



APAT

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

DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO

Servizio Geologico d'Italia

Organo Cartografico dello Stato (legge n.68 del 2.2.1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME LXIX

**Cartografia geochemica ambientale e
carte d'intervento per l'uso del territorio
del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale**

*Environmental geochemical mapping
and intervention maps for land use
of Cagliari Sheet southern Sardinia*

Editor

BENEDETTO DE VIVO



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



A P A T

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
Servizio Geologico d'Italia
Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2.2.1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME LXIX

**Cartografia geochemica ambientale e carte
d'intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari,
Sardegna meridionale**

*Environmental geochemical mapping and intervention maps for land use
of Cagliari Sheet, southern Sardinia*

di

DE VIVO B., BONI M., LIMA A., MARCELLO A., PRETTI S., COSTABILE S.,
GASPARRINI M., IACHETTA A., TARZIA M.

Editor

Benedetto DE VIVO



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

Direttore responsabile: Leonello SERVA

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

Dirigente: Norman ACCARDI

Capo Settore: Domenico TACCHIA

Coordinatore Editoriale: Marina COSCI

Allestimento testi: Alessia MARINELLI, Massimiliano RONDISVALLE

S.EL.CA - Firenze 2006

PREMESSA

Cartografia geochemica ambientale della Sardegna meridionale

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

Sull'onda di questa vasta sensibilizzazione e dell'avvertita necessità di produrre una cartografia idonea, sono nati negli anni '90, i Progetti internazionali IUGS/IAGC *Global Geochemical Baselines* e FOREGS *Geochemical Task Group*, con lo scopo di creare un *network* di scienziati e di organizzazioni che potessero lavorare al fine di compilare una cartografia geochemica ambientale del Globo Terrestre e dell'Europa (DARNLEY *et alii*, 1995; PLANT *et alii*, 1997). I lavori del FOREGS *Geochemical Task Group*, conclusi alla fine del 2004, hanno portato alla pubblicazione di un Atlante geochemico multielementale dell'Europa relativamente alle matrici suoli, sedimenti fluviali, sedimenti di piana alluvionale, acque superficiali e humus (SALMINEN *et alii*, 2005; DE VOS *et alii*, 2006). L'Italia ha partecipato a tale progetto, sia con attività di campo che con attività di elaborazione dati e di coordinamento di gruppi di ricerca multi-nazionali, con ricercatori dell'Università di Napoli Federico II (Coord. Prof. B. DE VIVO), dell'Università di Siena (Coord. Prof. G. SABATINI) e dell'Università di Padova (Coord. Prof. P. FRIZZO), i quali hanno garantito la campionatura di 19 celle ricadenti sul territorio nazionale.

In due monografie già pubblicate sulla Sardegna, nelle Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia del Servizio Geologico (DE VIVO *et alii*, 1998 a; 2001), è stato sviluppato il tema di cartografia geochemica di base attraverso l'utilizzo di campionature pregresse di sedimenti fluviali, provenienti da Convenzioni effettuate nell'ambito dei Programmi della ricerca mineraria di base, tra Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato e l'Ente Minerario Sardo negli anni '80.

In questo lavoro, relativamente al territorio del Foglio Cagliari, le campionature pregresse vengono integrate con la raccolta di nuovi campioni, rappresentativi di parti del territorio precedentemente non prese in considerazione a causa o del loro basso potenziale minerario oppure dell'alto tasso di inquinamento potenziale da attività minerarie dismesse, al fine di produrre, appunto, una cartografia geochemica di interesse soprattutto ambientale.

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

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

PREFACE

Environmental geochemical mapping and intervention maps for land use of Cagliari Sheet, southern Sardinia

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

*As a result of the subsequent growing awareness of the need for appropriate environmental geochemical mapping, the international projects IUGS/IAGC Global Geochemical Baselines and FOREGS Geochemical Task Groups were launched in the 1990s. The aims of these projects is the creation of a network of scientists and Institutions, whose activity would be functional to the compilation of future geochemical mapping of the Earth Globe and Europe (as first contribution), with the main target of defining, at regional level, the baseline values (background) for numerous chemical elements. The work of the FOREGS Geochemical Task Group, was completed at the end of 2004, and in a multielement geochemical Atlas of Europe for media such as, soils, stream sediments, flood plain sediments, surface waters, and humus (SALMINEN *et alii*, 2005; DE VOS *et alii*, 2006), has been published.*

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

In two monographs (DE VIVO et alii, 1998 a; 2001), published by the Servizio Geologico on the Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, the theme "environmental geochemistry" has been developed for Sardinia using past stream sediment geochemical data, deriving from Conventions carried out in the years 1980s, aimed at mineral exploration, and agreed upon by the Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (Ministry of Industry) and the Ente Minerario Sardo.

The present monograph concerns the publication of multielement geochemical maps from a process integrating past stream sediments data with a new sampling carried out in the territory of Cagliari Sheet. The new sampled areas were not sampled in the past because of their poor potential to host mineralizations and/or because of their high potential to reflect pollution processes due to the existence of abandoned mining activities.

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

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

Prof. Benedetto DE VIVO
Università di Napoli Federico II

Cartografia geochimica ambientale e carte d'intervento per l'uso del territorio del Foglio Cagliari, Sardegna meridionale

Environmental geochemical mapping and intervention maps for land use of Cagliari Sheet, southern Sardinia

DE VIVO B. (*), BONI M. (*), LIMA A. (*), MARCELLO A. (**), PRETTI S. (**),
COSTABILE S. (*), GASPARRINI M. (***), IACHETTA A. (*), TARZIA M. (*)

RIASSUNTO - In due recenti monografie (DE VIVO *et alii*, 1998a; 2001) è stata prodotta una cartografia geochimica multielementale della Sardegna, utilizzando circa 26000 campioni di sedimenti fluviali raccolti negli anni '70 e '80 dall'Ente Minerario Sardo, sia direttamente nell'ambito del Programma Straordinario di Ricerca (PGSR), sia nel quadro delle Convenzioni stipulate con il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA), nell'ambito dei Programmi della ricerca mineraria di base (Legge 6.10.1982, n. 752, art. 4).

Con i finanziamenti ricevuti nell'ambito dei Progetti Coordinati e Strategici del CNR, per il Foglio Cagliari, sono stati eseguiti ulteriori campionamenti per integrare le precedenti campagne PGRS e MICA. Sono stati raccolti 538 nuovi campioni di sedimenti fluviali in modo da garantire una copertura omogenea di tutte le parti del territorio lasciate scoperte dalle campagne PGRS - MICA e per assicurare il prelievo di campioni rappresentativi di tutte le litologie ricadenti nel Foglio Cagliari. Il totale dei campioni utilizzati nella compilazione della cartografia geochimica del Foglio Cagliari è di 6098 campioni, su di una superficie di circa 3900 km², con una densità variabile, mediamente di circa 0,65 campioni/km². Su tutta la superficie del Foglio è stata inoltre effettuata una prospezione radiometrica per la determinazione della radioattività di ²³⁸U, ⁴⁰K, ²³²Th e totale (U, Th, K). Sono state compilate, attraverso metodologie statistiche e l'uso del GIS Arc/View carte geochimiche, per singolo elemento (55), per associazioni di elementi (analisi fattoriale) e per combinazione di elementi chimicamente compatibili a gruppi di tre (es. Cr, Ni, Mg).

Per alcuni elementi (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) sono state compilate carte di intervento per l'uso del territorio prendendo a riferimento le concentrazioni limite fissate per i sedimenti fluviali dal Canada e dall'Olanda, in quanto l'Italia non ha ancora fissato per Legge le concentrazioni limite per i sedimenti fluviali.

PAROLE CHIAVE: Geochimica ambientale; Cartografia geochimica; Inquinamento; Sardegna meridionale; Sedimenti fluviali.

ABSTRACT - Multielement geochemical maps of Sardinia have been compiled in recent monographs (DE VIVO *et alii*, 1998a, 2001), using about 26000 stream sediment samples, collected in the years 70's and 80's by the Ente Minerario Sardo, both directly in the framework of the "Programma Generale Straordinario di Ricerca (PGSR)" and the "Programmi della Ricerca Mineraria di Base (Legge 6.10.1982, n. 752, art. 4) of the Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA). Successively, with the funds of CNR "Progetti Coordinati and Strategici", has been completed the sampling of the Cagliari areas, with additional 538 new stream sediments. In this paper are reported maps, referred to samples collected during the PGRS and MICA programs, comprising the 538 new samples of stream sediments collected in the framework of CNR projects. For the compilation of the multielement geochemical maps of the Cagliari Sheet, 6098 samples were collected on of a surface of about 3900 km², with a nomi-

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

(**) Dipartimento di Geoingegneria e Tecnologie Ambientali, Piazza d'Armi, 09123 Cagliari (e-mail: alb.marcello@iscali.it)

(***) Dipartimento di Scienze della Terra, Largo S. Marcellino 10, 80138 Napoli

nal density, highly variable, of 0.65 sample/km². In the Cagliari Sheet has been also carried out also a radiometric survey for the ²³⁸U, ⁴⁰K, ²³⁸Th and total (U, Th, K) radioactivity determinations, using a portable instrument.

Geochemical maps for single elements (55), for elements association (factor scores from R-mode factor analysis) and for combination of chemically compatible elements have been produced by means of statistics methods and of a GIS (Arc/View). For some selected elements (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) have been also produced geochemical intervention maps using the threshold criteria used for stream sediments by Canada and Netherlands, because Italy has not yet fixed by law the intervention criteria for stream sediments.

KEY WORDS: Environmental geochemistry; Geochemical mapping; Pollution; Southern Sardinia; Stream sediments.

1. - INTRODUZIONE

La compilazione della cartografia geochimica del Foglio Cagliari, in scala 1:250.000, segue le due monografie interessanti l'intero territorio della regione Sardegna (DE VIVO *et alii*, 1998a; 2001). Per l'elaborazione della cartografia geochimica già prodotta era stato utilizzato un totale di circa 26.000 campioni di sedimenti fluviali, raccolti negli anni '70 e '80 dall'Ente Minerario Sardo (EMSa), sia direttamente nell'ambito del Programma Generale Straordinario di Ricerca (PGSR), sia nel quadro delle Convenzioni stipulate con il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA) nell'ambito dei programmi della ricerca mineraria di base (Legge 6 Ottobre 1982, n. 752, art. 4).

Avendo i suddetti studi finalità prettamente minerarie, il territorio sardo non risulta coperto omogeneamente da campionature geochimiche. L'elaborazione della cartografia geochimica già pubblicata rappresenta quindi la fotografia del territorio sulla base di quanto prodotto fino agli anni 80 esclusivamente ai fini della ricerca mineraria.

Con finanziamenti ricevuti nell'ambito dei Progetti Coordinati e Strategici del CNR, gli autori della presente monografia si sono posti l'obiettivo di integrare i dati delle precedenti campagne PGRS-MICA, attraverso la campionatura rappresentativa della parte del territorio e delle litologie precedentemente non prese in considerazione a causa o del loro "basso" potenziale minerario, o dell'alto tasso "di inquinamento" da parte delle miniere e delle relative molteplici discariche presenti. Nell'ambito del Foglio Cagliari (scala 1:250.000), il lavoro di integrazione e completamento di dati geochimici ha interessato sia l'Iglesiente-Sulcis che il Sarrabus, nonché le isole di S. Pietro e S. Antioco. Complessivamente sono

stati raccolti, ad integrazione della campionatura pregressa, 538 campioni di sedimenti fluviali.

Questo approccio assume maggiore rilevanza anche alla luce del fatto che in Italia sono stati intrapresi, attraverso l'attivazione di un Progetto MURST-PRIN e di un Progetto ANPA, programmi tesi alla compilazione di una cartografia geochimica dell'intero territorio nazionale in scala 1:250.000. Queste iniziative si inquadrano nel contesto europeo e mondiale che vede la partecipazione di ricercatori italiani ai Progetti internazionali IGCP/IUGS 360 e FOREGS, che si propongono la compilazione di una cartografia geochimica ambientale del Globo Terrestre e dell'Europa (DARNLEY *et alii*, 1995; PLANT *et alii*, 1997).

I dati geochimici derivanti dalle campagne PGSR-MICA e dalle nuove campionature nell'ambito del Foglio Cagliari, 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 chimicamente relazionati, raggruppati a gruppi di tre (es. Pb, Zn e Ag). Per un numero selezionato di elementi (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) sono state elaborate carte delle soglie geochimiche, che fanno riferimento alle concentrazioni limite dei criteri di intervento fissati dal Canada e dall'Olanda relativamente ai sedimenti fluviali. È stato necessario fare riferimento ai criteri di intervento del Canada e dell'Olanda in quanto in Italia il Ministero dell'Ambiente ha provveduto con appositi decreti (D.M. 471, 25 Ottobre 1999 e D.M. 367/2003) a fissare le concentrazioni limite dei suoli e delle acque, per l'uso ricreativo/residenziale e commerciale/industriale del territorio, e dei sedimenti marini, ma non ha ancora fissato le concentrazioni limite relativamente ai sedimenti fluviali.

Sull'intero territorio del Foglio Cagliari, oltre alla campionatura geochimica, è stata anche effettuata una prospezione radiometrica per la radioattività sia parziale (U, Th, K) che totale.

2. - CAMPIONI, ANALISI CHIMICHE E PROSPEZIONE RADIOMETRICA

Oltre ai dati geochimici provenienti da 538 nuovi campioni, le campionature pregresse, per un totale di 5560 campioni, provengono dalle seguenti Convenzioni: Il Complesso grani-toide della Sardegna; Area del Sulcis, Sardegna Sud-Occidentale; Programma Generale Stra-ordinario di Ricerca-EMSa, anni '70. Il totale quindi dei campioni utilizzati nella compilazione della carto-

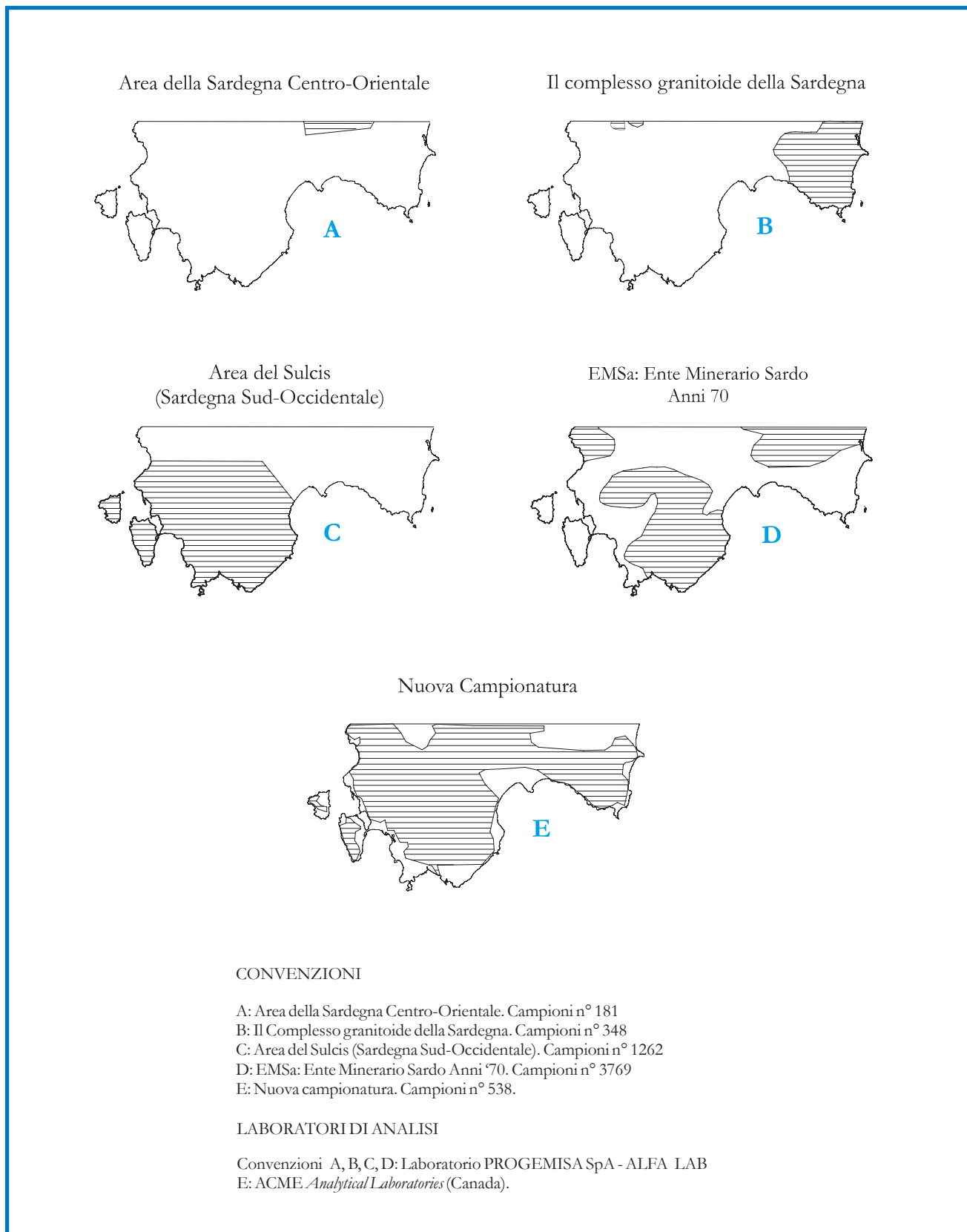


Fig. 1 - Carta del Foglio Cagliari, con l'indicazione delle aree di influenza della nuova campionatura e delle campagne di campionatura eseguite dall'Ente Minerario Sardo nell'ambito del Programma Generale Straordinario di Ricerca (PGSR) e delle Convenzioni con il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA) per la Ricerca Mineraria di Base.

- Cagliari Sheet map with location of the new and the old sampled areas in the framework of the "Programma Generale Straordinario di Ricerca (PGSR) carried out by Ente Minerario Sardo and the "Programmi della Ricerca Mineraria di Base" of the Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA).

grafia geochimica del Foglio Cagliari è di 6098 campioni, distribuiti su 3990 km² e con una densità di 0,65 campioni per km². L'area specifica di influenza di ognuna delle precedenti campagne e quella della campionatura *ex novo*, è indicata nella figura 1. La tavola 1 mostra la distribuzione sia del reticolo idrografico che dell'ubicazione di tutti i campioni del Foglio Cagliari.

