifero dell'Iglesiente-Sulcis-Arburese. Anche per lo zinco i valori più bassi (< 70 ppm - percentile 15) sono distribuiti prevalentemente nelle aree settentrionali dell'isola, intorno a Nuoro e ad est e ovest di Oristano, generalmente in corrispondenza delle vulcaniti andesitico-riolitiche (Tavola 51).

*Zirconio (Zr).* Lo zirconio (4702 campioni) mostra valori alti (> 645 ppm - percentile 95) sparsi nella Sardegna centro-occidentale, in modo prevalente in corrispondenza delle magmatiti acide erciniche (nord di Laconi, ovest di Nuoro, ma anche nelle vulcaniti, sia alcalino-subalcaline che andesitico-riolitiche ad est di Oristano, sud-ovest di Macomer, fra Ittiri e Montresta, e a sud di Carbonia). I valori bassi (< 91,6 ppm - percentile 15) ricadono invece in modo molto omogeneo in corrispondenza delle vulcaniti andesitico-riolitiche della sola zona a sud di Castelsardo (Tavola 52).

*Zolfo (S).* Lo zolfo (3581 campioni) ha valori relativamente alti (> 1121 ppm - percentile 95) sparsi in tutte le aree campionate, sia nelle vulcaniti alcalino-subalcaline che nelle vulcaniti andesitico-riolitiche (fra Ittiri e Montresta, a sud di Macomer, fra Oristano e Laconi, a sud e ad est di Carbonia); i valori bassi (< 161 ppm - percentile 15) definiscono aree più uniformi a sud-ovest e a sud-est di Macomer e ad est ed ovest di Oristano (Tavola 53).

## 8. - DISTRIBUZIONE DEI *FACTOR SCORES* DELLE ASSOCIAZIONI FATTORIALI

L'analisi fattoriale è stata eseguita su due *files* di dati: 1) un *file* dati di 26.337 campioni contenente 11 variabili (Ag, Co, Cr, Cu, F, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Zn); 2) un *file* dati di 9.260 campioni contenente 22 variabili (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Ti, As, Ba, Cd, Ce, La, Nb, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y, Au). L'ubicazione dei 9.260 campioni contenenti le determinazioni analitiche per 40 elementi (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si, Ti, As, B, Ba, Br, Cd, Ce, Cs, Eu, Ga, Hf, In, La, Lu, Nb, Nd, Rb, S, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, U, V, W, Y, Yb, Zr, Au) è indicata nella Tavola 1. L'elaborazione statistica multivariata è stata effettuata su dati log-trasformati.

La tabella dei modelli fattoriali restituiti, tenendo conto dei litotipi e delle mineralizzazioni note nell'area in esame e dei processi fisico-chimici secondari dell'ambiente superficiale, fa ritenere, per il *file* 1, come rappresentativo il modello fattoriale 4 (Tabella 6), che è responsabile del 70.49 % della variabilità totale dei dati; per il *file* 2 è stato scelto come rappresentativo il modello 5 (Tabella 7), che è responsabile del 69.78 % della variabilità totale dei dati. Per la determinazione delle associazioni di elementi che fanno parte del modello fattoriale 4, si sono considerati come significativi i valori con  $loadings > |0.4|$ . Le associazioni risultanti dal modello 4 del *file* 1 sono: F1: Mn-Pb-Zn-Cu-Co; F2: Cr-Ni-

TAB. 6 - *Modelli fattoriali dell'analisi fattoriale del files di 26.337 campioni di sedimenti fluviali della Sardegna.*

Geochemical data factor models from 26,337 Sardinia stream sediment samples.

Elementi	Fattori			
	1 Mn-Pb-Zn-Cu-Co	2 Cr-Ni-F-Co	3 Sb-Mo	4 Ag
Ag ppm	0.070	0.135	0.048	<b>0.948</b>
Co ppm	<b>0.496</b>	<b>0.655</b>	0.016	-0.088
Cr ppm	0.224	<b>0.840</b>	0.088	0.109
Cu ppm	<b>0.747</b>	0.331	0.151	-0.036
F ppm	0.111	<b>0.706</b>	-0.104	0.294
Mn %	<b>0.792</b>	0.197	-0.110	0.032
Mo ppm	-0.019	0.288	<b>0.761</b>	0.074
Ni ppm	0.339	<b>0.709</b>	0.294	-0.063
Pb ppm	<b>0.768</b>	0.055	0.238	0.132
Sb ppm	0.216	-0.149	<b>0.778</b>	-0.005
Zn ppm	<b>0.754</b>	0.284	0.116	0.081
Varianza % (totale dati)	58.15	15,86	14,24	11,75

F-Co; F3: Sb-Mo; F4: Ag; le associazioni risultanti dal modello 5 del file 2 sono G1: Al-Ti-Mg-V-Sr-Y-K-P-Ca-Nb; G2: Sn-Nb-W-Y-K; G3: La-Th-Ce-U; G4: Fe-Cd-P-Ba-Ti; G5: As-W-Au-U.

Per la rappresentazione della distribuzione dei valori dei *factor scores* delle singole associazioni fattoriali è stato utilizzato il metodo di interpolazione del reciproco della distanza alla potenza (*inverse weighted method*). Le figure 3 e 4 mostrano i *box-plots* dei *factor scores* delle associazioni fattoriali prescelte per i files 1 e 2.

*Associazione F1 (Mn-Pb-Zn-Cu-Co).* L'associazione F1, responsabile del 58,15 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,79, 0,77, 0,75, 0,75 e 0,50, rispettivamente per Mn, Pb, Zn, Cu e Co. La distribuzione dei *factor scores* (Tavola 54) mostra che i più alti valori (>0,89 - percentile 95) cadono in corrispondenza delle rocce carbonatiche Cambriane del distretto minerario piombo-zincifero dell'Iglesiente-Sulcis. Altre aree di alti valori corrispondono alla Sardegna sud-orientale (soprattutto a sud di Villasal-

TAB 7 - *Modelli fattoriali dell'analisi fattoriale del file di 9.260 campioni di sedimenti fluviali della Sardegna.*  
Geochemical data factor models from 9,260 Sardinia stream sediment samples.