Il numero di elementi analizzati non è uguale per tutte le campagne pregresse e per la nuova campionatura. Le informazioni relative alle determinazioni analitiche delle campionature sono riportate sinteticamente nella tabella 1.

I campioni sono stati essiccati e setacciati, e per le determinazioni analitiche è stata utilizzata la frazione <80 mesh. Le analisi chimiche dei campioni provenienti dalla campagne PGRS sono state eseguite dal *Bureau de Recherches Géologiques et Minières* (BRGM) (Francia), mentre quelle provenienti dalle campagne MICA (tab. 1) sono state eseguite presso i Laboratori Progemisa SpA, Alfalab SpA e SIM SpA, utilizzando AA, ICP-ES, DCP-AES e XRF. Le analisi chimiche della nuova campionatura sono state effettuate presso ACME *Analytical Laboratories* (Vancouver, Canada) mediante ICP-AES.

La prospezione radiometrica è stata effettuata utilizzando la strumentazione portatile GRS-500 della *Scintrex Limited Concord* (Ontario, Canada). Tale strumento è capace di rilevare, con misure consecutive su tempi opportunamente selezionati, le radiazioni gamma emesse dai campioni in esame. Infatti, può misurare sia tutte le radiazioni gamma cumulativamente, sia quelle emesse in particolari intervalli di energia (in MeV), relativi ai principali radionuclidi naturali.

I principali elementi radioattivi naturali sono: ²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th, ⁴⁰K. I primi tre, con disintegrazioni alfa e beta accompagnate da radiazioni gamma di varia energia, danno origine a lunghe serie di altri radioisotopi figli fin quando non diventano, rispettivamente, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb, non più radioattivi. Le percentuali di radiazioni gamma emesse dai singoli radionuclidi figli sono ben note e quindi basta rilevare quanta radioattività gamma è emessa da uno dei nuclidi figli per sapere quanto progenitore è presente nel campione. Si conosce, inoltre, che il rapporto ²³⁵U/²³⁸U è fisso ed è uguale a 1/135 circa e, quindi, lo ²³⁵U è un emettitore di radioattività naturale di secondaria importanza, rispetto agli altri. In definitiva, per misurare la radioattività gamma dovuta all'Uranio, si misura quella emessa dal ²¹⁴Bi, un figlio radio-genico dell'²³⁸U, che emette molte radiazioni gamma intorno a 1.76 MeV. Per misurare la radioattività emessa dal torio, si misura quella

emessa dal figlio ²⁰⁸Tl a 2.6 MeV.

Per quanto riguarda la radioattività dovuta al ⁴⁰K, essa è misurata sull'unica radiazione gamma emessa di 1.46 MeV. Il ⁴⁰K ha una abbondanza isotopica naturale di 0.01119 % del potassio totale e, dal momento che il potassio è un elemento abbondante, la radioattività del ⁴⁰K può essere notevole, specie per le rocce ad alto contenuto in potassio.

Lo strumento Scintrex GRS-500, per misurare le radioattività dovuta ad U, Th e K, rileva le disintegrazioni gamma tra 1.65 ed 1.87 MeV (dovute al ²¹⁴Bi), tra 2.45 e 2.79 MeV (dovute al ²⁰⁸Tl), tra 1.35 e 1.59 MeV (dovute al ⁴⁰K), rispettivamente. Lo strumento può misurare anche tutte le radiazioni gamma emesse dal campione in esame, in due modi: quelle superiori a 0.08 MeV e quelle superiori a 0.40 MeV. Nelle prime vengono misurate anche radiazioni gamma di bassa energia, che possono essere anche imputabili a fondo strumentale o radiazioni gamma secondarie naturali; le seconde dovrebbero comprendere tutte le radiazioni gamma naturali effettivamente emesse dal campione. Queste misure conteggiano le radiazioni gamma emesse dal ⁴⁰K e da tutti i radionuclidi figli di U e Th, unitamente a quelle di altri radionuclidi naturali meno abbondanti e meno importanti ed, eventualmente, di radionuclidi artificiali. A meno di particolari situazioni, specie per quanto riguarda i radionuclidi artificiali, la radioattività dovuta ad altri radionuclidi che non siano il ⁴⁰K ed i figli di U e Th va considerata un "fondo", da cui emergono i picchi dovuti al K ed ai figli, già menzionati, dell'U e del Th.

Sui 3990 km² del territorio del Foglio Cagliari, sono state effettuate misure in 682 stazioni di misura, con una densità nominale di 1 stazione per 5 km².

I dati geochimici, come è avvenuto per la cartografia geochimica già prodotta per l'intera Sardegna (BONI *et alii*, 1999b; DE VIVO *et alii*, 1997, 1998a e b, 2001) risultano necessariamente eterogenei, per quanto riguarda sia la provenienza dei campioni che le procedure di analisi. Ciò nondimeno, i risultati raggiunti hanno notevole significato a livello regionale e sono soprattutto di indubbia utilità al fine della determinazione delle concentrazioni *background* che devono servire di riferimento, a livello locale, per gli interventi ambientali di bonifica. È comunque chiaro che a tale livello, per la definizione delle aree a rischio potenziale, è indispensabile procedere all'effettuazione di campionature accurate dei suoli e delle acque, sia superficiali che sotterranee, per valutare non solo l'entità dell'inquinamento ma anche, mediante opportune metodiche, la biodisponibilità degli elementi tossici nell'ambiente.

Tab. 1 - Informazioni relative alle determinazioni analitiche eseguite durante le campagne geochimiche dall'Ente Minerario Sardo nel PGSR e nell'ambito delle Convenzioni con il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA) e durante le nuove campionature del Foglio Cagliari.

- Analytical data of the chemical analyses of Cagliari Sheet carried out in the framework of the PGSR by Ente Minerario Sardo and the Conventions of the Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA) and of the new sampling program.

ELEMENTI	Convenzioni A, B, C	EMSa D		Nuova campionatura E		
	Metodologie analitiche	Metodologie analitiche	LRS	Metodologie Analitiche	Accuratezza	LRS
Al %	-	-	-	6	4,2	0,01
Ca %	2	-	-	6	1,2	0,01
Fe %	-	-	-	6	2,1	0,01
K %	1	-	-	6	2,1	0,01
Mg %	-	-	-	6	3,2	0,01
Na %	1	-	-	6	2,6	0,01
P %	4	-	-	6	7,7	0,002
Ti %	-	-	-	6	0	0,01
Ag ppm	1,2,3	1	1	6	1,3	0,5
As ppm	1,2,3	-	-	6	-3,7	5
B ppm	1,2,3	-	-			
Ba ppm	2,3,4	-	-	6	-3,3	1
Be ppm	2,3	-	-	6	8,3	1
Bi ppm	-	-	-	6	5,8	5
Br ppm	-	-	-			
Cd ppm	1,2,3	-	-	6	-11,2	0,4
Ce ppm	1,2,3	-	-			
Co ppm	1,2,3	1	1	6	9,5	2
Cr ppm	-	1	1	6	2,1	2
Cs ppm	-	-	-			
Cu ppm	1,2,3	1	1	6	7	2
Eu ppm	-	-	-			
F ppm	5	5	5			
Ga ppm	3	-	-			
Ge ppm	3	-	-			
Hf ppm	-	-	-			
Hg ppm	1,2,3	-	-			
In ppm	1,2,3	-	-			
Ir ppb	-	-	-			
Ia ppm	1,2,3	-	-	6	-3,2	2
Li ppm	2,3	-	-			
Lu ppm	-	-	-			
Mn ppm	-	1	5	6	2,8	5
Mo ppm	1,3	1	10	6	1,1	2
N ppm	1,2,3	-	-			
Nb ppm	-	-	-	6	-2,1	2
Nd ppm	-	-	-			
Ni ppm	-	1	1	6	1,5	2
Pb ppm	1,2,3	1	2	6	-0,1	5
Rb ppm	2,3	-	-			
S ppm	-	-	-			
Sb ppm	2,3	1	20	6	-1,7	5
Sc ppm	2,3	-	-	6	-0,3	1
Se ppm	-	-	-			
Sm ppm	-	-	-			
Sn ppm	2,3	-	-	6	2,8	2
Sr ppm	2,3,4	-	-	6	2,7	2
Ta ppm	-	-	-			
Tb ppm	-	-	-			
Th ppm	1,2,3	-	-	6	5,8	2
U ppm	-	-	-	6	5,7	10
V ppm	2,3	-	-	6	1,6	2
W ppm	2,3	-	-	6	-16,7	4
Y ppm	2,3	-	-	6	-17,5	2
Yb ppm	-	-	-			
Zn ppm	1,2,3	1	1	6	12,1	2
Zr ppm	-	-	-	6	-7	2

Convenzioni

A: Area della Sardegna Centro - Orientale. Campioni n° 181;
B: Il Complesso granitico della Sardegna. Campioni n° 348;
C: Area del Sulcis (Sardegna Sud-Occidentale). Campioni n° 1262;
D: EMSa: Ente Minerario Sardo Anni '70. Campioni n° 3769;
E: Nuova campionatura. Campioni n° 538.

Metodi di Analisi

1 - Assorbimento Atomico;
2 - Spettrometro ad emissione atomica con sorgente DCP;
3 - Spettrometro ad emissione atomica con sorgente ICP;
4 - Diffratometro a Raggi X;
5 - Colorimetria;
6 - Attivazione Neutronica;
L.R.S. - Limite di rilevabilità strumentale.

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

Per quanto riguarda l'elaborazione dei dati statistici e la compilazione delle carte geochimiche si sono utilizzate le stesse procedure e metodologie riportate in DE VIVO *et alii* (1998 a e b; 2001).

I parametri statistici dei dati geochimici sono indicati nella tabella 2. Le carte geochimiche riportate nelle tavole 3 - 83 sono state elaborate con il Sistema Informativo Geografico Arc/Vie.

L'elaborazione statistica per singolo elemento è stata effettuata con il programma "Probplot" (STANLEY, 1987). Per la costruzione dei *box plots* (fig. 2) è stato utilizzato il programma "Kaleidagraph" e per l'analisi fattoriale, il programma "G-Rfac" (MIESCH, 1990). Per la digitalizzazione del reticolo idrografico, della geologia e delle mineralizzazioni è stato utilizzato "Autocad 14".

L'interpolazione dei dati spaziali, per il computo delle concentrazioni delle singole celle, è stata eseguita utilizzando il metodo del *kriging*. Il *kriging* è un interpolatore lineare che permette di realizzare una griglia regolare di dati (*grid*) partendo da una distribuzione irregolare dei dati nello spazio. Il *kriging* non solo stima il valore atteso Z di una variabile in un punto, ma anche il valore dello scarto con il quale avviene tale previsione (semivariogramma). Insieme alla carta della distribuzione dei valori attesi della variabile di interesse può essere quindi anche rappresentata una carta dello scarto quadratico medio, in cui viene riportata l'incertezza con la quale viene effettuata la stima della variabile stessa. Lo scarto quadratico medio si può definire l'intervallo di confidenza del 95 % della variabile in esame. La procedura che permette di stimare lo scarto quadratico medio è di fondamentale importanza sia per riconoscere l'affidabilità delle stime effettuate, sia per poter ottimizzare le campionature. L'analisi di interpolazione con il *kriging* si compone di tre fasi distinte: a) realizzazione dei variogrammi sperimentali; b) scelta del modello teorico del variogramma; c) interpolazione con il *kriging*. Le concentrazioni per ogni singola cella sono classificate sotto forma di percentili. Nel nostro caso è stata utilizzata una cella che copre un'area di 500 m x 500 m, con una incidenza fino a 2 km. I colori riflettono gli intervalli di concentrazione scelti in corrispondenza dei percentili 5, 10, 15, 25, 50, 75, 90, 95 e 99 %. Per gli elementi con una elevata percentuale di dati al di sotto del limite di rilevabilità strumentale (es. Bi, Hg, Se) è stato utilizzato un numero più basso di percentili da rappresentare.

Nelle tavole 3-57, oltre alla rappresentazione dei

dati interpolati, vengono riportati anche una tabella dei parametri statistici dei dati originali non interpolati e il relativo istogramma di frequenza (dati log-trasformati). Ogni tavola riporta altresì la rappresentazione del semivariogramma che consente di valutare la significatività dell'interpolazione effettuata per ogni singola area. La significatività è massima per valori del semivariogramma molto bassi (0-15 %), minima per valori del semivariogramma molto elevati (95 %).

Sulle tavole 3-56, oltre alla rappresentazione dei dati interpolati, sono indicati gli intervalli di concentrazione dei singoli punti campionati. Gli intervalli scelti e rappresentati da pallini pieni di dimensioni crescenti, sono corrispondenti a valori inferiori al percentile 50, compresi fra i percentili 50 e 68, fra 68 e 97,5, fra 97,5 e 99 e superiori al percentile 99.

Le carte della distribuzione della radioattività (tavv. 58-62) e dei *factor scores* (analisi fattoriale) (tavv. 63-69) sono state compilate con la stessa metodologia utilizzata per la compilazione delle carte della distribuzione delle concentrazioni dei singoli elementi chimici (tavv. 3-57).

Le carte riportanti tre elementi (tavv. 70-77) (combinazione di tre *grid*) raggruppati per compatibilità chimica (es. Pb, Zn, 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.

Per le carte delle soglie geochimiche di intervento (tavv. 78 - 85) 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. Per le carte di rischio si è quindi dato più peso al contributo locale rispetto a quello regionale. È stata utilizzata una griglia variabile, in cui la singola cella bloccata copre una superficie di 750 m x 750 m.

Le carte delle soglie geochimiche sono state classificate considerando come concentrazioni limite per i sedimenti fluviali, i criteri di intervento fissati dal Canada e dall'Olanda (tab. 3) in quanto il Ministero dell'Ambiente non ha ancora fissato le concentrazioni limite relativamente ai sedimenti fluviali.

Tab. 2 - *Parametri statistici dei campioni di sedimenti fluviali del Foglio Cagliari.*
 - Statistical parameters of the Cagliari Sheet stream sediment samples.

Elementi	N. Campioni	Media Aritm.	Mediana	Dev.Stand.	Minimo	Massimo	Media Geom.
Al (%)	1362	7,05	7,12	1,84	0,21	11,91	6,67
Ca (%)	1362	2,45	0,88	3,60	0,0715	29,22	1,09
Fe (%)	1362	4,01	3,68	2,86	0,29	37,81	3,33
K (%)	1362	2,36	2,32	0,89	0,07	4,90	2,15
Mg (%)	1362	0,96	0,78	0,99	0,0181	8,67	0,65
Na (%)	1362	0,91	0,82	0,66	0,01	3,19	0,63
P (%)	1362	0,07	0,06	0,05	0,0022	0,70	0,06
Si (%)	824	28,9	28,20	4,56	15,743	39,40	28,54
Ti (%)	1362	0,36	0,28	1,00	0,01	36,14	0,26
Ag (ppm)	5149	1,1	0,25	10,0	0,01	652,7	0,2
As (ppm)	781	35,1	10	179	0,4	3951	10,8
B (ppm)	520	6,0	2	9,1	0,5	60	2,5
Ba (ppm)	1405	1669	554	4524	1,0	97000	748
Be (ppm)	538	1,2	0,5	2,0	0,5	33	0,9
Bi (ppm)	669	3,4	2,5	5,0	2,5	89	2,8
Br (ppm)	243	18,0	14	14,2	0,8	110	13,9
Cd (ppm)	1119	18,6	1,9	65,0	0,2	875,2	2,6
Ce (ppm)	846	49,2	45	25,9	2,0	170	42,0
Co (ppm)	5149	18,1	16	13,0	0,3	170	14,0
Cr (ppm)	4568	68,9	68	31,6	0,5	590	58,6
Cs (ppm)	243	3,1	3	1,8	0,5	12	2,6
Cu (ppm)	5905	41,5	31	54,5	0,1	2046	29,2
Eu (ppm)	243	1,2	1,2	0,3	0,2	1,9	1,2
F (ppm)	4264	680	630	859	3,5	42500	568
Ga (ppm)	581	19,0	17	11,3	2,5	65	15,1
Hf (ppm)	243	5,8	5	2,8	2,0	24	5,3
Hg (ppm)	243	0,1	0,05	0,2	0,1	2	0,1
In (ppm)	581	1,1	1	1,1	1,0	15	1,0
Ir (ppm)	243	2,5	2,5	0,3	2,5	6	2,5
La (ppm)	1362	25,9	25	11,8	1,0	91	22,8
Lu (ppm)	243	0,4	0,4	0,2	0,1	1,68	0,4
Mn (ppm)	5149	1445	1210	1052	0,5	12495	1071
Mo (ppm)	5409	4,1	2	21,8	0,3	1560	1,9
Nb (ppm)	781	7,7	7	4,6	1,0	63	6,7
Nd (ppm)	243	20,4	19	5,6	2,5	43	19,6
Ni (ppm)	5149	34,2	30	29,3	0,5	575	25,8
Pb (ppm)	5965	426	80	2402	0,5	44463	92,2
Rb (ppm)	243	65,8	61	31,0	7,0	150	57,1
S (ppm)	243	863	630,7	955	284,7	9506,03	702
Sb (ppm)	5149	6,5	5	7,7	0,0	177	2,0
Sc (ppm)	781	10,3	9	5,7	0,5	39	8,7
Se (ppm)	243	0,5	0,5	0,3	0,5	3	0,5
Sm (ppm)	243	4,4	4,3	1,0	2,4	7,9	4,3
Sn (ppm)	1511	7,1	5	16,1	0,5	299	3,5
Sr (ppm)	1362	135	90	126	10,0	1220	101
Ta (ppm)	243	0,5	0,1	0,6	0,1	2,7	0,3
Tb (ppm)	243	0,5	0,6	0,4	0,1	1,3	0,3
Th (ppm)	1362	9,4	6,6	7,2	1,0	74	7,6
U (ppm)	781	5,2	5	4,4	0,3	40	3,9
V (ppm)	912	114	91	82,8	2,5	1025,03	91,6
W (ppm)	1513	6,4	5	18,8	0,5	387	3,3
Y (ppm)	781	20,3	18	10,3	3,0	107	18,2
Yb (ppm)	243	2,9	2,7	1,1	1,5	10,6	2,7
Zn (ppm)	5905	767	180	4491	0,1	99999	194
Zr (ppm)	781	121	58	142	2,0	1368,83	75,8

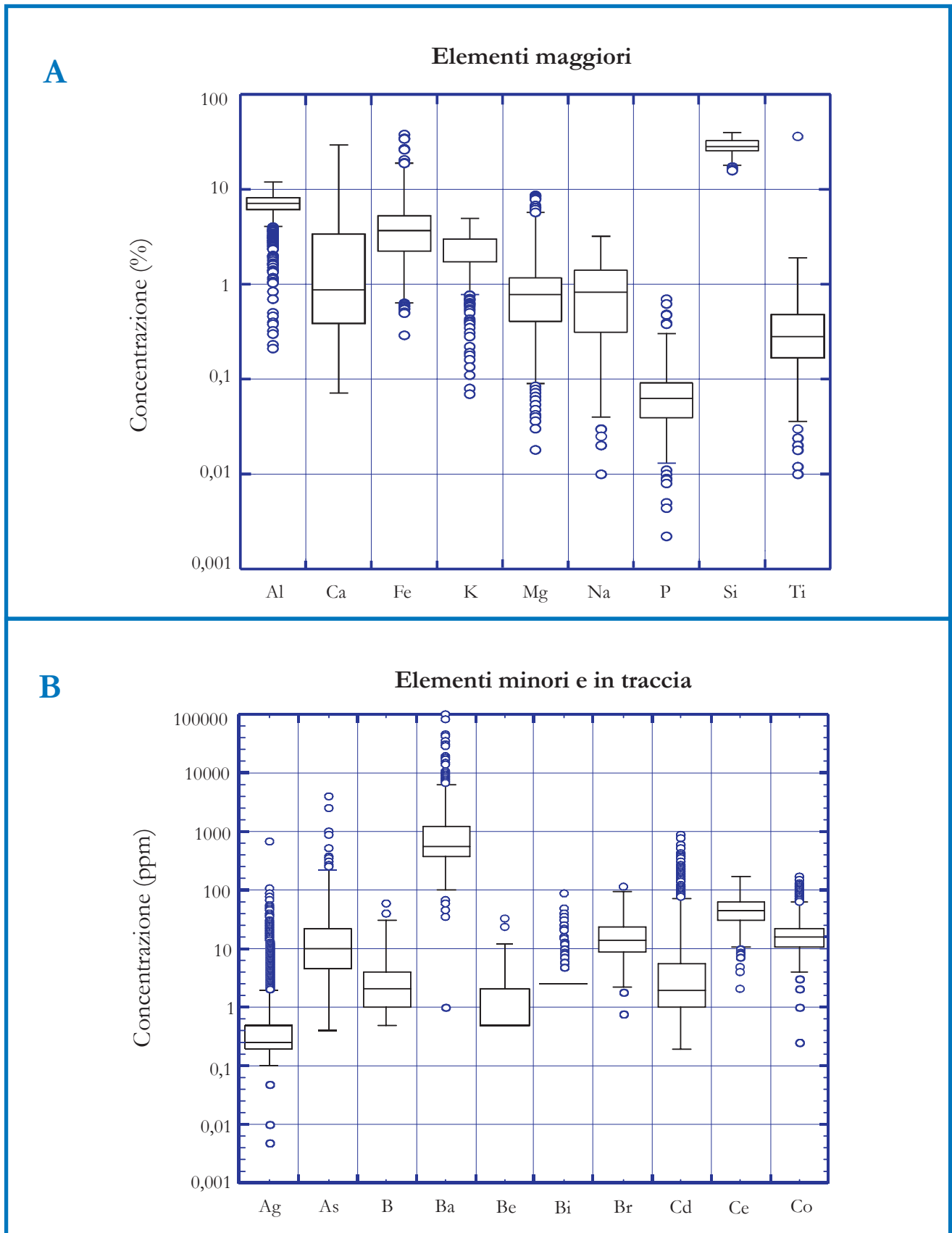


Fig. 2 (A, B) - Box plots dei parametri statistici degli elementi relativi alle determinazioni analitiche dei campioni di sedimenti fluviali del Foglio Cagliari.

A) Elementi maggiori; B) Elementi minori e in traccia.

- Box plots of the element statistical parameters for the analytical data from the Cagliari Sheet stream sediment samples. A) major elements; B) Minor and trace elements.

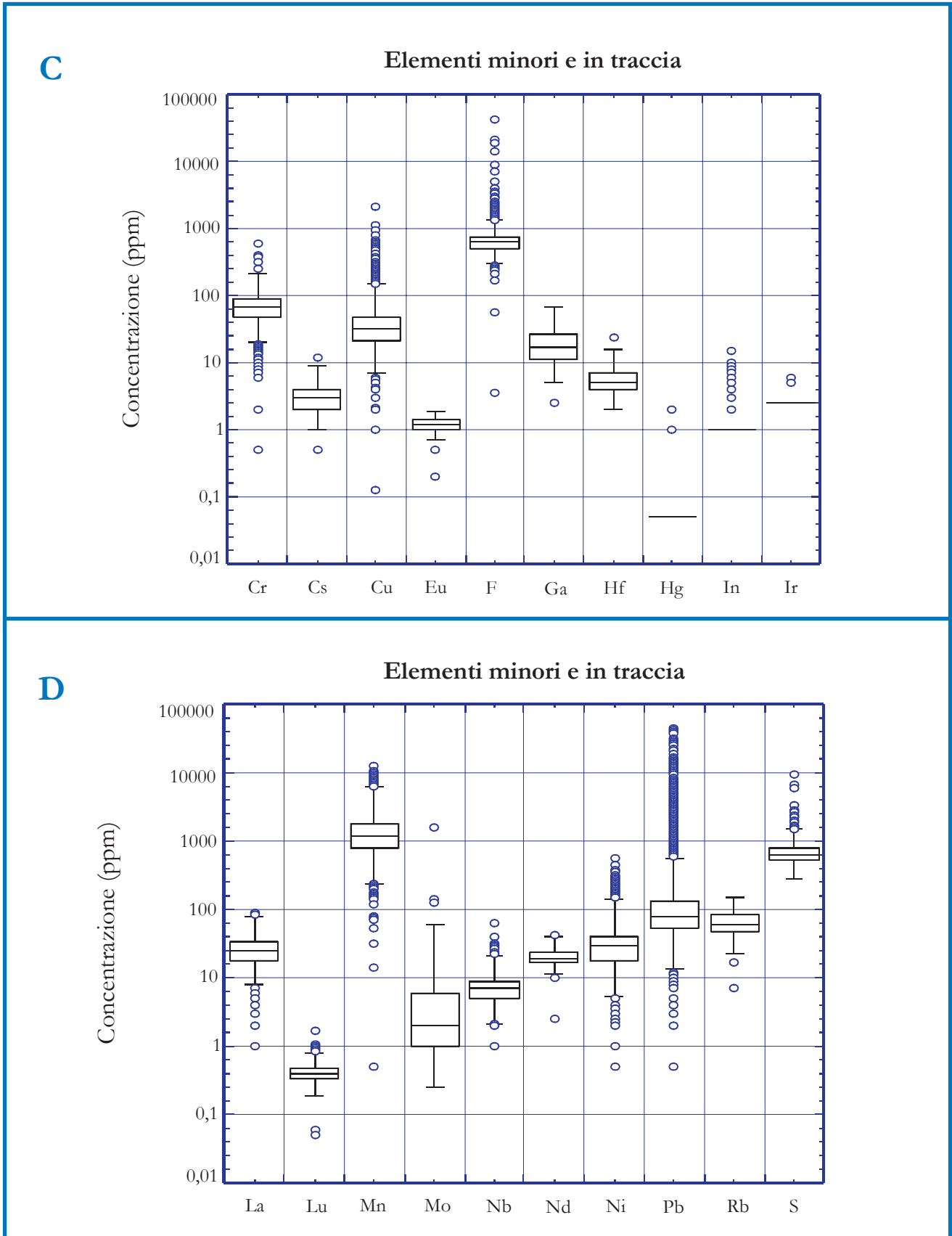


Fig. 2 (C, D) - Box plots dei parametri statistici degli elementi relativi alle determinazioni analitiche dei campioni di sedimenti fluviali del Foglio Cagliari. C, D) Elementi minori e in traccia.

- Box plots of the element statistical parameters for the analytical data from the Cagliari Sheet stream sediment samples. C, D) Minor and trace elements.

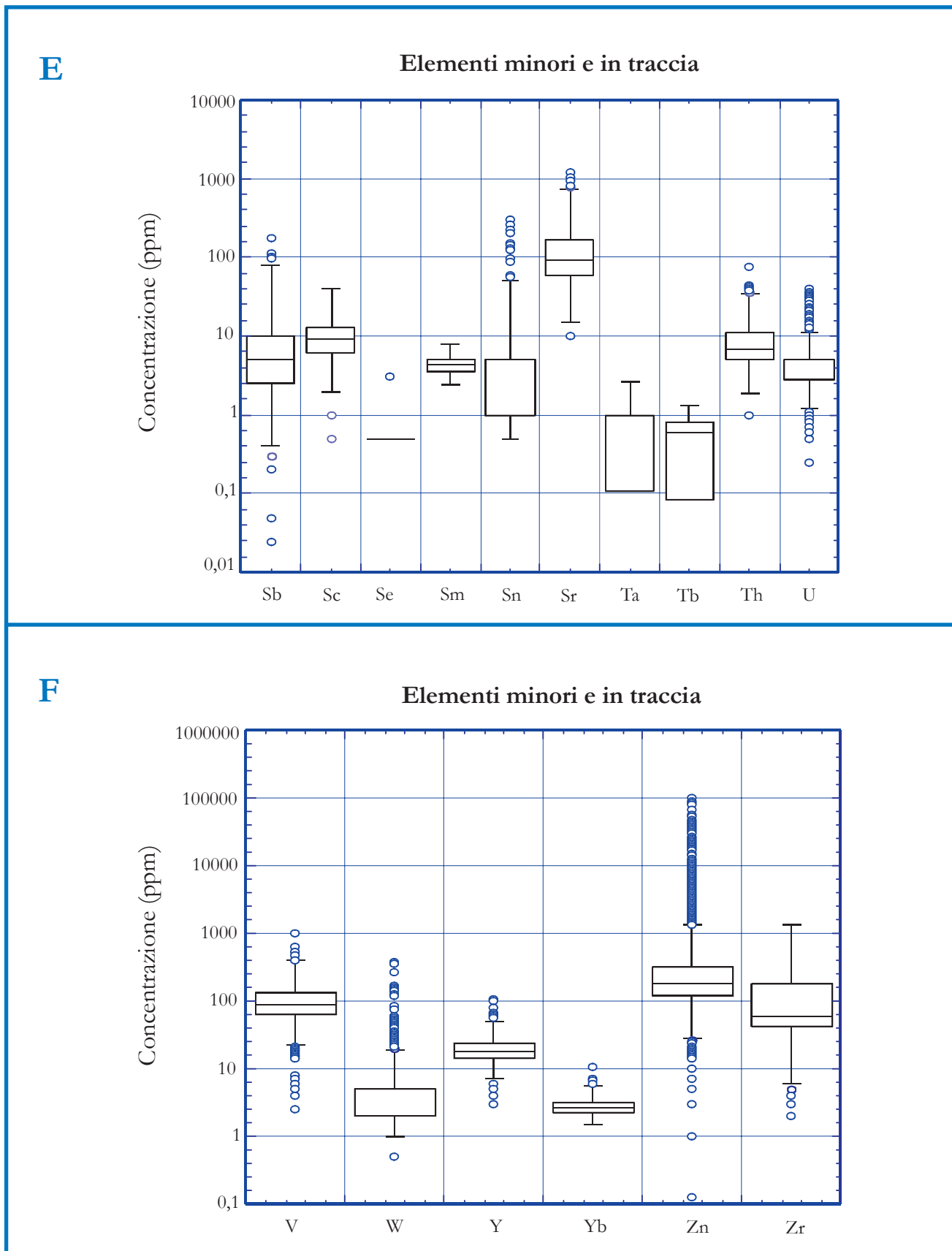


Fig. 2 (E, F) - Box plots dei parametri statistici degli elementi relativi alle determinazioni analitiche dei campioni di sedimenti fluviali del Foglio Cagliari.

E, F) Elementi minori e in traccia.

- Box plots of the element statistical parameters for the analytical data from the Cagliari Sheet stream sediment samples. E, F) Minor and trace elements.

4. - GEOLOGIA

La geologia della Sardegna è largamente dominata da terreni di età paleozoica, in percentuale senz'altro superiore a quella di altre aree della penisola italiana (CARMIGNANI *et alii*, 2001). Il suo assetto strutturale attuale è stato definito per la maggior parte dall'orogenesi Ercinica e dal magmatismo intrusivo ad essa connesso. Le fasi più importanti di tale orogenesi sono: a) la costruzione di un edificio a falde costituito dall'impilamento dei terreni derivanti dal margine continentale del Gondwana; b) il collasso gravitazionale del prisma orogenico collisionale. Il metamorfismo sincinemato ercinico decresce da NE a SW fino a restare nei limiti nell'anchimetamorfismo nelle Zone Esterne della catena (Iglesiente-Sulcis). L'evento di maggiore importanza dello stadio post-collisionale è costituito da una fase di tettonica tensionale che ha portato ad episodi di *overprint* metamorfico LP-HT, alla formazione di *graben* con riempimento molassico e ad intrusioni magmatiche da sin- a post-cinematichiche, costituite da granitoidi di vario tipo (Carbonifero Medio-Superiore).

Seguono come abbondanza le vulcaniti terziarie e quaternarie e le successioni sedimentarie, prevalentemente continentali, delle stesse età, mentre i sedimenti di età mesozoica sono assolutamente subordinati. Nel periodo compreso tra 30 e 13 Ma si verificano in tutta l'isola importanti episodi vulcanici a carattere calcoalcalino, suddivisi in due cicli di attività, il primo caratterizzato da lave e piroclastiti andesitiche ed il secondo da prodotti più acidi costituiti da ignimbriti riolitiche e riocattiche. La localizzazione di tali eventi è

Tab. 3 - *Soglie limite di intervento per sedimenti fluviali utilizzate per il Foglio Cagliari, secondo i criteri di intervento fissati dal Canada e dall'Olanda.*

- Intervention criteria for stream sediments of the Cagliari Sheet taking into account the Canada and Netherland criteria.

Elementi	Olanda	Canada
Cu (ppm)	90	114
Pb (ppm)	530	250
Zn (ppm)	720	80
Ni (ppm)	45	90
As (ppm)	55	33
Cd (ppm)	7,5	10
Cr (ppm)	380	111
Hg (ppm)	1,6	2

generalmente lungo le direzioni tettoniche d'importanza regionale.

Nel basamento paleozoico dell'Iglesiente-Sulcis (Sardegna sud-occidentale) sono presenti il maggior numero di mineralizzazioni metallifere di tutto il territorio italiano. Tracce di coltivazioni per metalli quali Cu e Pb-Ag di epoca pre-Romana erano state già rinvenute in queste aree, dove del resto sono presenti ovunque i resti imponenti di attività minerarie antiche. In queste zone l'inizio della coltivazione con metodi industriali si fa risalire alla metà del diciannovesimo secolo. Mineralizzazioni metalliche, anche se in quantità subordinata, si rinvengono anche nelle aree montuose della Sardegna sud-orientale.

4.1. - LITOLOGIA DEL FOGLIO CAGLIARI

Qui di seguito verrà brevemente delineata la distribuzione dei diversi tipi litologici presenti nella parte meridionale dell'isola (Foglio Cagliari), rimandando per maggiori informazioni sulla geologia di tutta la Sardegna a lavori specifici (BECHSTÄDT & BONI, 1994 e Bibliografia) ed alla descrizione geologica più dettagliata che è stata presentata nell'atlante geochimico, già pubblicato dal Servizio Geologico d'Italia (DE VIVO *et alii*, 1998b).

4.1.1. - *Iglesiente-Sulcis*

In queste aree, tradizionalmente le più importanti d'Italia dal punto di vista minerario, prevalgono i terreni "autoctoni" di età cambro-ordoviciana 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*, 2000), 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 ricche in ferro ("Puddinga" AUCT.), a cui seguono sedimenti marini, anch'essi di natura silicoclastica, da metapeliti a metasiltiti, di età ordoviciana-siluriana (BECHSTÄDT & BONI, 1994). Piccoli affioramenti di calcari fossiliferi siluro-devoniani si riscontrano nella fascia orientale dell'Iglesiente-Sulcis.

Depositi pseudo-flyschoidi in facies di "Culm", ascrivibili al Carbonifero Inferiore, sono presenti nelle aree più meridionali. Corpi intrusivi dell'Ordoviciano Medio (gli "Ortogneiss") affiorano nell'area di Capo Spartivento nel Sulcis.

Nell'Oridda e nel Sulcis affiorano alcune varietà di 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 (BRALIA *et alii*, 1981).

Alle fasi terminali della sedimentazione ercinica sono legati gli sporadici affioramenti continentali del Westfaliano-Autuniano (Formazione di San Giorgio, Iglesias) (DEL RIO & PITTAU, 1999), a cui seguono i cosiddetti "Porfidi" permiani, che compaiono sia come espandimenti e colate, che come filoni a chimismo variabile. Sedimenti permiani, intercalati a vulcaniti, sono presenti in aree limitate a sud di Gonnese (PITTAU *et alii*, 1999).

Mentre i sedimenti mesozoici essenzialmente carbonatici affiorano in aree molto limitate, sia le rocce sedimentarie che le vulcaniti del Terziario sono abbastanza diffuse 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 (Formazione del Cixerri). I depositi vulcanici, a carattere calco-alcalino (da andesiti a rioliti), sono diffusi nella fossa del Cixerri, in quella di Giba-Narcao e nelle due isole di San Pietro e Sant'Antioco.