Elementi	Fattori				
	1 Al-Ti-Mg-V-Sr-Y-K-P-Ca-Nb	2 Sn-Nb-W-Y-K	3 La-Th-Ce-U	4 Fe-Cd-P-Ba-Ti	5 As-W-Au-U
Al %	<b>0.879</b>	0.186	0.007	0.102	0.033
Ca %	<b>0.599</b>	-0.454	0.172	-0.023	-0.178
Fe %	0.224	-0.405	0.054	<b>0.736</b>	-0.113
K %	<b>0.737</b>	<b>0.433</b>	0.034	-0.229	0.239
Mg %	<b>0.799</b>	-0.186	0.107	0.335	-0.008
Na %	0.016	0.062	0.280	-0.534	-0.386
P %	<b>0.601</b>	0.091	0.014	<b>0.559</b>	-0.115
Ti %	<b>0.801</b>	-0.097	0.154	<b>0.413</b>	-0.231
As ppm	-0.024	-0.130	-0.039	-0.030	<b>0.831</b>
Ba ppm	0.072	0.062	0.138	<b>0.512</b>	0.267
Cd ppm	0.008	0.365	0.037	<b>0.662</b>	-0.232
Ce ppm	0.093	-0.071	<b>0.815</b>	0.272	-0.195
La ppm	0.081	-0.066	<b>0.836</b>	0.236	-0.256
Nb ppm	<b>0.534</b>	<b>0.630</b>	-0.018	0.133	-0.101
Sn ppm	0.104	<b>0.753</b>	0.049	-0.027	0.111
Sr ppm	<b>0.779</b>	-0.107	0.160	-0.016	-0.335
Th ppm	-0.037	0.036	<b>0.831</b>	-0.254	0.048
U ppm	-0.086	0.327	<b>0.511</b>	-0.187	<b>0.468</b>
V ppm	<b>0.789</b>	0.136	-0.325	0.066	0.056
W ppm	-0.045	<b>0.481</b>	-0.216	0.064	<b>0.639</b>
Y ppm	<b>0.741</b>	<b>0.451</b>	0.050	-0.134	0.141
Au ppb	-0.051	0.319	-0.229	0.085	<b>0.511</b>
Varianza % (totale dati)	38.43	23.73	16.32	12.90	8.57

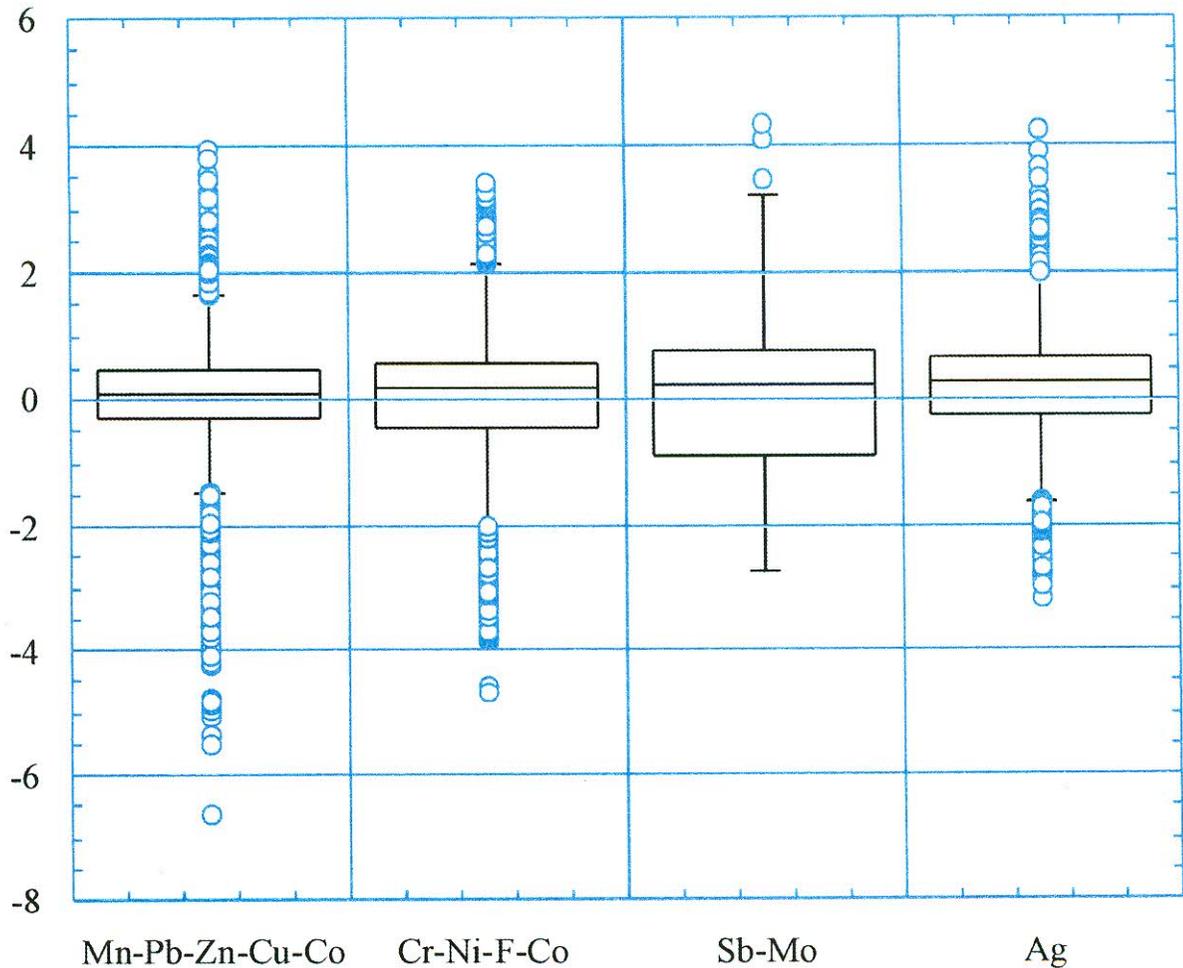


Fig. 3 - Box plots dei factor scores delle associazioni fattoriali del file di 26.337 campioni di sedimenti fluviali della Sardegna.  
 Box plots of the factor scores of the associations from 26,337 Sardinia stream sediment samples.