4.1.2. - *Sarrabus-Gerrei*

È la classica zona delle Falde Esterne con vergenza SW, messe in posto in gran parte durante l'orogenesi ercinica. In tale zona sono compresi per la maggior parte affioramenti paleozoici in facies di scisti verdi. Le successioni affioranti

sono costituite inizialmente (Cambrico Sup.-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. (CARMIGNANI *et alii*, 1994 a,b). 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 (CARMIGNANI *et alii*, 1994). Le successioni filladiche della zona delle Falde Esterne 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 poi rinvenuti depositi flyschoidi di tipo Culm, da ascrivere al Carbonifero Inferiore (BARCA, 1992).

Nella zona più meridionale del Sarrabus sono presenti inoltre estesi affioramenti di granitoidi ercinici calcoalcalini ad alto-K (BROTZU *et alii*, 1994), attraversati da frequenti filoni acidi e basici in cui prevalgono micrograniti e lamprofiri. Localmente sono stati infine rinvenuti limitati affioramenti di corpi monzosienitici intorno a Villasimius, anch'essi attraversati da filoni più tardivi (PIRINU *et alii*, 1996).

I depositi permo-mesozoici sono presenti solo marginalmente nel sud est della Sardegna sotto forma dei cosiddetti "Tacchi" (isolati lembi di successione con andamento orizzontale poggianti in discordanza angolare sul basamento paleozoico). Sedimenti e vulcaniti terziarie (comprendenti sia i tipi andesitici che riolitici) affiorano sulla fascia occidentale dell'area considerata, in prossimità delle linee tettoniche che delimitano il *graben* del Campidano.

Sedimenti plio-pleistocenici, da continentali a marini, con prevalenza di depositi alluvionali sono infine presenti lungo tutto il *graben* del Campidano, e si indentano da un lato con i depositi analoghi che riempiono parte della fossa del Cixerri verso l'Iglesiente, dall'altro con quelli delle aree pianeggianti intorno a Cagliari.

5. - MINERALIZZAZIONI

I corpi minerali economicamente più importanti delle Zone Esterne nelle aree relative al Foglio Cagliari sono *stratabound*, associati ai litotipi del Paleozoico Inferiore. Questi tipi di corpi minerali sono molto subordinati, invece, nelle Falde Esterne.

Altre mineralizzazioni d'importanza economica sono quelle connesse alle intrusioni dei graniti ercinici, dove prevalgono le fasi a leucograniti. Altri corpi minerali filoniani di origine idrotermale di età post-carbonifera, che interessano il basamento, ma lontani dalle intrusioni note, sono estremamente diffusi in tutta la parte meridionale dell'isola ed hanno alimentato nel tempo attività minerarie di entità variabile. I tipi mineralizzati più importanti conosciuti nella Sardegna meridionale sono riportati in tabella 4.

5.1. - IGLESIENTE-SULCIS

In quest'area le mineralizzazioni stratiformi e *stratabound* nei carbonati Cambriani, hanno rivestito la maggior importanza economica in assoluto (1-4-5-6-9-10-11-12-13-21 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 di grezzi. 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, sono in quest'area altri tipi di mineralizzazioni *stratabound*, costituite in prevalenza da barite > galena e situate al contatto trasgressivo tra i carbonati cambriani ed i litotipi dell'Ordoviciano Medio-Superiore (3 in tav. 2), in un'ampia zona di silicizzazione (la cosiddetta "Quarzite") (BONI *et alii*, 1996).

Altri corpi di qualche importanza economica in quest'area sono quelli prossimi alle intrusioni dei graniti ercinici (BONI *et alii*, 1999a). Si tratta di mineralizzazioni in parte di elementi di nuova segregazione, come Sn, Mo-W, As (17-18-36 in tav. 2), rispetto a quelli già noti nel basamento paleozoico (BISTE, 1982), ed altri, quali Zn, Pb-Ag, Cu e Ba, 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 giacimenti filoniani ed a *stockwork* d'importanza variabile.

In prossimità dei graniti ercinici, connesse a fluidi idrotermali di alta temperatura, si rinvennero anche numerose mineralizzazioni a fluorite, con barite subordinata (es. Su Zurfuru, Santa Lucia) tra cui Mont'Ega nel Sulcis (23 in tav. 2), che evidenziano inizialmente anche aree con para-

genesi di metamorfismo di contatto (27 in tav. 2). Tali paragenesi si rinvennero 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 ad Arenas-Tiny (13 in tav. 2), ed in molte aree del Sulcis (24-25-28-29-30 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 (38-39 in tav. 2) ed a Mo (31 in tav. 2), oltre a depositi a feldspato e caolino idrotermale.

Mineralizzazioni di natura epigenetica, con più basse temperature (<200C) ed 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 (10-20 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 (BARCA & COSTAMAGNA, 2000), oggetto di coltivazione a partire dagli anni '30 e di 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 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 (19-33-34 in tav. 2), coltivate fino all'inizio degli anni '70 (COCOZZA *et alii*, 1974). Sempre legate all'idrotermalismo delle vulcaniti terziarie, ma stavolta nelle andesiti oligocene, sono ancora in fase di esplorazione alcune piccole manifestazioni a minerali di Cu, del tipo *Porphyry Copper* (Siliqua, 40 in tav. 2), che talvolta contengono piccole concentrazioni di Au epitermale (FIORI *et alii*, 1998). Indizi di Au epitermale sono noti anche nella zona di Sarroch (35 in tav. 2) e studi preliminari sono stati effettuati nella fossa di Giba, con risultati, tuttavia, ancora incerti.

5.2. - SARRABUS-GERREI

In quest'area prevalgono le mineralizzazioni filoniane e, in minor quantità, quelle apparentemente *stratabound* nei sedimenti ordoviciani-siluriani delle Falde Esterne. Queste ultime sono state

Tab. 4 - *Siti delle principali mineralizzazioni riportate in tavola 2.*
- Main ore sites of Cagliari Sheet as reported in Tav. 2.

Siti	Mineralizzazioni	Siti	Mineralizzazioni	Siti	Mineralizzazioni	Siti	Mineralizzazioni	Siti	Mineralizzazioni
1	Planu Sartu Zn>Pb	15	Sa Duchessa Cu-Zn	29	Santadi Zn-Pb-Cu	43	Terra Mala-S.Miali Pb-Zn-Cu	57	Bau Cicilonis F
2	Malfidano Zn>Pb	16	Marganai Zn-Pb-Cu	30	Teulada Zn-Pb-Cu-Fe	44	Corre Cerbu Py -Cu	58	Bruncu Sa Terra Mala F
3	Segarino-Nanni Frau Pb-Ba	17	Punta Magusu Mo-As	31	Domus De Maria Mo	45	Bruncu Passus F-Pb	59	Monte Liuru F-Pb
4	Candiazus Zn-Py>Pb	18	Cuccurdoni Mannu Sn-W-Pb	32	Capo Teulada Pb	46	Monte Idda Py-Cu	60	Capo Ferrato Caol-(Au?)
5	Acquaresi-Masua Zn-Pb	19	Portoscuso Mn	33	Isola Sant'Antioco Mn	47	Bruncu Sa Tella Ba-F	61	Monte Arbu Pb
6	Nebida Zn-Pb; Ag>Ba	20	Barega-M.Arcau Ba>>Ag	34	Isola San Pietro Mn	48	Tuviois Pb-Ag-Ba-F	62	Angelo Nieddu Pb
7	Antas-Baueddu FeOx>Zn	21	Monte Tasua Pb-Zn-Ag	35	Sarroch Caol-(Au?)	49	Serra S'Ilixi Pb-Ag-Ba-F		
8	Monte Agruxiau Zn-Pb	22	Giueni Pb-Ba	36	Su Seinargiu Mo	50	Tacconis Pb-Ag-Ba-F		
9	Monteponi Pb-Zn	23	Mont'Ega Ba>F-Pb-Zn	37	Monte Crostone Cu-Pb-Zn	51	S'Arcilloni Pb-Ag		
10	San Giovanni Pb-Zn-Ag-Ba	24	Rosas Zn-Pb-Cu	38	Arcu Su Linnarbu U-Th	52	Monte Narba I As		
11	Campo Pisano Py-Zn>Pb	25	Sa Marchesa Zn-Pb-Cu	39	Gutturu Lurdagu U-Th	53	Perda Arba Pb-Ba		
12	Malacalzetta Pb-Ag-Ba	26	Monte Arcosu Nicola Tingiosu Mo-Zn-Cu-Pb	40	Siliqua Cu>Au	54	Monte Narba II Pb-Ag-Ba-F		
13	San Benedetto Zn-Pb-Ag	27	Conca Corrogas Fe	41	San Sperate Caol-(Au?)	55	Baccu Arroddas Pb-Zn-Ag-Cu-Ba		
14	Arenas Pb-Ba-F-Zn-Cu	28	Monte Tamara Zn-Pb-Cu	42	Paiolu Zn-Pb	56	Monte S'Acqua Ba-Pb		

descritte come mineralizzazioni vulcano-sedimentarie ad arsenopirite nelle metarioliti ("Porfiroidi" AUCT.) dell'Ordoviciano Medio (GARBARINO *et alii*, 1989) (44-46-52 in tav. 2). Esse sono comunque ben più abbondanti nelle aree immediatamente a Nord di quelle menzionate e nell'intorno della "Faglia di Villasalto".

Queste mineralizzazioni sono spesso interessate da metamorfismo di contatto indotto dall'intrusione delle magmatiti erciniche, che ne ha causato la modificazione delle paragenesi.

All'interno degli stessi granitoidi, e lungo i contatti tra questi ultimi ed i litotipi a basso metamorfismo delle Falde Esterne, sono presenti in gran numero piccoli corpi di origine idrotermale e geometrie filo-

niane, con paragenesi costituite da galena, fluorite e barite (42-45-47-51-53-57-58-59-61-62 in tav. 2).

Pb e Ag sono stati invece coltivati in condizioni economiche nel cosiddetto "Filone Argentifero" del Sarrabus (43-48-49-50-54-55 in tav. 2), un'ampia fascia di fratture ben delineate che, benché interrotta più volte, si estende in direzione all'incirca Est-Ovest dalla zona costiera di Baccu Arroddas sino ad ovest di Punta Serpeddi.

Infine, connesse alle manifestazioni dell'alterazione idrotermale ben più recente, 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 (FIORI *et alii*, 1994). Benchè i corpi mineralizzati di maggiore importanza siano stati rinvenuti più a nord dell'area interessata dal Foglio Cagliari (es. Miniera di Furtei), alcune situazioni che presentano possibili analogie geologiche e geochemiche con quelle menzionate si localizzano nell'intorno di una manifestazione a caolinite derivata dall'alterazione idrotermale di vulcaniti trachitiche plioceniche a Capo Ferrato (60 in tav. 2) ed a Monte Oladri (Monastir) (41 in tav. 2), sul bordo orientale della fossa del Campidano.

6. - DISTRIBUZIONE GEOCHIMICA DEGLI ELEMENTI

I parametri statistici dei singoli elementi chimici, riportati nella tabella 2, sono rappresentati sinteticamente dai *box-plots* (fig. 2). Di seguito viene illustrata la distribuzione regionale delle concentrazioni per singolo elemento.

6.1. - AFNIO (Hf)

L'afnio è stato analizzato per un numero molto limitato di campioni (243) provenienti da due aree: l'area fra Carbonia, Santadi e Monte Arcosu e l'area a nord di Capo di Pula. Le concentrazioni maggiori (>15 ppm - percentile 95) si riscontrano a sud di Carbonia e ad ovest di Santadi, in corrispondenza di vulcaniti calco-alcaline (da andesiti a rioliti oligo-mioceniche). I bassi valori (<4,7 ppm - percentile 25) cadono in corrispondenza di andesiti basaltiche ad affinità calco-alcalina (tav. 3).

6.2. - ALLUMINIO (Al)

I più alti valori dell'alluminio (> 8,88 % - percentile 95) nell'Iglesiente-Sulcis, sono localizzati a ridosso di Monte Arcosu e ad est di Monte S. Mii, in corrispondenza di metasiltiti e metareniti, con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metapeliti (Ordoviciano Medio-Carbonifero Inferiore). Inoltre si hanno valori alti nell'Isola di S. Antioco, in corrispondenza di andesiti basaltiche e basalti ad affinità calco-alcalina (Oligocene - Miocene), e subordinatamente anche in vulcaniti di analoga natura nella fossa di Giba. Valori medi anche a Sarroch e sul litorale di Capoterra. Nel Sarrabus gli alti valori sono localizzati nelle granodioriti a nord-ovest e nord-est di Capo Carbonara, e nella zona al confine nord del Foglio (est

di Dolianova e nord di Monte Liuru), in corrispondenza di metareniti, quarziti e metaconglomerati dell'Unità di Genna Argiolas. La distribuzione dei bassi valori (< 4,77 % - percentile 10) è prevalente nell'Iglesiente carbonatico e nella zona del Campidano a nord-ovest di Cagliari (tav. 4).

6.3. - ANTIMONIO (Sb)

I più alti valori dell'antimonio (>27 ppm - percentile 99) si riscontrano essenzialmente nell'Iglesiente, ad ovest, nord-ovest e nord di Iglesias. Essi ricadono generalmente nel Gruppo di Gonnese, composto da calcari e dolomie del Cambriano Inferiore con mineralizzazioni a Pb-Zn. Tali valori sono da mettere in relazione con i solfosali di deposizione tardiva (post-Ercinica) che sono spesso associati ai depositi a solfuri. Un alto anomalo si riscontra appena ad est del paese di Narcao, nel Sulcis, che può essere messo in relazione con le discariche e gli impianti della miniera di Rosas. Alti valori si riscontrano anche in prossimità di Capo Altano (possibile anomalia antropica, dovuta alla presenza di un impianto metallurgico a Porto Vesme) e nell'isola di San Pietro, in corrispondenza di vulcaniti (comenditi) ad affinità calco-alcalina, ove l'accumulo anomalo è presumibilmente ricollegabile alle mineralizzazioni esalative infracalderiche di Capo Becco-Capo Rosso. Il Sulcis e l'Orida sono caratterizzati da valori essenzialmente bassi (<4,2 ppm - percentile 50), con l'eccezione dell'intorno della miniera di Arenas, in cui sono presenti parageneisi a *skarn* e solfuri retrogradi. I valori bassi sono fra Carbonia e Santadi (andesiti e andesiti basaltiche ad affinità tholeitica e calco-alcalina), a nord di Capo Teulada (leucograniti e granodioriti del Carbonifero Superiore), a nord di Capo di Pula (andesiti e andesiti basaltiche) e a Monte Miniminni (granodiorite tonalitiche) nel Sarrabus. In questa ultima regione gli alti valori presenti si riscontrano in un'area che si estende da Monte Sette Fratelli in direzione nord-est, in corrispondenza della fascia con manifestazioni a Pb-Zn-Ba-F, associata ai dicchi ("Diabase" AUCT) che tagliano i leucograniti del Carbonifero Superiore (tav. 5).

6.4. - ARGENTO (Ag)

L'argento mostra, come l'antimonio, una distribuzione degli alti valori (>5,8 ppm - percentile 95) essenzialmente ad ovest ed a nord di Iglesias in corrispondenza del Gruppo di Gonnese (calca-

ri e dolomie del Cambriano Inferiore). A queste litologie sono infatti prevalentemente legate sia anomalie ad Ag associate alle galene pre-erciniche (300 gr/tonn. di concentrato di galena), che vere e proprie concentrazioni economiche, almeno in passato: le cosiddette mineralizzazioni “Ricchi Argento” (post-erciniche), che potevano raggiungere tenori fino ad alcuni kg di Ag/tonn. di grezzo. Altre isolate aree di alti valori si riscontrano a sud di Capo Altano (impianto metallurgico di Porto Vesme), fra Monte San Miai e Monte Arcosu (discariche e impianti di Rosas), ad est di Decimomannu. Complessivamente il Sulcis e l’Oridda sono caratterizzati da concentrazioni di bassi valori (<0,3 ppm - percentile 50) (tav. 6). Nel Sarrabus i valori sono prevalentemente bassi, con alcune eccezioni a nord di Dolianova, ove sono conosciuti filoni a Ba + Pb, e nell’intorno della vecchia miniera di Monte Narba.

6.5. - ARSENICO (As)

L’arsenico mostra una distribuzione di valori abbastanza simile a quella dell’antimonio. Gli alti valori (>66 ppm - percentile 90), fino ad un massimo di 3951 ppm, individuano molto bene la base del Gruppo di Gonnese. L’As è infatti legato essenzialmente alle piriti che abbondano nelle mineralizzazioni *stratabound* (Sedex) alla base della dolomitica Formazione di Santa Barbara. Anche per l’arsenico si riscontrano alti valori nella porzione occidentale dell’isola di San Pietro e a nord di Santadi, in presenza di vulcaniti calco-alcaline oligo-mioceniche (rioliti, daciti e riodaciti) e fra Monte Arcosu e Monte San Miai, corrispondenti allo stesso valore anomalo in Sb e Ag. Di particolare rilievo è il controllo litologico esercitato sulla distribuzione dell’arsenico dalle andesiti e andesiti basaltiche oligo-mioceniche fra Carbonia e Santadi. I valori molto bassi (<3,8 ppm) dell’arsenico mostrano infatti quasi una perfetta corrispondenza con i limiti di queste litologie (tav. 7). Il Sarrabus è interessato essenzialmente da una distribuzione di bassi valori (>8,4 ppm - percentile 50).