to e ad est di Laconi), dove sono presenti rocce di basso e medio grado metamorfico (Falde Esterne ed Interne) ed alla Sardegna settentrionale a est di Sassari, con concentrazioni minerarie a Pb-Zn-Cu di entità variabile. All'alterazione idrotermale che ha accompagnato le mineralizzazioni del Paleozoico è sempre associata un'anomalia manganesifera. I valori medio-alti riscontrati nelle vulcaniti andesitico-riolitiche sono anche particolarmente interessanti, essendo probabilmente condizionati anche da concentrazioni minerarie d'interesse locale a rame e/o a manganese. Aree interessate da bassi factor scores ( $< -0,94$  - percentile 10) sono state individuate nella Sardegna centrale (est e ovest di Oristano, est e ovest di Nuoro, intorno a Urzulei) e nord-orientale (nord e sud-est di Olbia, ovest di Bitti), in prevalenza in corrispondenza di corpi intrusivi acidi ercinici.

*Associazione F2 (Cr-Ni-F-Co):* L'associazione F2, responsabile del 15,86 % della variabilità totale dei dati presenta loadings di 0,84, 0,71, 0,71 e 0,65,

rispettivamente per Cr, Ni, F e Co. La distribuzione (Tavola 55) dei factor scores mostra un'area omogenea di alti valori ( $> 0,80$  - percentile 95) nell'area a sud di Macomer, in corrispondenza perfetta con gli affioramenti delle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline, indicando quindi che il fattore litologico esercita un controllo ben definito sull'associazione fattoriale. Altre aree di alti valori, sebbene molto meno marcate, si registrano intorno a Villasalto e nell'area compresa tra Bitti e Siniscola. Valori medio-alti sono presenti anche sulla fascia bordiera orientale dell'Iglesiente-Sulcis. In tutte queste ultime zone citate (Sarrabus-Gerrei, Bitti-Siniscola, Guspinese e Sulcis) l'associazione è controllata dalla litologia prevalentemente clastica delle «Falde Esterne» ed «Interne», a cui sono associate le piccole espressioni mineralizzate a Ni-Co ed i filoni a fluorite. Un controllo litologico in negativo su questa associazione assumono viceversa le vulcaniti andesitico-riolitiche fra Alghero, Montresta e Ittiri, nel Monti-

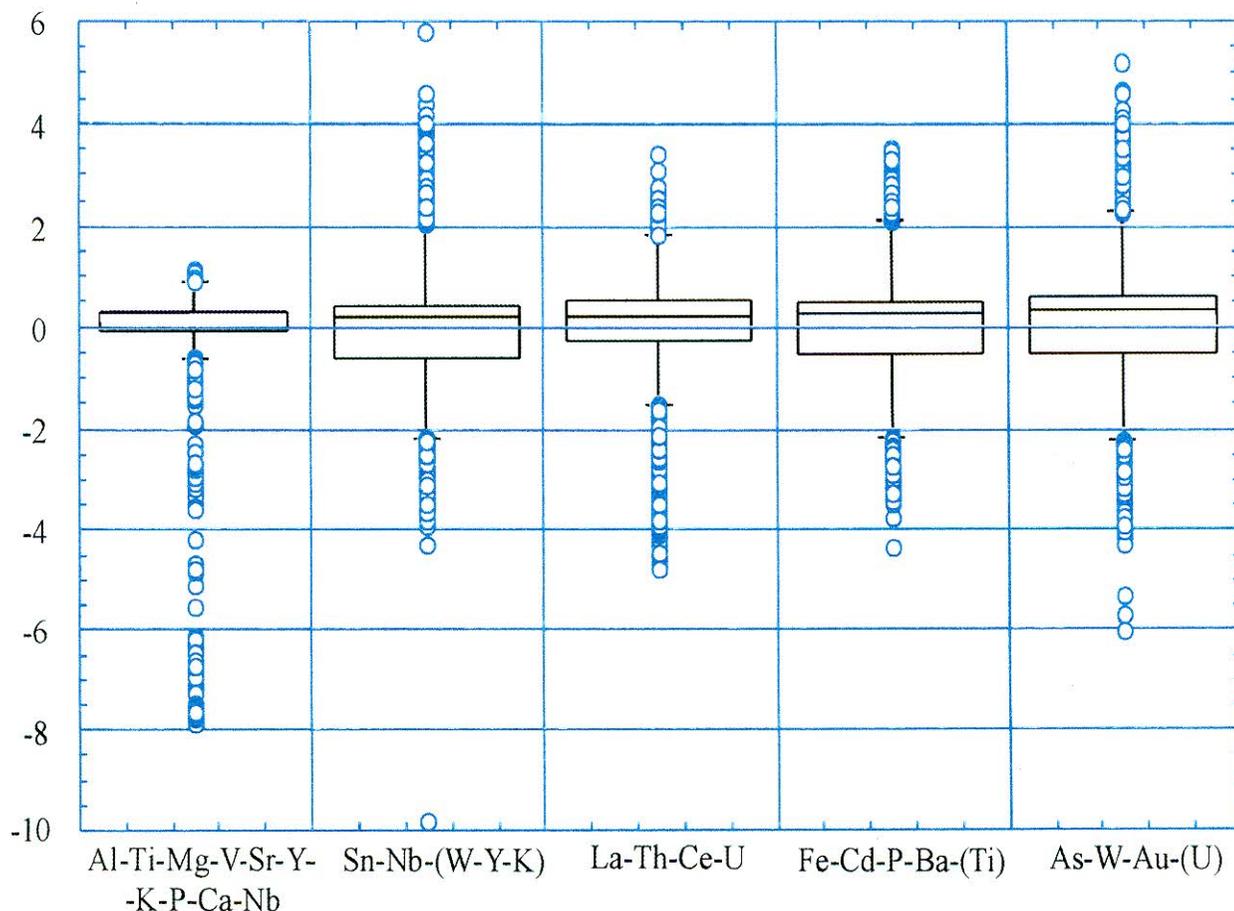


Fig. 4 - Box plots dei factor scores delle associazioni fattoriali del file di 9.260 campioni di sedimenti fluviali della Sardegna.  
 Box plots of the factor scores of the associations from 9,260 Sardinia stream sediment samples.

ferru e nell'area a sud di Castelsardo; qui i *factor scores* mostrano valori  $< -1,23$  (percentile 10). Valori bassi dei *factor scores* si registrano anche lungo la fascia che da Laconi si estende in direzione nord, fino all'altezza di Nuoro.

*Associazione F3 (Sb-Mo)*: L'associazione F3, responsabile del 14,24 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,78 e 0,76 rispettivamente per Sb e Mo. La distribuzione dei *factor scores* (Tavola 56) mostra un controllo assolutamente litologico. I valori più alti ( $> 1,02$  - percentile 95) cadono esclusivamente nella Sardegna sud-orientale, in prevalenza nel complesso metamorfico delle Falde erciniche, compreso nell'area Nurri, Villasalto, Tertenia e Lanusei. Altre aree più limitate di alti valori di *factor scores* si ritrovano ad est di Teulada (nel Sulcis) e fra Nuoro, Bitti e Siniscola nella Sardegna centro-settentrionale, sempre in corrispondenza del complesso metamorfico ercinico e delle sue mineralizzazioni. I *factor scores* negativi ( $< -1,63$  - percentile 10) assumono un significato prettamente litologico, cadendo praticamente solo in corrispondenza delle

vulcaniti basiche alcalino-subalcaline della Sardegna centro-occidentale (area fra Montresta, Oristano, Laconi, est di Macomer). Valori  $< -1,63$  si ritrovano anche a sud di Carbonia in corrispondenza delle vulcaniti andesitiche che riempiono la fossa di Giba.

*Associazione F4 (Ag)*: L'associazione F4, responsabile del 11,75 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,95 per l'Ag. Questa associazione è di fatti controllata quasi totalmente dal singolo elemento Ag. La distribuzione dei *factor scores* (Tavola 57) mostra anche in questo caso un prevalente controllo litologico, con gli alti valori ( $> 0,98$  - percentile 95) caratterizzanti in modo prevalente alcune aree della Sardegna meridionale e centro settentrionale. Aree ben delimitate di alti valori cadono: a nord-ovest di Iglesias (nelle dolomie e calcari del Gruppo di Gonnese), a est e nord-est di Teulada (in corpi intrusivi acidi ercinici); ad est di Villasalto ed a est di Laconi (nel Complesso metamorfico ercinico); ad ovest e ad est di Nuoro e a nord di Monti (in corpi intrusivi acidi e metamorfiti). I *factor scores* negativi ( $< -0,86$  - percentile 15) caratterizzano

invece in modo uniforme gli affioramenti delle vulcaniti andesitico-riolitiche della Sardegna nord-orientale (fra Montresta, Tempio Pausania, Castelsardo e Stintino). Analoghe vulcaniti hanno valori positivi nella fossa di Giba e nel Montiferru.

*Associazione G1 (Al-Ti-Mg-V-Sr-Y-K-P-Ca-Nb).* L'associazione G1, responsabile del 38,43 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,88, 0,80, 0,80, 0,79, 0,78, 0,74, 0,74, 0,60, 0,60 e 0,53, rispettivamente per Al, Ti, Mg, V, Sr, Y, K, P, Ca e Nb. I valori alti (>0,59 - percentile 95) (Tavola 58) cadono prevalentemente in un'area particolare delle vulcaniti andesitico-riolitiche a sud di Castelsardo, ad est di Montresta e a sud di Carbonia; ricadono altresì nelle vulcaniti alcalino-subalcaline fra Oristano e Macomer. I litotipi dei Complessi metamorfici e intrusivi ercinici della Sardegna orientale, viceversa, sono caratterizzati in modo abbastanza uniforme da valori < 0,17 (percentile 50).

*Associazione G2 (Sn-Nb-W-Y-K).* L'associazione G2, responsabile del 23,73 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,75, 0,63, 0,48, 0,45 e 0,43 rispettivamente per Sn, Nb, W, Y e K. La distribuzione dei *factor scores* di questa associazione mostra un controllo assolutamente geologico (Tavola 59), soprattutto per quanta riguarda la distribuzione dei valori negativi (<-1,57 - percentile 10%) che risultano essere tutti controllati dagli affioramenti delle vulcaniti andesitico-riolitiche a sud di Castelsardo, fra Montresta e Ittiri e a sud di Carbonia. I valori alti (>1,20 - percentile) sono invece distribuiti in corrispondenza sia di parte delle vulcaniti alcalino-subalcaline a sud-ovest di Macomer, che delle intrusioni acide erciniche a est-sudest di Urzulei, intorno a Monti, a sud-est di Olbia, a nord-est di Tertenia e a nord-est di Teulada.

*Associazione G3 (La-Th-Ce-U).* L'associazione G3, responsabile del 16,32 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,84, 0,83, 0,81 e 0,51 rispettivamente per La, Th, Ce e U. Gli alti valori (>1,52 - percentile 95) di questa associazione cadono in prevalenza nelle vulcaniti alcalino-subalcaline a sud-ovest di Macomer e ad est di Oristano; una estesa fascia di alti valori ricade anche in corrispondenza di corpi intrusivi acidi e delle magmatiti andesitico-riolitiche adiacenti, allineate in direzione sudovest-nord-est, ad est dell'allineamento Oristano-Macomer. I Complessi metamorfici ercinici della Sardegna orientale sono caratterizzati invece da bassi valori dei *factor scores* (<0,04 - percentile 50), con un allineamento ben individuato (<-0,92 - percentile 15) lungo la direttrice Villasalto-Nurri (Tavola 60).