6.6. - BARIO (Ba)

I valori elevati (> 3374 ppm - percentile 90) del bario mostrano un notevole controllo litologico, in quanto fanno da *marker* per i Gruppi di Nebida (metarenarie e metadolomie), Gonnese (metacalcari e metadolomie) e di Iglesias (argilloscisti, metacalcari, metasiltiti) del Cambriano - Ordoviciano Inferiore, intorno a Iglesias e Carbonia. I valori più elevati (>8243 ppm - percentile 99) caratterizzano

essenzialmente gli affioramenti del Gruppo di Gonnese. Essi sono dovuti soprattutto all’abbondante barite in vene, filoni e cemento di breccie presente in questo Gruppo. Alti valori si riscontrano anche nelle isole di San Pietro e Sant’Antioco e nella Valle del Cixerri, dove alta è la percentuale dei granuli di barite detritica, proveniente dai rilievi circostanti. Il Sulcis orientale e il Sarrabus sono caratterizzati da una quasi uniforme distribuzione di bassi valori (<568 ppm - percentile 50) (tav. 8).

6.7. - BERILLIO (Be)

Le concentrazioni di berillio sono state determinate solo per 538 campioni. I valori sono quasi uniformemente bassi (<0,5 ppm - percentile 50). Alti valori si riscontrano a ridosso e a nord di Iglesias in corrispondenza delle formazioni Cambriane - Ordoviciane. Un singolo valore molto alto ad Arenas individua il leucogranito dell’Oridda. Alti valori si riscontrano altresì nell’isola di San Pietro in corrispondenza di sequenze vulcaniche calco-alcaline oligo-mioceniche (rioliti, daciti e riodaciti); a nord-ovest di Capoterra e a sud di Punta Sa Cresa (nei leucograniti del Carbonifero Superiore). Nel Sarrabus valori mediamente alti (fra 1,6 e 2,7 ppm - percentili 90 e 95), anch’essi legati ai leucograniti, si riscontrano lungo una fascia che si estende da est di Maracalagonis a Capo Ferrato (tav. 9).

6.8. - BISMUTO (Bi)

Il bismuto è stato determinato per 669 campioni. I valori sono uniformemente bassi su gran parte del territorio (< 2,5 ppm - percentile 75). Alti valori (>5,8 ppm - percentile 95) si registrano nella valle di Iglesias, immediatamente a NE della città e nella valle di Acquaresi, in corrispondenza delle litologie del Gruppo di Gonnese ed inoltre a sud di Capo Altano (impianto metallurgico di Porto Vesme). Valori analoghi sono presenti anche, in una fascia allungata nord est - sud ovest, fra Monte San Miai e Monte Arcosu nel Sulcis.

Tali aree sono geologicamente corrispondenti ad una fascia in cui i litotipi silico-clastici Cambro-Ordoviciani sono stati trasformati in cornubianiti ad opera dei leucograniti ercinici. Lo stesso si può dire per il massimo riscontrato a nord di Capoterra, dove i leucograniti intrudono le formazioni alloctone del “post-Gotlandiano”.

A nord-ovest di Cagliari vi sono deboli arricchimenti anche nei depositi alluvionali, forse legati anche alle discariche della laveria di Assemini, che tratta i grezzi (Pb-F) della miniera di Silius (tav. 10).

6.9. - BORO (B)

Il boro è stato determinato in aree molto limitate per solo 520 campioni. I valori più elevati (>20 ppm - percentile 95) si riscontrano a ridosso di Punta Maxia nei leucograniti del Carbonifero Superiore (tav. 11).

6.10. - BROMO (Br)

Il bromo è stato determinato solo per 243 campioni nell'area ad est di Carbonia e intorno a Sarroch. I valori più elevati (> 40 ppm - percentile 99) si riscontrano a sud e ad est di Carbonia, in corrispondenza di depositi marini e continentali terziari (tav. 12).

6.11. - CADMIO (Cd)

La distribuzione del cadmio (come quella del bario) è fortemente controllata dalle litologie, facendo essenzialmente da *marker* per i Gruppi di Gonnese e Nebida. I valori più elevati (>60 ppm - percentile 95) contraddistinguono in particolare il Gruppo di Gonnese. Gli alti valori di cadmio, essendo legati a quelli dello zinco, sono indicativi delle mineralizzazioni a blenda *stratabound* che caratterizzano i carbonati del Gruppo di Gonnese. Altri alti valori si riscontrano a sud di Capo Altano (impianto metallurgico di Porto Vesme) e a est di Narcao (miniera di Rosas) (tav. 13). Per quello che riguarda il Sarrabus, una fascia di valori intorno ai 15 ppm caratterizza la zona del "Culm", in cui sono presenti mineralizzazioni filoniane a solfuri, Ba e F.

6.12. - CALCIO (Ca)

Il calcio mostra una distribuzione di alti valori (>9,9 % - percentile 95) essenzialmente nella zona a nord di Cagliari, in corrispondenza di successioni di depositi continentali e marini (da Miocene Inferiore a Plio-Pleistocene). Altri alti valori si riscontrano intorno a Iglesias, a Santadi, nell'isola di S. Antioco dove in parte sono giustificati dalla presenza di calcari mesozoici ed in parte da abbondanti plagioclasti calcici nelle vulcaniti, e a sud di Capo Altano (impianto metallurgico di Porto Vesme). Il Sarrabus, in cui sono estremamente scarse le rocce carbonatiche, è caratterizzato in modo molto uniforme da una distribuzione di bassi valori (<2,28 % - percentile 50) (tav. 14).

6.13. - CERIO (Ce)

Il cerio è stato determinato solo per 846 campioni. La più grossa concentrazione di valori elevati (>103 ppm - percentile 99) si riscontra nel Sarrabus, in corrispondenza delle rocce clastiche del Carbonifero Inferiore. Altri alti valori si riscontrano nel Sulcis (Punta Maxia e Santadi) (tav. 15).

6.14. - CESIO (Cs)

Il cesio è stato determinato solo per 243 campioni nell'area di Carbonia e a nord di Sarroch. Valori elevati (>6,7 ppm - percentile 99) si riscontrano a ridosso di Carbonia e Santadi, zone in cui le litologie dei Gruppi di Gonnese e Nebida vengono a contatto con le vulcaniti oligoceniche (tav. 16).

6.15. - COBALTO (Co)

Il cobalto registra valori omogeneamente bassi (<12 ppm - percentile 50) sia nell'Iglesiente-Sulcis che nel Sarrabus meridionale. I valori elevati (>26, fino a 170 ppm - percentile 95) si riscontrano in aree ben delimitate: nel Sarrabus, nella fascia allungata da ovest ad est, al limite del Foglio, in corrispondenza di metavulcaniti basiche alcaline intercalate in metarenarie, quarziti e filladi del Carbonifero Inferiore (facies "Culm") e all'interno dei terreni cambro-ordoviciani delle "Arenarie di San Vito": la corrispondenza fra anomalie geochimiche e affioramenti litologici è quasi perfetta. C'è ancora da ricordare che subito a nord di questa formazione corre la fascia del "Filone Argentifero" in cui sono notoriamente presenti minerali nichel-cobaltiferi. I valori sono alti anche nell'Iglesiente-Sulcis: a nord-est di "Punta San Michele", a nord-ovest e a sud-est di "Monte Arcosu", in corrispondenza di metavulcaniti basiche e metatufiti, intercalate a metasiltiti e metarenarie del Caradoc-Ashgill; in una fascia che si estende da Punta Sa Cresia verso nord-est, in corrispondenza di metasiltiti, metarenarie e metapeliti del Carbonifero Inferiore e metavulcaniti basiche e metatufiti del Caradoc-Ashgill; a nord di Capo Spartivento-Capo Malfatano, nelle litologie basali del Cambriano Inferiore (tav. 17).

6.16. - CROMO (Cr)

Il cromo mostra una distribuzione che per alcune aree è del tutto simile a quella del cobal-

to. Come il cobalto mostra una distribuzione di alti valori (>115 ppm - percentile 99) nel Sarrabus, al limite settentrionale del Foglio in corrispondenza di metavulcaniti basiche alcaline intercalate in metarenarie, quarziti e filladi del Carbonifero Inferiore. Mostra la stessa distribuzione del cobalto anche nell'area a nord-est di Punta San Michele e a nord-ovest e sud di Monte Arcosu. Diversamente dal cobalto, il cromo individua nettamente una fascia con alti valori che si estende, nel Sulcis, da Capo Malfatano (Capo Spartivento) fino all'altezza di Monte Arcosu. La corrispondenza fra distribuzione di anomalie del cromo e gli affioramenti del Gruppo di Nebida nel Sulcis è talmente marcata che le anomalie stesse assumono il significato di *marker* geochimico-litologico (tav. 18).

6.17. - EUROPIO (Eu)

Le concentrazioni di europio sono state determinate solo per 243 campioni nell'area compresa fra Carbonia e Santadi, e nell'area intorno Sarroch. Valori elevati (>1,5 ppm - percentile 90) vengono evidenziati intorno a Santadi e in una fascia estesa da Carbonia fino ad ovest di Santadi. I valori più elevati corrispondono per lo più a rioliti, daciti e riolaciti, mentre quelli moderatamente elevati ad andesiti ed andesiti basaltiche (tav. 19).

6.18. - FERRO (Fe)

Nell'Iglesiente-Sulcis le concentrazioni più elevate del ferro si riscontrano in prevalenza intorno ad Iglesias (ferro dei cappellacci) ed a sud-est di Carbonia. Intorno ad Iglesias gli alti valori (>13,18 % - percentile 99) ricadono per lo più nei Gruppi di Cabitza (argilloscisti, metarenarie e metacalcari) e di Gonnesa (metacalcari e metadolomie), mentre a sud-est di Carbonia, ricadono in prevalenza in corrispondenza delle andesiti e andesiti basaltiche oligo-mioceniche. Ad est di Monte San Miaz valori >6,61 % ricadono in metasiltiti e metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufiti. Alti valori si ritrovano anche nelle isole di San Pietro e Sant'Antioco (vulcaniti oligo-mioceniche e ocre di Capo Becco-Capo Rosso) ed a nord-ovest di Capoterra (drenaggio di lenti di *skarn* a magnetite).

Nel Sarrabus una concentrazione di alti valori ricade in metarenarie, quarziti, filladi e metaconglomerati del Carbonifero Inferiore, lungo il limite nord del Foglio, a nord-est di Burcei (tav. 20).

6.19. - FLUORO (F)

La distribuzione del fluoro assume un carattere *marker* per alcune Formazioni geologiche. In particolare questo è molto evidente per le Formazioni al top del Gruppo di Nebida e per quelle alla base di quello di Gonnesa. A nord-ovest di Iglesias infatti gli alti valori del fluoro (>1017 ppm - percentile 95) bordano il limite tra queste due Formazioni, con una prevalenza di valori più alti nei carbonati di Gonnesa. Questo si verifica anche immediatamente a nord e ad est di Carbonia. Ad est di Santadi gli alti valori ricadono sia nel Gruppo di Gonnesa che in quello di Cabitza. Nel Sarrabus una fascia di alti valori si riscontra nella zona al limite nord del Foglio in metarenarie, quarziti, e filladi del Carbonifero Inferiore (tav. 21), ove subito a nord di questa Formazione corre la fascia del "Filone Argentifero" in cui sono presenti minerali di bario e fluoro.

6.20. - FOSFORO (P)

I valori più elevati del fosforo (>0,39 % - percentile 99) si riscontrano per lo più nella zona a nord e est di Cagliari, prevalentemente in depositi di spiaggia e terrazzi alluvionali plio-pleistocenici o in depositi continentali e marini del Miocene Superiore. È possibile attribuire a questi valori una origine antropogenica (fertilizzanti?). Alti valori si riscontrano fra Carbonia e Santadi (fossa di Giba), ad est di Iglesias (valle del Cixerri) e a nord di Sarroch, in prevalenza sempre in depositi di spiaggia e terrazzi alluvionali plio-pleistocenici (tav. 22). Anche in queste zone l'origine del fosforo si suppone essere antropogenica.

6.21. - GALLIO (Ga)

Il gallio è stato analizzato solo in 581 campioni. I valori più elevati (>45 ppm - percentile 99) si registrano a sud-ovest di Monte Arcosu nei litotipi della Formazione di Cabitza (argilloscisti, metarenarie, metacalcari) del Cambriano-Ordoviciano Inferiore. Alti valori di più bassa entità sono stati registrati: ad est di Monte San Miaz nella fascia di contatto che marca il sovrascorrimento tra la Formazione di San Vito e l'autoctono del Caradoc-Ashgill (metasiltiti e metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufiti) ed a nord-est di Burcei nel Sarrabus, associato alle successioni in facies "Culm" del Carbonifero Inferiore (metareniti, quarziti, filladi e metavulcaniti basiche alcaline, con mineralizzazioni a solfuri) (tav. 23).

6.22. - INDIO (In)

Le concentrazioni di indio sono state determinate per 581 elementi. Valori elevati (>3,2 ppm - percentile 99) si registrano nel Sarrabus, a nord-est di Burcei nella successione del Carbonifero Inferiore (metareniti, quarziti, filladi e metavulcaniti basiche alcaline), in cui sono presenti mineralizzazioni a solfuri. Le altre aree investigate presentano valori uniformemente bassi (<10 ppm - percentile 90) (tav. 24).

6.23. - IRIDIO (Ir)

L'iridio è stato determinato in 243 campioni. I valori più alti si registrano a sud di Carbonia (fossa di Giba) in corrispondenza di andesiti basaltiche oligo-mioceniche ad affinità tholeitica (tav. 25).

6.24 - ITTERBIO (Yb)

L'itterbio è stato determinato in 781 campioni in aree ben delimitate. Gli alti valori (>6,1 ppm - percentile 99) ricadono ad ovest di Santadi in corrispondenza delle fasi riolitiche, dacitiche e riolodacitiche del vulcanismo oligo-miocenico (tav. 26).

6.25. - ITTRIO (Y)

L'ittrio è stato determinato in 781 campioni, distribuiti su quasi tutta l'area investigata. I valori alti (>78 ppm - percentile 99) ricadono quasi esclusivamente nei leucograniti del Complesso plutonico ercinico, sia nel Sulcis che nel Sarrabus. Questo è il caso delle aree a sud di Punta Sa Cresia, a nord di Punta Maxia (nel Sulcis), ad est di Sinnai, a ridosso di Monte Sette Fratelli e ad ovest di Monte Liuru (nel Sarrabus). Alti valori si registrano anche nelle comenditi oligo-mioceniche dell'isola di San Pietro. Valori più bassi (<78 ppm - percentile 95) vengono registrati nelle altre litologie magmatiche presenti nel Foglio: essenzialmente nelle granodioriti tonalitiche nel Sarrabus e nell'intorno del leucogranito dell'Oridda (tav. 27).

6.26. - LANTANIO (La)

Le concentrazioni elevate (>63 - percentile 99) di lantanio ricadono prevalentemente nel Sarrabus nel Complesso plutonico del Carbonifero Superiore. In particolare si segnalano le

aree ad est di Sinnai e di Monte Sette Fratelli (leucograniti equigranulari), a ridosso di Capo Ferrato (granodioriti monzogranitiche inequigranulari), la fascia a ridosso di Capo Carbonara (granodioriti e tonaliti). Nell'Iglesiente si riscontrano alti valori a sud di Vallermosa in rioliti, daciti e riolodaciti oligo-mioceniche; nel Sulcis, a sud di Monte Arcosu e Punta Sa Cresia nei leucograniti equigranulari. Alti valori si registrano anche nell'isola di San Pietro nelle comenditi oligo-mioceniche (tav. 28).

6.27. - LUTEZIO (Lu)

Il lutezio è stato determinato solo per 243 campioni. La distribuzione dei valori è del tutto simile a quella dell'itterbio, con alti valori (>0,9 ppm - percentile 99) ad ovest di Santadi, in corrispondenza di rioliti, daciti e riolodaciti oligo-mioceniche (tav. 29).

6.28. - MAGNESIO (Mg)

Il magnesio, determinato in 1362 campioni, su quasi tutta l'area investigata, caratterizza in modo distintivo il Gruppo di Gonnesa per quel che riguarda la distribuzione degli alti valori (>2,88 % - percentile 99). Questo si verifica in modo nettissimo ad ovest e a nord di Iglesias; a sud-ovest di Santadi e a sud di Teulada nel Sulcis. Ciò si deve, in tali aree, alla presenza di ampie zone dolomitizzate, sia alla base dei carbonati del Gruppo di Gonnesa (Formazione di Santa Barbara, o "Dolomie Rigate"), che nelle zone in cui sono presenti le dolomie epigenetiche che sostituiscono i calcari Cambriani (Dolomia Geodica, Dolomia Gialla). Il Sarrabus, viceversa, è caratterizzato quasi uniformemente da una distribuzione di bassi valori (<0,79 % - percentile 50) in considerazione dei diffusi affioramenti del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore.

Ugualmente, nel Sulcis orientale, in corrispondenza delle stesse litologie intrusive (fra Capoterra e Punta Maxia; ad ovest del capo di Pula), sono presenti valori di Mg estremamente bassi (tav. 30).

6.29. - MANGANESE (Mn)

Il manganese è stato determinato su 5149 campioni a copertura dell'intero Foglio Cagliari. La gran parte del Foglio è interessata da una distribuzione di bassi valori (<1152 ppm - percentile 50). I valori elevati si riscontrano quasi esclusivamente nell'area a nord di Iglesias nelle litologie dei Gruppi di Gonnesa, Nebida e Iglesias. I valori più

alti sono comunque prevalenti nei carbonati del Gruppo di Gonnese, e potrebbero essere legati all'alterazione delle dolomie epigenetiche ferromanganesifere ed alla presenza di numerosi capellacci, più o meno rimaneggiati dalle coltivazioni minerarie. Altri valori più circoscritti, vengono riscontrati a sud di Vallermosa e nell'isola di San Pietro nelle comendite oligo-mioceniche, in cui sono presenti anche mineralizzazioni manganesifere in passato di una certa importanza economica. Altre anomalie positive si osservano: ad ovest di Monte Arcosu (Formazione di Cabitza), in alcune aree isolate a nord-ovest di Capoterra e nel Sarrabus (sud di Dolianova, est di Cagliari e di Monte Miniminni) (tav. 31).

6.30. - MERCURIO (Hg)

Il mercurio è stato determinato per solo 243 campioni in aree ben delimitate della fossa di Giba ed a Sarroch. I valori sono uniformemente bassi, fatta eccezione per i valori sporadici più alti (>0,4 ppm - percentile 99) che si riscontrano a sud di Carbonia in corrispondenza di affioramenti di andesiti e andesiti basaltiche oligo-mioceniche (probabilmente alterate idrotermalmente) della fossa di Giba (tav. 32).