*Associazione G4 (Fe-Cd-P-Ba-Ti).* L'associazione G4, responsabile del 12,90 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,74, 0,66, 0,56, 0,51 e 0,41 rispettivamente per Fe, Cd, P, Ba e Ti. Il controllo geologico esercitato su questa associazione è ben evidente sia per i valori negativi che positivi dei *factor scores* (Tavola 61). Fasce di alti valori (>1,15 - percentile 90) sono individuate distintamente a sud-ovest di Macomer nelle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline, e lungo l'allineamento Villasalto-Nurri nel Complesso metamorfico ercinico. Sempre in corrispondenza del Complesso metamorfico ercinico alti valori cadono ad ovest di Urzulei e a nord-est di Carbonia. I valori negativi dei *factor scores* cadono invece in modo molto uniforme nelle vulcaniti andesitico-riolitiche a sud-est di Castelsardo.

*Associazione G5 (As-W-Au-U).* L'associazione G5, responsabile del 8,57 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,83, 0,64, 0,51 e 0,47 rispettivamente per As, W, Au e U. Anche questa associazione mostra un forte controllo litologico (Tavola 62). Alti valori (>1,15 - percentile 95) vengono individuati in una fascia estesa sud-ovest - nord-est, da Sassari a Tempio Pausania nelle vulcaniti andesitico-riolitiche (che sono del resto la roccia ospite delle mineralizzazioni ad oro epitermale, cfr.6.2), e lungo l'allineamento Villasalto - Laconi e a nord-est di Carbonia, nel Complesso metamorfico ercinico. I valori negativi (<1,23 - percentile 15) sono distribuiti in modo molto uniforme nelle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline fra Oristano e Macomer.

## 9. - DISTRIBUZIONE DELLE ANOMALIE DI ELEMENTI COMBINATI

*Argento - Zinco - Rame.* La massima significatività di questi tre elementi associati si registra nell'area ad est di Laconi in corrispondenza di metamorfiti del Complesso metamorfico ercinico e delle mineralizzazioni skarnoidi a metalli di base. Nell'area di Iglesias e ad est di Carbonia, in corrispondenza del ben noto distretto minerario piombo-zincifero, si ha il massimo della significatività per la coppia di elementi zinco e argento; l'incidenza di questa coppia di elementi è anche elevata in aree ristrette della Sardegna sud-orientale, per lo più sempre in corrispondenza di metamorfiti del Complesso metamorfico ercinico (Tavola 63).

*Cromo - Nichelio - Magnesio.* Il massimo di incidenza per questi tre elementi viene registrato nell'area compresa fra Macomer e Oristano in corri-

spondenza delle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline. Sostanzialmente la distribuzione dei valori massimi combinati dei tre elementi funziona da *marker* degli affioramenti di questi tipi litologici. Viceversa le vulcaniti calco-alcaline andesitico-riolitiche sono caratterizzate da una prevalenza dei valori del magnesio (sud di Castelsardo; fra Montresta, Alghero e Ittiri; sud di Iglesias; fra Oristano e Laconi). Tutte le aree interessate da affioramenti di tipi litologici dei Complessi metamorfici e intrusivi ercinici (Sardegna orientale e meridionale) sono caratterizzate da una prevalenza di valori della coppia Cr-Ni (Tavola 64).

*Ferro-Manganese - Cobalto*: Il massimo di incidenza per questi tre elementi combinati si registra in corrispondenza delle vulcaniti calcocalcine andesitico-riolitiche, con una prevalenza della coppia Fe-Mn, nella Sardegna sud-occidentale, ad est di Carbonia e nella Sardegna nord-occidentale, ad est di Montresta. Una marcata influenza viene registrata lungo l'allineamento Villasalto-Nurri nella Sardegna sud-orientale. La coppia Fe-Co mostra una prevalenza in corrispondenza delle vulcaniti alcalino-subalcaline fra Montresta, Macomer e Oristano. Tutta la Sardegna orientale, caratterizzata da litotipi dei complessi intrusivi e metamorfici, è marcata da alti valori della coppia Mn-Co. Il manganese prevale in particolare nell'area intorno a Monti, ad ovest di Tempio Pausania e ad est di Alghero (mineralizzazioni a manganese) (Tavola 65).

*Oro - Arsenico - Antimonio*: Non sono chiaramente individuabili aree ben delimitate con massimo di incidenza per i tre elementi combinati. Tutte le vulcaniti della Sardegna centro-occidentale mostrano una prevalenza di valori prevalentemente della coppia As-Sb e subordinatamente di oro. Si registra viceversa una prevalenza di oro in diverse aree caratterizzate da rocce calco-alcaline ad est, sud e nord di Macomer, nel Montiferru, ad est di Carbonia (area nord della Fossa di Giba) e a Sarroch. Una prevalenza dei valori dell'arsenico si registra nelle vulcaniti calco-alcaline andesitico-riolitiche a sud di Castelsardo, ad ovest di Laconi e ad est di Carbonia. I valori dell'antimonio prevalgono per lo più nei litotipi dei Complessi metamorfici e intrusivi ercinici (Tavola 66).

*Piombo - Zinco - Argento*: Il massimo di incidenza per i tre elementi combinati viene registrato in modo esteso e marcato intorno a Iglesias in corrispondenza del ben noto distretto minerario piombo-zincifero. Altri marcati alti, anche se di estensione molto limitata, si registrano ad est di Carbonia,

ad est di Villasalto, ad est di Laconi e ad est di Bitti. Una marcata incidenza del solo piombo viene registrata a nord-est di Iglesias e a sud-ovest di Monti (Tavola 67).

*Piombo - Zinco - Bario*: Una marcata incidenza dei tre elementi combinati viene registrata solo nell'area ad est di Carbonia. L'area del distretto minerario piombo-zincifero dell'Iglesiente e del Sulcis settentrionale è caratterizzata da un'elevata incidenza della coppia Pb-Zn; valori ugualmente marcati della coppia Pb-Zn vengono registrati ad est di Villasalto, ad est di Laconi e ad est di Bitti. Come per l'associazione Pb-Zn-Ag, anche per questa combinazione di elementi viene indicata una marcata incidenza del solo piombo a nord-est di Iglesias e a sud-ovest di Monti (Tavola 68).