6.31. - MOLIBDENO (Mo)

Le concentrazioni del molibdeno sono state determinate in 5409 campioni, che coprono quasi interamente il territorio del Foglio Cagliari. I valori bassi (<1,6 ppm - percentile 50) assumono carattere *marker* per i Gruppi di Iglesias, Gonnese e Nebida nell'Iglesiente-Sulcis; i valori minimi <0,7 ppm (percentile 5), caratterizzano in modo distintivo l'area della fossa di Giba e dell'intorno di Sarroch (per lo più in corrispondenza di andesiti e andesiti basaltiche oligo-mioceniche) oltre che la fascia ad ovest di Capo Teulada (per lo più in relazione a leucograniti equigranulari) e delle isole di San Pietro e Sant'Antioco. Ugualmente in tutto il Sarrabus meridionale, caratterizzato da estesi affioramenti del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore, si riscontrano valori <1 ppm (percentile 25). I valori alti vengono riscontrati in diversi tipi litologici, benché i più marcati siano quelli a nord-est di Capo Spartivento (>17 fino a 1560 ppm) anche stavolta in presenza di litologie granitiche e specialmente delle mineralizzazioni molibdenifere, parzialmente esplorate, di M. Corilla a sud-ovest del Capo di Pula. Altre aree di alti valori, nel Sulcis-Iglesiente, vengono regi-

strate: a nord di Iglesias (leucogranito d'Oridda); a nord-est di Punta Maxia (leucograniti equigranulari) ed in una serie di anomalie marcate varie mineralizzazioni a molibdeno, da est di M. Arcosu (Nicola Tingiosu) a nord di Sarroch (Su Seinargiu-Flumini Binu), a nord di Teulada (silicoclastiti del Gruppo di Nebida) ed infine fra Monte San Mii e Monte Arcosu (negli scisti della Formazione di Cabitza metamorfosati per contatto). I valori riscontrati in quest'ultima località sono da mettere in relazione con le discariche e gli impianti della miniera di Rosas. Nel Sarrabus gli alti valori vengono individuati lungo la fascia estesa da ovest ad est, al limite nord del Foglio (metarenarie, filladi e metavulcaniti basiche alcaline del Carbonifero Inferiore in facies "Culm"), con mineralizzazioni a solfuri) (tav. 33).

6.32. - NEODIMIO (Nd)

Il neodimio è stato determinato solo per 243 campioni nell'area a sud-est di Carbonia (fossa di Giba) e intorno a Sarroch. I valori alti (>28 ppm - percentile 95) si registrano in bacini che drenano vulcaniti calco-alcaline oligo-mioceniche (rioliti, daciti, riodaciti, andesiti e andesiti basaltiche) (tav. 34).

6.33. - NICHEL (Ni)

Il nichel mostra una distribuzione molto simile a quella del cromo. Come il cromo infatti, nel Sulcis, alti valori (compresi fra 51 e 78 ppm - percentili 95 e 99) individuano una fascia che si estende da Capo Malfatano (Capo Spartivento) fino ad ovest di Monte Arcosu. Per lo più questi valori sono da attribuirsi sia alle arenarie del Gruppo di Nebida (Cambriano Inferiore), attraversate da filoni di porfidi e metabasiti, che alle intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatuffi contenute nelle metarenarie e metasiltiti del Caradoc-Ashgill. Una notevole concentrazione di elevati valori (>156 ppm) si registra nel Sulcis, ad ovest di Sarroch, nelle alternanze di quarziti, metarenarie, metapeliti, metasiltiti, metaconglomerati e brecce del Carbonifero Inferiore (facies "Culm"). Nel Sarrabus, come per il cromo, una fascia di alti valori viene registrata al limite nord del Foglio, in corrispondenza di analoghe litologie composte da metavulcaniti basiche alcaline intercalate in metarenarie, quarziti e filladi del Carbonifero Inferiore. Viceversa tutto il Sarrabus, interessato dagli estesi affioramenti granitici del Carbonifero, è caratterizzato da valori bassi (<24

ppm - percentile 50). Nel Sulcis la corrispondenza di bassi valori (<15 ppm - percentile 25) con i leucograniti del Complesso plutonico assume carattere di *marker* litologico (ovest di Teulada; fra Capo Spartivento, Punta Sa Cresia e Capo di Pula; ad ovest di Capoterra) (tav. 35).

6.34. - NIOBIO (Nb)

Il niobio è stato determinato solo per 781 campioni. Si registra, in generale, una distribuzione di valori bassi (<7 ppm - percentile 50), in particolare, nell'Iglesiente, nelle litologie Cambriche.

I valori elevati (>29 ppm - percentile 99) vengono individuati essenzialmente nelle vulcaniti oligo-mioceniche a sud e ad ovest di Carbonia, e soprattutto nelle isole di San Pietro e Sant'Antioco. Valori moderatamente alti (fra 20 e 29 ppm) vengono individuati, nel Sulcis, nei leucograniti del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore (sud di Punta Sa Cresia e nord di Punta Maxia) e nel Sarrabus (ad est del Monte Sette Fratelli e ad ovest ed est di Monte Liuru, nelle granodioriti monzogranitiche) (tav. 36).

6.35. - PIOMBO (Pb)

Il piombo è stato determinato per 5965 campioni a copertura dell'intero Foglio Cagliari. Gran parte del Sulcis (dove prevalgono le plutoniti erciniche e le vulcaniti oligo-mioceniche) è interessato da una distribuzione di valori bassi (<45 ppm - percentile 25). I valori sensibilmente elevati (>3051 ppm - percentile 95) si registrano nell'Iglesiente, dove assumono un carattere di *marker* litologico per l'intera successione Pre-Ordoviciano Medio (litologie dei Gruppi di Nebida, Gonnese e Iglesias). È infatti nelle prime due di queste litologie che sono presenti le maggiori concentrazioni di piombo nelle galene delle mineralizzazioni *stratabound* ed in quelle filoniane, mentre nella terza, ed in genere in tutta questa zona, che sono concentrate le discariche delle miniere dismesse, alcune delle quali hanno ridistribuito il loro contenuto in metalli in un areale molto esteso. Valori elevati vengono individuati anche ad ovest di Monte Arcosu nella Formazione degli scisti di Cabitza (miniera di Rosas) (tav. 37). Nel Sarrabus, valori superiori alle 600 ppm sono stati riscontrati nella fascia corrispondente alla facies "Culm", in cui sono presenti abbondanti mineralizzazioni a solfuri mentre il valore anomalo presso Decimomannu sembra legato alle discariche del già citato impianto di Assemini.

6.36. - POTASSIO (K)

Il potassio è stato determinato per 1362 campioni. I valori alti (>3,85 % - percentile 99) vengono registrati nel Sulcis in corrispondenza del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore (fra Capo Spartivento e Capo di Pula e nella fascia a nord-est di Punta Maxia: leucograniti equigranulari). Tali valori potrebbero essere legati ad alterazioni idrotermali potassiche (sericitizzazione), associate a tali graniti. Isolati alti valori sono registrati ad est di Capo Altano in vulcaniti oligo-mioceniche. Nel Sarrabus, moderati alti valori (fra 3,34 e 3,85 %) vengono individuati sempre in corrispondenza delle plutoniti erciniche, e del loro contatto con le facies silico-clastiche del Carbonifero (limite nord del Foglio; est di Sinnai; sud-est di Monte Miniminni; sud e nord-est di Monte Sette Fratelli; nord-ovest di Monte Liuru) (tav. 38).

6.37. - RAME (Cu)

Il rame è stato determinato per 5905 campioni a copertura dell'intero territorio del Foglio Cagliari. I valori elevati nell'Iglesiente (>353 ppm - percentile 99) si riscontrano quasi esclusivamente in corrispondenza delle lavorazioni minerarie ospitate nei litotipi del Gruppo di Gonnese (in particolare a nord di Iglesias, al limite del Foglio, ove cade la miniera di rame di Sa Duchessa; a sud-est di Monte San Mias e a nord di Santadi, in corrispondenza della miniera di Rosas). A sud di Capo Altano isolati alti valori sono da attribuire alla presenza di impianti metallurgici (Porto Vesme). Nel Sulcis, gli alti valori rappresentano un carattere *marker* della Formazione di Pala Manna (quarziti, metarenarie, metapeliti, metasiltiti, metaconglomerati e breccie) del Carbonifero Inferiore a nord - est di Punta Sa Cresia. Alti valori si riscontrano anche ad ovest di Punta Maxia, nei carbonati di Gonnese. In generale, valori alti in rame sia nell'Iglesiente, che nel Sulcis, sono legati alle mineralizzazioni cuprifere presenti nelle aree metamorfiche per contatto, situate tra i graniti e le formazioni paleozoiche (*skarn* e filoni di alta temperatura). Nel Sarrabus, alti valori si riscontrano nella Formazione di Pala Manna (metareniti, quarziti, filladi, metaconglomerati, metavulcaniti basiche alcaline con associate mineralizzazioni a solfuri) al limite nord del Foglio, ove, si ricorda, corre la fascia del "Filone Argentifero". Gli isolati alti valori che si riscontrano a nord - ovest di Cagliari, nel Campidano, per lo più in depositi quaternari, hanno probabilmente una origine antropogenica (uso di prodotti chimici in agricoltura, presenza

della laveria di Assemini). La distribuzione dei valori bassi (<17 ppm - percentile 25) assume un carattere *marker* per gli affioramenti del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore - Permiano, in tutto il Sarrabus meridionale e nel Sulcis (a sud di Punta Sa Cresia; a nord - est di Punta Maxia; ad ovest di Teulada). Bassi valori caratterizzano anche le vulcaniti oligo - mioceniche del Sulcis occidentale (tav. 39).

6.38. - RUBIDIO (Rb)

Il rubidio è stato determinato solo per 243 campioni dalle aree a sud - est di Carbonia e intorno a Sarroch. Entrambi le aree sono caratterizzate per lo più da una distribuzione di bassi valori (< 68 ppm - percentile 50). Isolati alti valori si riscontrano in presenza di particolari litotipi delle vulcaniti oligo - mioceniche (rioliti, daciti e riodaciti) (tav. 40).

6.39. - SAMARIO (Sm)

Il samario è stato determinato, come il rubidio, per 243 campioni delle aree a sud - est di Carbonia ed intorno a Sarroch. L'andamento dei valori segue, grosso modo, la stessa distribuzione del rubidio. Gli isolati alti valori (>7 ppm) sono sempre da attribuirsi alla presenza di vulcaniti oligo - mioceniche (tav. 41).

6.40. - SCANDIO (Sc)

Lo scandio è stato determinato per 781 campioni. La distribuzione di alti valori (>21 ppm - percentile 99) assume un chiaro carattere *marker* litologico per gli affioramenti di andesiti e andesiti basaltiche oligo-mioceniche della fossa di Giba, fra Carbonia e Santadi e intorno a Santadi. Alti valori si riscontrano anche intorno a Sarroch. Isolati alti valori vengono registrati anche nel Sarrabus meridionale (ovest di Capo Carbonara) (tav. 42).

6.41. - SELENIO (Se)

Il selenio è stato determinato solo per 243 campioni dell'area a sud - est di Carbonia e intorno a Sarroch. I valori sono uniformemente bassi (<0,5 ppm - percentile 90), fatta eccezione per tre isolati alti valori (> 1,3 ppm - percentile 99), a sud di Carbonia, in corrispondenza di andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche (tav. 43).

6.42. - SILICIO (Si)

Il silicio è stato determinato per 824 campioni. I valori alti (>34, 2 % - percentile 90) caratterizzano, nel Sulcis, le aree di affioramento dei corpi intrusivi del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore (nord - est di Punta Maxia e sud di Punta Sa Cresia). Le altre aree campionate risultano caratterizzate da valori bassi (< 27,3 % - percentile 50) (tav. 44).

6.43. - SODIO (Na)

Il sodio è stato determinato per 1362 campioni su di una campionatura distribuita abbastanza omogeneamente su tutto il territorio del Foglio. Sia i valori alti che quelli bassi assumono il significato di *marker* litologici alquanto caratteristici. I valori alti (>2,21 % - percentile 95) caratterizzano infatti esclusivamente gli affioramenti dei corpi intrusivi del Complesso plutonico ercinico in tutto il Sarrabus meridionale e nel Sulcis (nord-est di Punta Maxia, sud di Punta Sa Cresia; ovest di Teulada). Essi sono sicuramente dovuti sia al Na contenuto nel feldspati primari che in quelli di alterazione. Alti valori si riscontrano anche nelle isole di San Pietro e Sant'Antioco nelle vulcaniti (rioliti, daciti, riodaciti) oligo - mioceniche. I valori bassi viceversa (<0,52 % - percentile 25) assumono carattere *marker* per gli affioramenti delle formazioni autoctone Cambro-Ordoviciane delle "Zone Esterne", ad ovest di Iglesias e fra Monte San Mias e Monte Arcosu (tav. 45).

6.44. - STAGNO (Sn)

Lo stagno è stato determinato per 1511 campioni distribuiti su quasi tutto il territorio del Foglio. La distribuzione dei valori molto bassi (<0,6 ppm - percentile 5) assume un marcato carattere di *marker* litologico per gli affioramenti di andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche a sud-est di Carbonia e intorno a Sarroch. Valori comunque bassi (< 3 ppm - percentile 50) caratterizzano in modo distintivo, nell'Iglesiente, gli affioramenti delle formazioni Cambro-Ordoviciane. I valori da mediamente alti ad alti (>12 ppm - percentile 90) caratterizzano, nel Sarrabus, nel Sulcis e nell'Iglesiente, gli affioramenti di corpi intrusivi del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore, o delle aree immediatamente a contatto. I valori più elevati si riscontrano comunque ad ovest di Punta Sa Cresia, a nord - ovest di Capoterra nelle alluvioni del Rio S. Lucia; a nord-

est di Iglesias (al limite del Foglio), nei leucograniti equigranulari dell'Oridda, non lontano dalle mineralizzazioni stannifere di Perdu Cara, poco a nord del limite del Foglio (tav. 46).

6.45. - STRONZIO (Sr)

Lo stronzio è stato determinato per 1362 campioni a copertura quasi dell'intero territorio del Foglio. I valori molto bassi (<72 ppm - percentile 15) caratterizzano molto distintamente gli affioramenti di leucograniti equigranulari sia nel Sulcis - Iglesiente (sud di Punta Sa Cresia; nord - est di Punta Maxia) che nel Sarrabus (fascia a nord di Monte Sette Fratelli). Il Sarrabus meridionale, laddove prevalgono granodioriti monzogranitiche è caratterizzato da valori compresi fra 130 e 314 ppm (percentili 50 - 75). Gli alti valori (>397 ppm - percentile 95) si riscontrano, per lo più in conglomerati, sabbie e argille (terrazzi e conoidi) plio - pleistocenici nel Campidano, a nord e sud - ovest di Vallermosa e in una fascia fra Dolianova e Cagliari, nel Sulcis, nella piana del Cixerri.

Le andesiti e andesiti basaltiche a sud - est di Carbonia, intorno a Sarroch e nell'isola di Sant'Antioco, sono caratterizzate da una distribuzione di valori mediamente compresa fra 203 e 397 ppm (percentili 75 e 95) (tav. 47).

6.46. - TANTALIO (Ta)

Il tantalio è stato determinato solo per 243 campioni nell'area a sud - est di Carbonia e intorno a Sarroch. I valori, per lo più in corrispondenza delle andesiti e andesiti basaltiche sono prevalentemente medio - bassi (<0,5 ppm - percentile 50); in corrispondenza invece delle rioliti, daciti e riodaciti si riscontrano invece valori più alti (>1,3 ppm - percentile 95) (tav. 48).

6.47. - TERBIO (Tb)

Il terbio, come il tantalio è stato determinato solo per 243 campioni. La sua distribuzione di valori segue un andamento simile a quella del tantalio (tav. 49).

6.48. - TITANIO (Ti)

Il titanio è stato determinato per 1362 campioni distribuiti su quasi l'intero territorio del Foglio. La distribuzione dei valori assume carattere di *marker*

litologico sia per i valori alti che bassi. I valori alti (>0,63 % - percentile 95) caratterizzano in modo netto gli affioramenti di andesiti e andesiti basaltiche a sud-est di Carbonia, intorno a Sarroch e nell'isola di Sant'Antioco. Gli alti valori che si riscontrano nel Sarrabus, sono da attribuirsi, oltre che alle metavulcaniti basiche alcaline nella Formazione di Pala Manna, anche alla presenza, nella medesima formazione, di livelli di paleoplacers ricchi in minerali di titanio. Di incerta attribuzione litologica sono invece gli isolati alti valori a nord-ovest di Capo Carbonara (spiagge a minerali residuali) e a Punta Maxia. I valori molto bassi (<0,16 % - percentile 15) assumono carattere *marker* per i leucograniti equigranulari a nord-est di Punta Maxia e sud di Punta Sa Cresia.

Ugualmente distintivi sono i valori che caratterizzano le formazioni Cambro-Ordoviciane dell'Iglesiente (< 0,26 % - percentile 50) (tav. 50).

6.49. - TORIO (Th)

Il torio è stato determinato per 1362 campioni distribuiti su quasi l'intero territorio del Foglio. I valori alti (>29 ppm - percentile 95) ricadono in corrispondenza dei corpi intrusivi del Complesso plutonico (leucograniti, granodioriti monzogranitiche) del Sarrabus (fascia da est di Sinnai a Capo Ferrato) e del Sulcis (ad ovest di Capoterra; a nord-est di Punta Maxia; sud di Punta Sa Cresia). Nel Sulcis sono note anche piccole mineralizzazioni a uranio contenenti anche torio. Le litologie cambro-ordoviciane, così come le andesiti e andesiti basaltiche dell'Iglesiente sono viceversa caratterizzate da valori bassi (<9 ppm - percentile 50) (tav. 51).