*Piombo - Zinco - Cadmio*: Per questi tre elementi combinati non viene individuata un'area specifica con elevata incidenza di valori, fatta eccezione per aree molto piccole in prossimità di Villasalto e di Tertenia. Viceversa vengono indicate aree con prevalenza dei valori della coppia Zn-Cd soprattutto nella Sardegna centro-orientale e nelle vulcaniti calco-alcaline andesitico-riolitiche a sud di Castelsardo. La coppia Pb-Zn individua aree anomale ad est di Carbonia, ad est di Villasalto, ad est di Laconi e ad est di Bitti. Una marcata incidenza del solo Pb è individuata a nord-est di Iglesias e a sud-ovest di Monti. Una incidenza generalizzata prevalentemente dello Zn, con Pb subordinato, è registrata per tutta la Sardegna (Tavola 69).

*Rame - Antimonio - Oro*: Per questi tre elementi non viene individuata un'area con incidenza massima dei tre elementi combinati. Nell'area intorno ad Alghero viene registrata una incidenza di alti valori prevalentemente per la coppia Cu-Au rispetto ad antimonio. La coppia Cu-Au mostra una prevalenza di valori alti in tutte le aree di affioramento delle vulcaniti sia alcalino-subalcaline (area Macomer-Oristano) che calco-alcaline andesitico-riolitiche (sud di Castelsardo, Montresta, Carbonia). Una maggiore incidenza dell'oro si registra in particolare in varie aree comprese fra Ittiri, Montresta, Macomer e Oristano, oltre che a nord-est di Carbonia. Una incidenza prevalente del rame si registra a sud-ovest di Monti, mentre l'antimonio è prevalente dall'Oristanese al Sulcis. La coppia Cu-Sb mostra invece una prevalenza di valori nell'area fra Alghero e Ittiri, a sud-est di Sassari e a sud-ovest di Tempio Pausania, a nord di Laconi e nella Sardegna sud-occidentale, compresa fra Teulada, Iglesias e Guspini (Tavola 70).

*Rame - Molibdeno - Wolframio*: La massima incidenza per questi tre elementi combinati si registra nell'area fra Villasalto e Nurri. Incidenza prevalente di coppie di elementi vengono indicate in altre aree. In generale la coppia Cu-Mo prevale in tutta la Sardegna orientale. La coppia Cu-W prevale in particolare in alcune aree specifiche: a sud ovest di Monti, a nord-est di Macomer, ad ovest di Nuoro, dove sono segnalate mineralizzazioni sub-economiche. L'incidenza del wolframio è prevalente a sud di Guspini e in altre aree sparse della Sardegna. Intorno ad Alghero si registra una prevalenza di incidenza della coppia Cu-W rispetto al molibdeno (Tavola 71).

#### 10. - 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 (VISSER, 1996), perchè in Italia al momento della stesura di questo lavoro non esisteva ancora una normativa ufficiale che fissasse con rigore i limiti di intervento per i vari elementi chimici; il Canada, rispetto ad altri Paesi (es. Germania, Regno Unito) ha fissato i limiti per uno spettro di elementi molto più ampio per l'uso agricolo, residenziale/ricreativo e industriale/commerciale del territorio.

Per l'Italia, il Ministero dell'Ambiente (nella fase di bozza del presente lavoro) ha emanato nel 1999 un Decreto, fissando i limiti d'intervento sia per gli elementi inorganici che organici solo per l'uso residenziale/ricreativo ed industriale/commerciale del territorio non prevedendo peraltro limiti per l'uso agricolo del territorio. Questi limiti d'intervento sono stati utilizzati, per esempio, per la bonifica dell'area occupata dall'insediamento siderurgico di Bagnoli (Napoli). I limiti di intervento non si discostano in ogni caso molto da quelli in uso in Canada e da noi adoperati per la definizione delle soglie geochimiche di intervento in Sardegna. Va specificato peraltro, che comunque non sono ancora disponibili per l'Italia, così come per gran parte dei Paesi industrializzati, i limiti d'intervento per gli elementi metallici nei sedimenti fluviali. Poiché vi potrebbe essere una marcata differenza fra i livelli di concentrazioni di metalli nei sedimenti rispetto a quelli che si riscontrano nei suoli, le carte d'intervento per l'uso del territorio da noi prodotte devono intendersi come carte di rischio potenziale per quegli elementi le cui concentrazioni superano in modo marcato i limiti d'in-

tervento fissati per i suoli. In altri termini queste carte possono essere utili a selezionare le aree potenzialmente a rischio, in cui è necessario procedere ad una prospezione di dettaglio utilizzando suoli, per una valutazione del rischio «reale» dei siti specifici.

*Antimonio (Sb)*: Le aree di intervento per questo elemento sono individuate, per l'uso agricolo/residenziale (>20 ppm) del territorio nella Sardegna sud-orientale, prevalentemente nell'area compresa fra Nurri - Tertenia e Villasalto. Sempre nella stessa area vengono individuate anche le aree di intervento per l'uso commerciale/industriale (>40 ppm) del territorio. Quest'area è interessata da affioramenti di metamorfiti del Complesso metamorfico ercinico (Tavola 72).

*Argento (Ag)*: Per questo elemento non vengono individuate aree di intervento sull'intero territorio della Sardegna, fatta eccezione per un'area abbastanza delimitata a sud-est di Villasalto, dove esistono valori >40 ppm (rischio per l'uso commerciale/industriale del territorio) (Tavola 73).

*Arsenico (As)*: Per questo elemento le aree di intervento, soprattutto per l'uso residenziale/ricreativo (>30 ppm) e commerciale/industriale (>50 ppm), sono localizzate intorno e a nord-ovest di Laconi, ad est di Carbonia e in modo più esteso nell'area fra Castelsardo-Tempio Pausania-Sassari. Le aree di intervento sono tutte in corrispondenza di affioramenti di vulcaniti calco-alcaline andesitico-riolitiche (Tavola 74).

*Bario (Ba)*: Le aree di intervento per l'uso residenziale/ricreativo (>500 ppm) e agricolo (>750 ppm) sono presenti diffusamente in corrispondenza delle vulcaniti calco-alcaline andesitico-riolitiche a sud di Castelsardo e delle vulcaniti alcalino-subalcaline fra Montresta, Macomer e Laconi. Aree di intervento per l'uso commerciale/industriale (>2000 ppm) sono registrate lungo l'allineamento Villasalto-Nurri e ad est di Carbonia (Tavola 75).

*Cadmio (Cd)*: Limitate aree di intervento per l'uso residenziale/ricreativo (>5 ppm) del territorio sono individuate in zone sparse ad est di Urzulei, fra Urzulei e Tertenia, e lungo l'allineamento Villasalto - Nurri (Tavola 76).

*Cobalto (Co)*: Per questo elemento si registrano aree di intervento per l'uso residenziale/ricreativo (>50 ppm) del territorio, in modo omogeneo fra Macomer e Oristano, in corrispondenza delle vulcaniti alcalino-subalcaline. Aree ugualmente di intervento vengono registrate in modo sparso in tutta la

Sardegna sud-orientale e sud-occidentale, sia per l'uso residenziale/ricreativo che per l'uso agricolo (>400 ppm) del territorio (Tavola 77).

*Cromo (Cr)*: Aree di intervento per l'uso residenziale/ricreativo (>250 ppm) e commerciale/industriale (>800 ppm) vengono registrate, come per il cobalto, in modo omogeneo nella zona a sud e ad ovest di Macomer, in corrispondenza delle vulcaniti basiche alcalino-subalcaline (Tavola 78).

*Molibdeno (Mo)*: Le aree di intervento per l'uso agricolo (>5 ppm) e residenziale/ricreativo (>10 ppm) vengono individuate in modo diffuso in tutta la Sardegna orientale, da San Teodoro fino a sud di Villasalto, in corrispondenza dei litotipi dei Complessi intrusivi e metamorfici ercinici. Ugualmente, anche se in modo molto meno esteso, altre aree di intervento si riscontrano nella Sardegna sud-occidentale (intorno a Teulada) e in modo sparso nella Sardegna nord-occidentale (Tavola 79).

*Nichelio (Ni)*: Le aree di intervento per l'uso agricolo (>150 ppm) del territorio si registrano (come per il cobalto e il cromo) in modo omogeneo nell'area a sud-ovest e a sud di Macomer. Altre aree di intervento vengono individuate a nord-est di Teulada e in modo sparso nell'area di Villasalto (Tavola 80).

*Piombo (Pb)*: Le aree di intervento per l'uso residenziale/ricreativo (>500 ppm) e per l'uso commerciale/industriale (>1000 ppm) del territorio si registrano in modo omogeneo nell'area di Iglesias, in corrispondenza del noto distretto minerario piombo-zincifero (e delle sue discariche, distribuite su gran parte del territorio) e in modo più sparso, ad est di Carbonia, nell'area di Villasalto, ad est di Laconi, ad ovest di Urzulei e fra Siniscola e Bitti (Tavola 81).

*Rame (Cu)*: Le aree di intervento per il rame sono state individuate intorno ad Alghero e ad est di Laconi, per l'uso sia agricolo (>150 ppm) che commerciale/industriale (>500 ppm) del territorio. In modo sporadico sono state individuate altre aree di intervento in tutta la Sardegna sud-orientale e sud-occidentale (Tavola 82).

*Stagno (Sn)*: Per questo elemento viene individuata come area di intervento, per l'uso agricolo (>5 ppm) del territorio, quella compresa fra Laconi, Macomer e Oristano, dove affiorano estesamente sia vulcaniti alcalino-subalcaline che calco-alcaline (Tavola 83).

*Vanadio (V)*: Le aree di intervento per l'uso residenziale - agricolo (>200 ppm) del territorio sono state individuate soprattutto fra Montresta e Ittiri, a sud di Castelsardo, a sud-est di Carbonia e a nord-

est di Teulada, in corrispondenza di vulcaniti calco-alcaline andesitico-riolitiche. Aree a rischio sono presenti anche fra Macomer e Oristano, in corrispondenza di vulcaniti sia calco-alcaline che dei basalti alcalino-subalcalini (Tavola 84).

*Zinco (Zn)*: Le aree di intervento per l'uso agricolo (>600 ppm) e commerciale/industriale (>1500 ppm) del territorio sono state registrate, come già per il piombo, in modo abbastanza omogeneo a nord-ovest di Iglesias, a nord-est di Teulada, intorno a Villasalto, ad est di Laconi e ad est di Bitti (Tavola 85).

I risultati delle carte delle soglie geochimiche, combinati con l'insieme dei dati geochimici per gli altri elementi, permettono il riconoscimento di due gruppi di elementi, le cui concentrazioni anomale individuano aree potenzialmente a rischio per il territorio:

Il primo gruppo comprende vanadio, cobalto, nichelio, cromo e molibdeno. Le concentrazioni a rischio sono legate generalmente ad anomalie formazionali di differenti litotipi, che possono essere talora molto alte, come ad esempio quelle legate alle vulcaniti calco-alcaline terziarie per il vanadio e i basalti alcalini Plio-Quaternari per il cromo, il cobalto ed il nichelio. Il molibdeno è particolarmente concentrato nelle metamorfite Paleozoiche della zona delle Falde.

Il secondo gruppo comprende: a) la coppia antimonio-arsenico, con valori anomali particolarmente concentrati in prossimità di piccole mineralizzazioni, la cui coltivazione è esaurita da tempo (anche se locali arricchimenti in arsenico sono noti anche in sedimenti derivati da vulcaniti calco-alcaline); b) i metalli di base piombo, zinco e argento, spesso in associazione con bario, le cui concentrazioni potenzialmente di rischio per il territorio sono generalmente associate in modo abbastanza netto alle aree di coltivazione mineraria antica o recente, ed agli annessi impianti di arricchimento e flottazione con le loro discariche.

#### Ringraziamenti

Si ringraziano Marina COSCI e Maria Luisa VATOVEC per il prezioso contributo dato alla realizzazione del volume.