6.50. - URANIO (U)

L'uranio è stato determinato per 781 campioni. L'uranio in generale mostra lo stesso andamento generale del torio, con i valori alti (>19 ppm - percentile 95) ricadenti sempre in corrispondenza dei corpi intrusivi del Complesso plutonico sia nel Sarrabus che nel Sulcis meridionale. In alcuni casi, come quelli a nord-ovest di Capoterra e a ovest di Monte Arcosu, le anomalie sono ospitate entro alluvioni provenienti da aree fortemente indiziate, ma non interessate direttamente da campionature. I valori molto bassi (<3 ppm - percentile 10) assumono un deciso carattere *marker* per le andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche a sud - est di Carbonia e intorno a Sarroch. Le litologie del Cambro-Ordoviciano dell'Iglesiente, hanno valori medi intorno a 12 ppm (percentile 90) (tav. 52).

6.51. - VANADIO (V)

Il vanadio è stato determinato per 912 campioni. La sua distribuzione è del tutto simile a quella del titanio, con gli alti valori (>209 ppm - percentile 95) ricadenti esclusivamente in corrispondenza delle andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche (sud - est di Carbonia; intorno a Sarroch; isola di Sant'Antioco meridionale). Sia il Sarrabus che l'Iglesiente sono invece interessati da valori uniformemente bassi (<69 ppm - percentile 50) (tav. 53).

6.52. - WOLFRAMIO (W)

Il wolframio è stato determinato per 1513 campioni. Isolati alti valori (>140 ppm - percentile 99) vengono registrati nell'Iglesiente nord-orientale, in prossimità del granito d'Oridda, in vicinanza delle note manifestazioni wolframifere del Monte Linas poco a nord del limite del Foglio ed in altre aree, quali: quella fra Monte San Miaz e Monte Arcosu (skarn a scheelite di Rosas-Sa Marchesa), ed quella a nord-ovest di Capoterra (alluvioni del Rio S. Lucia). Alti valori si registrano anche a sud di Punta Sa Cresia nei leucograniti del Complesso plutonico. Assume invece un assoluto carattere di *marker* litologico la distribuzione di bassi valori (<0,9 ppm - percentile 5) nella fossa di Giba e intorno a Sarroch, in corrispondenza degli affioramenti di andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche, mentre gli alti valori, sempre nella fossa di Giba a nord-est di Santadi, dovrebbero essere, piuttosto, associati a livelli clastici miocenici. Tutto il resto del territorio è caratterizzato da valori mediamente intorno al percentile 50 (2 ppm) (tav. 54).

6.53. - ZINCO (ZN)

Lo zinco è stato determinato per 5905 campioni, a copertura dell'intero territorio del Foglio. La distribuzione dei valori, sia alti che bassi, assume carattere *marker* per alcune litologie. I valori da elevati ad elevatissimi (>3939 fino a 99999 ppm - percentile 95) ricadono, nell'Iglesiente, esclusivamente in corrispondenza degli affioramenti delle litologie Cambro-Ordoviciane del Gruppo di Cabitza (argilloscisti, metarenarie, metacalcari e metasiltiti) e di Gonnese (metacalcari e metadolomie). Ciò è dovuto alla presenza nel territorio dell'Iglesiente di innumerevoli zone di estrazione, sia per la blenda che per i minerali ossidati di zinco (le "Calamine"), a cui sono associate disca-

riche e bacini dei materiali di risulta, mentre sono sempre evidenti gli alti valori corrispondenti alla miniera di Rosas (est di Monte Arcosu) e agli impianti metallurgici di Porto Vesme (sud-est di Capo Altano). I valori molto bassi (<99 ppm - percentile 25) individuano nettamente gli affioramenti dei corpi intrusivi del Complesso plutonico del Carbonifero Superiore, sia nel Sulcis che nel Sarrabus. Ugualmente interessati da valori bassi sono il *graben* del Campidano e l'isola di Sant'Antioco. Tutto il resto del territorio è interessato da valori compresi fra 153 e 664 ppm (percentili 50 e 75) (tav. 55).

6.54. - Zirconio (Zr)

Lo zirconio è stato determinato per 781 campioni. Lo zirconio ha una distribuzione di valori molto simile a quella del titanio e del vanadio, con gli alti valori (>294 ppm - percentile 95) ricadenti esclusivamente nelle aree a sud-est di Carbonia (fossa di Giba) e intorno a Sarroch, in corrispondenza prevalentemente di vulcaniti oligo - mioceniche (andesiti e andesiti basaltiche). L'Iglesiente e il Sarrabus sono caratterizzati da valori bassi (<49 ppm - percentile 50) (tav. 56).

6.55. - ZOLFO (S)

Lo zolfo è stato determinato solo per 243 campioni nelle aree a sud - est di Carbonia e intorno a Sarroch. La distribuzione dei valori è normalmente bassa (<675 ppm - percentile 50), fatta eccezione per alcune isolate aree a sud e ad est di Carbonia (tav. 57).

7. - CARTE DELLA RADIOATTIVITÀ

La radioattività è stata misurata con lo scintillometro portatile Scintrex GRS-500 (tab. 5).

7.1. - RADIOATTIVITÀ ²³⁸U

I valori più elevati (> 8.82 MeV - percentile 95) della radioattività di cui è responsabile l'²³⁸U, cadono essenzialmente nel Sulcis. Essi assumono un carattere *marker* per gli affioramenti di leucograniti equigranulari compresi tra Mt. Arcosu, Capoterra e Pt. Naxia e fra P.ta Sa Cresia e Capo Spartivento. Nel Sarrabus, sempre in corrispondenza dei leucograniti equigranulari valori elevati sono individuati fra Ninnai, Burchi e Mt. Sette Fratelli. Valori generalmente bassi

Tab. 5 - Parametri strumentali delle misure di radioattività in 682 siti (Scintrex GRS-500).

- Instrument parameters from 682 sites radioactivity measurements (Scintrex GRS-500).

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

(<3.25 MeV - percentile 15) vengono registrati sull'Iglesiente e nell'area a ridosso e a sud-est di Carbonia, (tav. 58).

7.2. - RADIOATTIVITÀ ^{40}K

La distribuzione della radioattività del ^{40}K riproduce sostanzialmente la distribuzione della radioattività dell' ^{238}U . Anche per il ^{40}K i valori elevati (>16 MeV - percentile 99) cadono essenzialmente nel Sulcis, in corrispondenza dei leucograniti equigranulari compresi fra Capoterra, Monte Arcosu e Pt. Naxia e fra Pt. Sa Cresia e Capo Spartivento. Nel Sarrabus, oltre all'area compresa fra Burchi e Ninnai individuata dalla radioattività dell' ^{238}U , alti valori sono individuati a est di Mt. Sette Fratelli, sempre in corrispondenza dei leucograniti equigranulari e a sud-ovest di Mt. Minniminni, in corrispondenza di granodioriti monzogranitiche iniquigranulari. La distribuzione dei valori bassi del ^{40}K (<4.39 MeV - percentile 15), come per l' ^{238}U , cade prevalentemente nell'Iglesiente e nell'area di Carbonia (tav. 59).

7.3. - RADIOATTIVITÀ ^{232}Th

I valori elevati della radioattività del ^{232}Th (>3.69 MeV - percentile 95) sono distribuiti prevalentemente nella fascia che si estende da Domus Novas a Capoterra, in corrispondenza perlopiù di depositi alluvionali (bacini del Rio Cixerri, Rio S. Lucia, in particolare ad ovest ed est di Siliqua). Questo si spiega naturalmente con il

fatto che il Th è presente in minerali resistenti all'alterazione e quindi contrariamente alla radioattività dell' ^{238}U , tende a concentrarsi residualmente nelle zone a valle, rispetto alle zone sorgenti granitiche (tav. 60).

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

La distribuzione dei valori elevati (>190 MeV - percentile 95) della radioattività totale, ha un andamento del tutto simile a quella dell' ^{238}U e del ^{40}K . I valori elevati in particolare assumono un nettissimo carattere *marker* per gli affioramenti di leucograniti equigranulari compresi fra Mt. Arcosu, Capoterra, Pt. Maxia e Sarroch.

Ugualmente sono individuati, anche se meno marcatamente, i leucograniti equigranulari a sud di Pt. Sa Crisia. Nel Sarrabus gli elevati valori sono individuati fra Ninnai, Burcei e Mt. Sette Fratelli (tav. 61).

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

Anche per le radiazioni >0.08 MeV (radioattività totale), i valori elevati (>647 MeV - percentile 95) individuano con caratteri *marker* i leucograniti equigranulari fra Capoterra, Mt. Arcosu, Pt. Maxia e Sarroch; i leucograniti a sud di Pt. Sa Cresia nel Sarrabus e i leucograniti fra Burcei, Ninnai e Mt. Sette Fratelli (tav. 62).

8. - DISTRIBUZIONE DEI FACTOR SCORES DELLE ASSOCIAZIONI FATTORIALI

L'analisi fattoriale è stata eseguita su due *files* di dati: 1) - un *file* dati di 5965 campioni contenente 11 variabili (Ag, Co, Cr, Cu, F, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Zn); 2) - un *file* dati di 1362 campioni contenente 19 variabili (Ag, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, F, La, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Th, V, Zn, W).

La tabella dei modelli fattoriali fa ritenere, per il *file* 1, come rappresentativo dei processi litologici, minerogenetici e dell'ambiente superficiale, il modello fattoriale 3 (tab. 6), che è responsabile del 70,4 % della variabilità dei dati. Per il *file* 2 (tab. 7) è stato prescelto come rappresentativo il modello fattoriale 4, responsabile del 75,9 % della variabilità dei dati. Per la determinazione delle associazioni di elementi costituenti il modelli fattoriali 3 e 4 dei *files* 1 e 2 si sono considerati come significativi i valori con *loadings* > |0.5|. Le associazioni

Elementi	Fattori		
	1 Ni-Co-Cu-Cr-F-Zn-Mn-Pb	2 Ag-Pb-Sb-Zn	3 Mo
Mo (ppm)	0.128	0.134	0.875
Cu (ppm)	0.876	0.237	0.007
Pb (ppm)	0.524	0.673	-0.281
Zn (ppm)	0.728	0.543	-0.193
Ag (ppm)	0.63	0.785	0.139
Ni (ppm)	0.913	0.011	0.064
Co (ppm)	0.892	-0.058	0.063
Mn (ppm)	0.534	0.229	-0.087
Sb (ppm)	0.024	0.554	0.368
Cr (ppm)	0.835	0.047	0.215
F (ppm)	0.769	0.222	0.059
Varianza %			
Totale dati	65.68	23.54	10.78

Tab. 6 - *Modelli fattoriali dell'analisi fattoriale di 5965 campioni (11 variabili) di sedimenti fluviali del Foglio Cagliari.*

- Factor models from 5965 data file (11 variables) Cagliari Sheet stream sediments.

del modello 3 del *file* 1 sono F1: Ni-Co-Cu-Cr-F-Zn-Mn-Pb; F2: Ag-Pb-Sb-Zn; F3: Mo. Le associazioni risultanti dal modello fattoriale 4 del *file* 2 sono G1: Pb-Ag-Zn-Sb-Ba-Cu(-V); G2: Mo-W-Sn-Cr(-Sr); G3: Co-Ni-Mn-Cu; G4: Th-La.

Per la rappresentazione della distribuzione dei valori dei *factor scores* delle singole associazioni fattoriali è stato utilizzato il metodo del *kriging*. Le figure 3 e 4 mostrano i *box plots* dei *factor scores* delle associazioni fattoriali prescelte per i *files* 1 e 2.

8.1. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE F1: Ni-Co-Cu-Cr-F-Zn-Mn-Pb

L'associazione F1, responsabile del 65.68 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0.91, 0.89, 0.88, 0.83, 0.77, 0.73, 0.53 e 0.52 rispettivamente per Ni, Co, Cu, Cr, F, Zn, Mn e Pb. La distribuzione dei *factor scores* (tav. 63) mostra che i valori più alti (>0,64 - percentile 95) cadono lungo una fascia che si estende da Capo Malfatano (Capo Spartivento) fino ad ovest di Monte Arcosu, con un andamento del tutto simile a quello dell'elemento dominante dell'associazione fattoriale, il nickel (vedi tav. 35). Gli alti valori dell'associazione hanno una chiara origine formazionale (arenarie del Gruppo di Nebida - Cambriano Inferiore - attraversate da filoni di porfidi e metabasiti; intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufiti nelle metarenarie e metasiltiti del Caradoc - Ashgill). Un'altra concentrazione di alti valori si riscontra, nel Sulcis, ad ovest di Sarroch in alternanze di quarziti, metarenarie,

metapeliti, metasiltiti, metaconglomerati e breccie del Carbonifero Inferiore (facies "Culm").

Nell'Iglesiente alti valori si riscontrano a nord di Punta San Michele in metasiltiti e metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufiti (Caradoc - Ashgill) e nella Formazione di Cabitza. Nel Sarrabus, alti valori si riscontrano al limite nord del Foglio, in corrispondenza di litologie composte da metavulcaniti basiche alcaline intercalate in metarenarie, quarziti e filladi del Carbonifero Inferiore. I valori più bassi (<-0,94 - percentile 15) dell'associazione cadono sia nel Sulcis che nel Sarrabus in corrispondenza dei leucograniti del Complesso plutonico (ovest di Teulada; sud di Punta Sa Cresia; sud-ovest di Capoterra).

8.2. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE F2: Ag-Pb-Sb-Zn

L'associazione fattoriale F2, responsabile del 23.54 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0.78, 0.63, 0.55 e 0.54 rispettivamente per Ag, Pb, Sb e Zn. La distribuzione dei valori elevati (>3,26 - percentile 99) dei *factor scores* (tav. 64) assume un carattere assolutamente distintivo sia per le litologie (Gruppi di Iglesias e Gonnese) che per la presenza delle mineralizzazioni, nell'Iglesiente, a sud-ovest, ovest, nord-ovest e nord di Iglesias e nel Sulcis a sud-est di Monte San Mias (miniera di Rosas). I valori bassi (<- 0,48 - percentile 15) cadono prevalentemente, nel Sulcis, lungo la fascia caratterizzata da alti valori dell'associazione fattoriale F1.

8.3. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE F3: Mo

L'associazione fattoriale F3, responsabile del 10.78 % della variabilità totale dei dati con *loadings* di 0.87 per il Mo, è praticamente determinata da solo questo ultimo elemento. La distribuzione dei valori dei *factor scores* (>1,27 - percentile 99) (tav. 65) più marcati viene individuata prevalentemente, nel Sulcis, nei leucograniti dell'area compresa fra Capo di Pula e Capo Spartivento; a nord-est di Punta Maxia e ad ovest di Capoterra. I valori bassi (<-1.0 - percentile 10) caratterizzano con carattere *marker* i Gruppi di Iglesias, Gonnese e Nebida nell'Iglesiente-Sulcis; valori minimi sono anche distintivi dell'area della fossa di Giba e intorno a Sarroch (andesiti e andesiti basaltiche oligo-mioceniche) e dell'area ad ovest di Capo Teulada (leucograniti equigranulari).

8.4. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE G1: Pb-Ag-Zn-Sb-Ba-Cu-(-V)

L'associazione fattoriale G1 responsabile del 52.23 % della variabilità totale dei dati presenta *loadings* di 0.89, 0.85, 0.84, 0.74, 0.69, 0.56 e (-0.67), rispettivamente per Pb, Ag, Zn, Sb, Ba, Cu e (-V). Come per l'associazione fattoriale F2, la distribuzione degli alti *factor scores* (>1,65 - percentile 95) di questa associazione (tav. 66) assume un carattere *marker* per le litologie dei gruppi di Iglesias e Gonnese e per le mineralizzazioni in esse albergate. I valori bassi (<-0,51 - percentile 15) assumono viceversa un carattere di *marker* negativo per le andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche a sud-est di Carbonia e intorno a Sarroch. Hanno ugualmente valori bassi di *factor scores* i leucograniti fra Capo Spartivento e Capo di Pula e a nord-est di Punta Maxia.

Tab. 7 - Modelli fattoriali dell'analisi fattoriale di 1362 campioni (19 variabili) di sedimenti fluviali del Foglio Cagliari.
- Factor models from 1362 data file (19 variables) Cagliari Sheet stream sediments.