## BIBLIOGRAFIA

- BARCA S. (1992) - *Phénomènes de resédimentation et flysch hercynien à faciès Culm dans le "synclinal du Sarrabus" (SE de la Sardaigne, Italie)*. C.R. Acad. Sci. Paris, 313 (2), Coll. 6 "Géol. de l'Europe": 191 - 202.
- BECHSTÄDT T. & BONI M. Eds. (1994) - *Sedimentological, stratigraphical and ore deposits field guide of the autochthonous Cambro-Ordovician of Southwestern Sardinia*. Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia, vol. XLVIII, Servizio Geologico d'Italia: 434 pp.
- BONI M., IANNACE A., KÖPPEL V., HANSMANN W. & FRÜH-GREEN G. (1992) - *Late- to post-Hercynian hydrothermal activity and mineralization in SW Sardinia*. Econ. Geol., **87** (8): 2113-2137.
- BONI M., IANNACE A. & BALASSONE G. (1996) - *Base metal ores in the Lower Palaeozoic of South-Western Sardinia*. Econ. Geol. 75th Anniversary Volume Spec. Publ. n. 4; 18-28.
- CARMIGNANI L., CHERCHI A. & RICCI C.A. (1989) - *Basement structure and Mesozoic-Cenozoic evolution of Sardinia*. In: The Lithosphere in Italy, BORIANI A., BONAFEDE M., PICCARDO G.B. & VAI G.B., Acc. Naz. Lincei: 63-92.
- CARMIGNANI L., OGGIANO G. & PERTUSATI P.C. (1994a) - *Geological outlines of the Hercynian basement of Sardinia*. In: Petrology, geology and ore deposits of the Paleozoic basement of Sardinia, Guidebook to the B3 Field excursion, 16th General Meeting of the International Mineralogical Association, Pisa: 9-20.
- CARMIGNANI L., CAROSI R., DI PISA A., GATTIGLIO M., MUSUMECI G., OGGIANO G. & PERTUSATI P.C. (1994b) - *The Hercynian chain in Sardinia*. Geodynamica Acta, 5-4: 217-233.
- CASTINO M. & ROLETTO E. (1991) - *Statistica applicata*. Piccin Nuova Libreria, Padova.
- COCOZZA T., IACOBACCI A., NARDI R. & SALVADORI I. (1974) - *Schema stratigrafico- strutturale del massiccio sardo-corso e mineralogenesi della Sardegna*. Mem. Soc. Geol. Ital., **13**(2): 85-186.
- DE VIVO B., LIMA A., MARIGLIANO RAMAGLIA V. & PERRONE V. (1981) - *L'uso dell'analisi fattoriale e regressiva nella prospezione geochimica: un esempio di applicazione su una campionatura di suoli del bacino del Rio Lugenda (Mozambico)*. Boll. Soc. Geol. It., **100**: 107 - 127.
- DE VIVO B., CLOSS L.G., LIMA A., MARMOLINO R. & PERRONE V. (1984) - *Regional geochemical prospecting in Calabria, Southern Italy*. J. Geochem. Explor., **21**: 291 - 310.
- DE VIVO B., RICCOBONO F. & SABATINI G. Eds. (a, 1998) - *Cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana meridionale*. Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia, vol. LV, Serv. Geologico d'Italia: 144 pp.
- DE VIVO B., BONI M., MARCELLO A., COSTABILE S., DI BONITO M. & RUSSO A. (1998b) - *Cartografia geochimica della Sardegna*. In: Cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana meridionale, DE VIVO B., RICCOBONO F. & SABATINI G. Eds. Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia, vol. LV, Serv. Geologico Nazionale: 97-106.
- FIORI M., GARBARINO C., GRILLO S.M., MARCELLO A., PRETTI S. & DESSI R. (1994) - *La prospezione per giacimenti metalliferi correlati con le vulcaniti Terziarie della Sardegna: situazione attuale*. Atti Giorn. di Studio in ricordo del Prof. S. Zucchetti, Torino 12 maggio 1994.
- FREZZOTTI M.L., GHEZZO C. & STEFANINI B. (1992) - *The Calabona intrusive complex (Sardinia, Italy): evidence for a porphyry copper system*. Econ. Geol., **87**: 425-436.
- GARBARINO C., GRILLO S.M., PADALINO F., TOCCO S. & VIOLO M. (1989) - *Lithospheric evolution and metallogenesis: the Pb-Zn-Fe-Ba mineralization of the Cambrian carbonatic platform, the sulphides of the Ordovician-Silurian volcanism and Hercynian magmatism of Sardinia*. In: The Lithosphere in Italy, BORIANI A., BONAFEDE M., PICCARDO G.B. & VAI G.B., Acc. Naz. Lincei: 427-443.
- MARCELLO A., PRETTI S. & SALVADORI I. (1978) - *Le prospezioni geominerarie in Sardegna: La prospezione geochimica strategica*. Boll. Serv. Geol. d'Italia, **99**: 277 - 310.
- MEMMI I., BARCA S., CARMIGNANI L., COCOZZA T., FRANCESCHELLI M., GATTIGLIO M., GHEZZO C., MINZONI M., NAUD G., PERTUSATI P.C. & RICCI C.A. (1982) - *Il magmatismo pre-Ercinico della Sardegna*. In: Carmignani L., Cocozza T., Ghezze C., Pertusati P.C. e Ricci C.A. (Edts), Guida alla geologia del Paleozoico sardo. Guide Geologiche Regionali. Soc. Geol. It.: 157 - 164.
- MIESCH PROGRAMS (1990) - *G-RFac*. Grand Junction, CO, USA.
- RUGGIERI G., LATTANZI P., LUXORO S.S., DESSI R., BENVENUTI M. & TANELLI G. (1997) - *Geology, mineralogy, and fluid inclusion data of the Furtei High-Sulfidation gold deposit, Sardinia, Italy*. Econ. Geol. **92**: 1-19.
- 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**, pp. 39
- VISSER W.J.F. (1996). *Il criterio della concentrazione limite: approcci internazionali a confronto*. In: Siti Contaminati. Tecniche ottimali di risanamento. Giornate Europee di studio sull'ambiente. CIPA Editore, Milano: 105 - 139.