Elementi	Fattori			
	1 Pb-Ag-Zn-Sb-Ba-Cu-(-V)	2 Mo-W-Sn-Cr-(-Sr)	3 Co-Ni-Mn-Cu	4 Th-La
Mo (ppm)	-0,001	0,801	-0,05	-0,296
Cu (ppm)	0,561	-0,094	0,664	0,024
Pb (ppm)	0,888	-0,116	0,327	-0,078
Zn (ppm)	0,841	-0,174	0,414	-0,06
Ag (ppm)	0,853	0,202	0,18	-0,171
Ni (ppm)	0,244	0,128	0,835	0,23
Co (ppm)	-0,02	-0,072	0,914	0,007
Mn (ppm)	0,23	-0,303	0,709	-0,027
Th (ppm)	-0,213	0,152	-0,165	0,809
Sr (ppm)	0,196	-0,712	0,26	-0,014
Cd (ppm)	0,488	-0,437	0,413	-0,365
Sb (ppm)	0,74	0,494	-0,058	0,012
	-0,67	-0,08	0,389	-0,278
La (ppm)	-0,009	-0,176	0,423	0,735
Cr (ppm)	0,228	0,503	0,352	-0,001
Ba (ppm)	0,687	-0,197	0,397	-0,018
	0,16	0,785	-0,08	0,033
Sn (ppm)	-0,092	0,724	-0,124	0,071
	0,18	-0,306	0,445	0,467
Varianza %				
	52,23	21,71	15,68	10,38

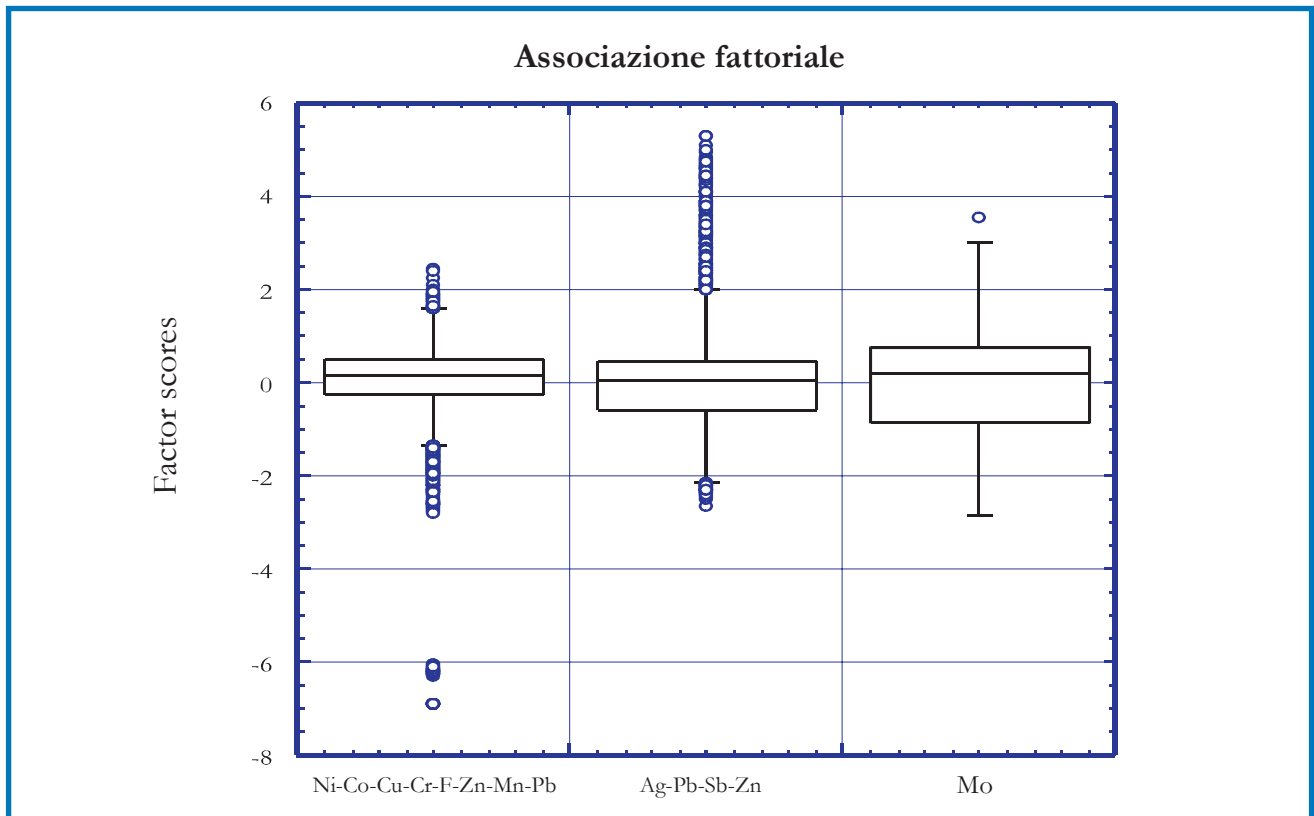


Fig. 3 - Box plots dei factor scores (11 variabili) delle associazioni fattoriali del file di 5965 campioni di sedimenti fluviali del Foglio Cagliari.
 Box plots of the association factor scores (11 variables) from 5965 data file Cagliari Sheet stream sediment samples.

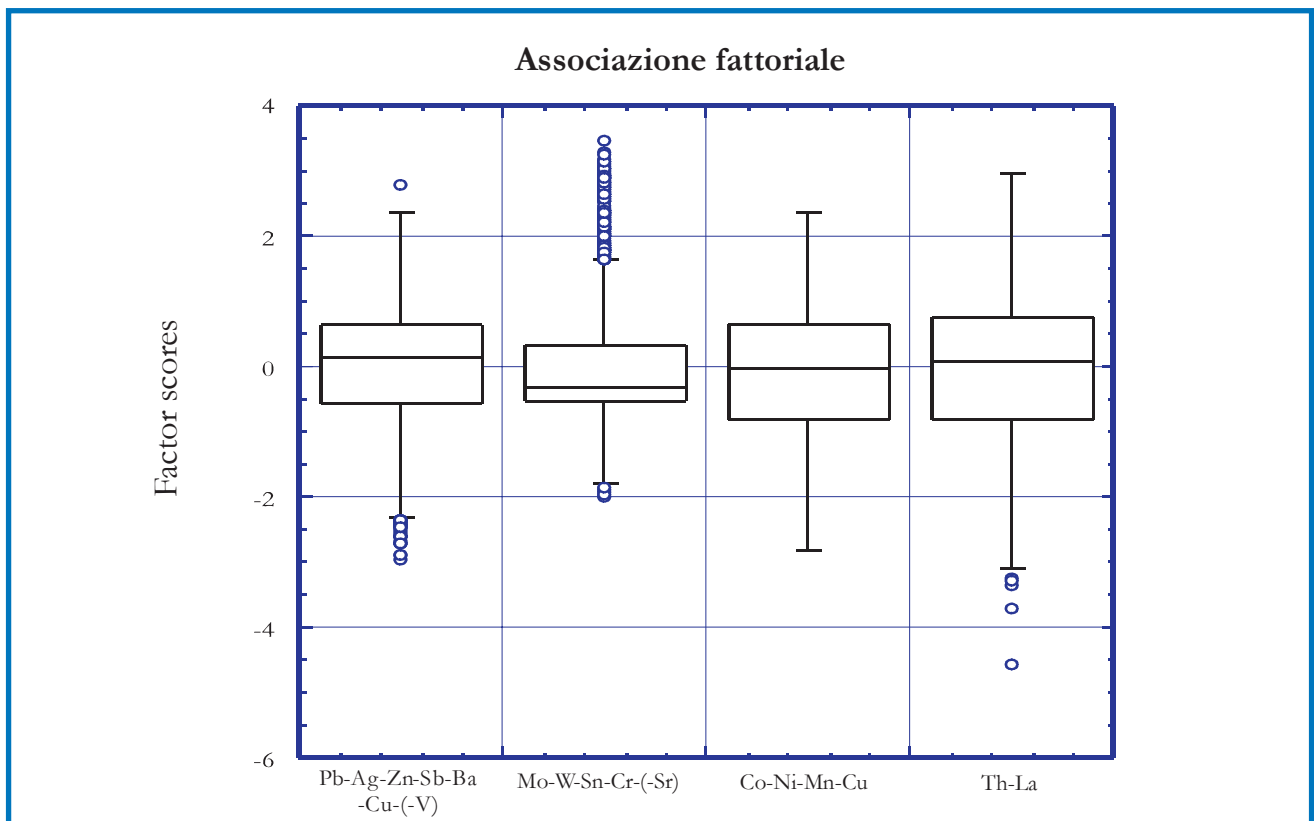


Fig. 4 - Box plots dei factor scores (19 variabili) delle associazioni fattoriali del file di 1362 campioni di sedimenti fluviali del Foglio Cagliari.
 Box plots of the association factor scores (19 variables) from 1362 data file Cagliari Sheet stream sediment samples.

8.5. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE G2: Mo-W-Sn-Cr(-Sr)

L'associazione fattoriale G2, responsabile del 21.71 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0.80, 0.78, 0.72, 0.50 e (-0.71), rispettivamente per Mo, W, Sn, Cr e (-Sr). La distribuzione (tav. 67) dei bassi valori dei *factor scores* (<- 0,83 - percentile 15) assume carattere *marker* per le litologie a sud e sud-est di Carbonia e intorno a Sarroch (andesiti e andesiti basaltiche oligo-mioceniche). I valori alti dei *factor scores* (>1,63 - percentile 99) vengono riscontrati prevalentemente nei leucograniti equigranulari del Sulcis (fra Capo di Pula e Capo Spartivento; a ridosso e nord di Capoterra; a sud di Monte Arcosu) e dell'Iglesiente (nord di Punta san Michele). Alti valori vengono anche riscontrati a sud-est di Monte San Mìai, in corrispondenza della Formazione di Cabitza (miniera di Rosas).

8.6. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE G3: Co-Ni-Mn-Cu

L'associazione fattoriale G3, responsabile del 15.68 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0.91, 0.83, 0.71 e 0.66, rispettivamente per Co, Ni, Mn e Cu. I valori più elevati dei *factor scores* (>1,30 - percentile 99) si riscontrano, nel Sulcis, ad est di Monte San Mìai in metasiltiti e metarenarie del Caradoc-Ashgill con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufiti, e a sud-est di Carbonia nelle andesiti e andesiti basaltiche oligo-mioceniche. Nel Sarrabus, valori elevati cadono al limite nord del Foglio, in metarenarie, quarziti e filladi con metavulcaniti basiche alcaline, talora a pillow (Culm). I valori bassi dei *factor scores* caratterizzano per lo più i graniti del Complesso plutonico, sia nel Sulcis che nel Sarrabus (tav. 68).

8.7. - ASSOCIAZIONE FATTORIALE G4: Th-La

L'associazione fattoriale G4, responsabile del 10.38 % della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0.81 e 0.73, rispettivamente per Th e La. I valori elevati dei *factor scores* (>2,58 - percentile 99) cadono in corrispondenza dei leucograniti equigranulari del Sulcis (sud di Punta Sa Cresia; a nord e nord-ovest di Punta Maxia) e del Sarrabus (fascia che si estende da est di Sinnai fino a Capo Ferrato). I valori bassi (<-0,65 - percentile 10) caratterizzano i Gruppi di Iglesias e Gonnese, sia nel Sulcis che nell'Iglesiente (ovest, nord-ovest e nord di Iglesias; nord-est di Capo Spartivento; est di Monte San Mìai); le andesiti e andesiti basaltiche a sud e sud-est di Carbonia e intorno a

Sarroch; e le metarenarie, quarziti e filladi con metavulcaniti basiche alcaline (Culm) del Carbonifero Inferiore, nel Sarrabus, a nord di Sinnai e al limite nord del Foglio (tav. 69).

9. - DISTRIBUZIONE DELLE ANOMALIE DI ELEMENTI COMBINATI

9.1. - PIOMBO - ZINCO - CADMIO

Il massimo della significatività di questi tre elementi combinati si registra nell'Iglesiente, ad ovest, nord-ovest e nord di Iglesias, in corrispondenza delle litologie del Gruppo di Gonnese (metacalcari e metadolomie) e di Iglesias (argilloscisti, metarenarie, metacalcari e metasiltiti). Nella stessa area, il cadmio mostra una maggiore incidenza in corrispondenza del top del Gruppo di Nebida (metarenarie, metadolomie, metacalcari). Il Sulcis è caratterizzato da una prevalenza di incidenza della coppia Zn - Pb, mentre la coppia Zn - Cd esercita una incidenza prevalente in tutto il Sarrabus meridionale e nelle aree a nord e nord-ovest di Cagliari (tav. 70).

È interessante notare come questi tre elementi siano regolarmente arricchiti a sud di Capo Altano, in un'area dove affiorano le vulcaniti oligo-mioceniche. In realtà, non sono queste litologie che ne sono arricchite, trattandosi bensì di un'anomalia "alloctona". Infatti essa corrisponde all'area di Portoscuso-Porto Vesme, dove sono presenti diverse industrie, incluso un impianto metallurgico, nell'intorno del quale alti tonnellaggi di minerali metallici e di scorie contribuiscono in modo decisivo agli alti tenori riscontrati, come anche nell'area della miniera di Rosas, fra Monte Arcosu e Monte San Mìai.

9.2. - ZINCO - ARGENTO - RAME

Il massimo dell'incidenza degli elementi combinati zinco, argento e rame si registra a nord-est di Iglesias (in corrispondenza della miniera di Sa Duchessa) e fra Monte San Mìai e Monte Arcosu, in corrispondenza della miniera di Rosas. La coppia Zn - Ag, con una prevalenza per lo Zn, delimita molto bene il Gruppo di Gonnese (e subordinatamente quello di Iglesias) in tutta l'area a nord di Iglesias. Una prevalenza dell'incidenza del Cu si registra, nel Sulcis, in una fascia nord-sud, da Capo Spartivento fino a nord di Punta Maxia, da attribuirsi probabilmente alla presenza di minerali di rame associati alle aree di metamorfismo di contatto, ed in una fascia che si estende da Punta

Sa Cresia in direzione di Capoterra, in corrispondenza del Gruppo di Iglesias e della Formazione di Pala Manna (quarziti, metarenarie, metapeliti, metasiltiti in facies "Culm"). Anche in questo caso, l'alta concentrazione dei tre elementi nell'area di Porto Vesme è da riferire all'attività industriale. La maggiore incidenza del Cu nel Sarrabus settentrionale, in una fascia estesa da ovest verso est, è da attribuirsi probabilmente sia a metavulcaniti basiche alcaline presenti nella Formazione di Pala Manna, che al rame presente nelle associazioni a solfuri. L'incidenza del Cu nei terreni quaternari a nord-ovest di Cagliari è dovuta molto probabilmente all'uso di anticrittogamici in agricoltura (tav. 71).

9.3. - MERCURIO - ANTIMONIO - ARSENICO

L'area di maggiore influenza di questi tre elementi combinati, con una prevalenza però della coppia Hg - As, si registra, con un carattere *marker* per le andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche, nell'area a sud e sud-est di Carbonia (fossa di Giba-Narcao) e intorno a Sarroch. L'As mostra una incidenza prevalente nei corpi intrusivi del Complesso plutonico in tutto il Sarrabus meridionale e nel Sulcis. L'Sb viceversa esercita la sua incidenza prevalente nelle silicoclastiti, in gran parte del Sulcis. Nel Sarrabus Sb è molto abbondante nella fascia più settentrionale del Foglio, associato alle mineralizzazioni a solfuri contenute nelle litologie flyschoidi del Carbonifero in facies "Culm" e nel "Filone Argentifero". La zona dell'Iglesiente, a nord e sud di Iglesias, mostra invece una prevalente incidenza della coppia As - Sb (tav. 72).

9.4. - PIOMBO - ZINCO - ARGENTO

L'incidenza massima di questi tre elementi combinati si registra, con un carattere assolutamente distintivo, per le litologie Cambriche (Gruppi di Iglesias e Gonnesa), a sud-ovest, ovest, nord-ovest e nord di Iglesias nell'Iglesiente, e nella zona a sud-est di Monte San Miali nel Sulcis (miniera di Rosas). Un'altra area di massima incidenza dei tre elementi si registra a sud-est di Capo Altano. Anche in questo caso l'arricchimento si deve all'impianto metallurgico di Porto Vesme.

Grosso modo nelle stesse litologie dell'Iglesiente, a nord di Carbonia e ad est di Monte San Miali, si registra una prevalente incidenza del Pb (manifestazioni a piombo della zona di Giuenni) (tav. 73).

9.5. - FERRO - MANGANESE - COBALTO

L'incidenza maggiore dei tre elementi combinati si registra, nel Sulcis, con carattere *marker* per le andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche a sud - sud est di Carbonia e intorno a Sarroch. I corpi intrusivi del Complesso plutonico, sia nel Sulcis (ovest di Teulada, nord-est di Punta Maxia, sud di Punta Sa Cresia) che in tutto il Sarrabus meridionale, indicano una incidenza prevalente del Mn e subordinatamente del Fe. Lo stesso si verifica per le rioliti, daciti e riolaciti ad ovest di Carbonia e nelle isole di San Pietro e Sant'Antioco. Tutta la fascia centrale del Sulcis registra invece una prevalenza del Co. La coppia Co - Fe è prevalente anche nel Sarrabus settentrionale, per lo più in corrispondenza della Formazione di Pala Manna, dove si registra la presenza di metavulcaniti basiche alcaline. Nell'Iglesiente, intorno ad Iglesias (nel Gruppo di Gonnesa), si evidenzia una prevalenza di incidenza della coppia Mn - Fe, probabilmente in seguito all'abbondanza di questi metalli nei brucioni al top delle mineralizzazioni a solfuri (tav. 74).

9.6. - CROMO - NICHEL - MAGNESIO

L'incidenza maggiore dei tre elementi combinati si registra tra Monte San Miali e Monte Arcosu, in corrispondenza dell'Ordoviciano autoctono (metasiltiti e metarenarie del Caradoc - Ashgill), contenente intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufiti, cui presumibilmente è da attribuirsi l'alta incidenza degli elementi combinati. Altra area con incidenza maggiore dei tre elementi combinati si registra nel Sarrabus settentrionale, al limite del Foglio; anche in questo caso i valori sono giustificati dalla presenza di metavulcaniti basiche alcaline nella Formazione di Pala Manna. Nel Sulcis centro - meridionale si registra una prevalenza della coppia Ni-Cr, soprattutto in corrispondenza del Gruppo di Nebida. Questo è verificato anche fra Carbonia e Monte San Miali, in altre aree del Sulcis, e nel Sarrabus settentrionale. Le andesiti e andesiti basaltiche a sud di Carbonia, intorno a Sarroch e nella parte meridionale dell'isola di Sant'Antioco, sono caratteristicamente contrassegnate da una prevalente incidenza del Mg. L'Iglesiente (intorno a Iglesias) è invece caratterizzato da una incidenza della coppia Mg - Cr. Il Ni mostra un maggior controllo in corrispondenza degli affioramenti dei corpi intrusivi (ovest di Capoterra; sud di Punta Sa Cresia) nel Sulcis orientale e meridionale. Il Sarrabus meridionale mostra in genere una prevalenza di incidenza della coppia Mg - Ni, ma anche in modo sparso della coppia Mg - Cr (tav. 75).

9.7. - BARIO - PIOMBO - ZINCO

La maggiore incidenza dei tre elementi combinati (tav. 76) viene individuata in modo nettissimo nell'Iglesiente, intorno ad Iglesias, in corrispondenza delle litologie del Gruppo di Gonnese; viceversa il Gruppo di Nebida è caratterizzato da una incidenza prevalente del Ba. Questo è verificato sia a nord-ovest di Iglesias, che a nord-est di Carbonia e a nord e sud di Santadi, dove anche i carbonati cambriaci contengono abbondanti mineralizzazioni a Ba.

Il Gruppo di Nebida, nel Sulcis, fra Capo Spartivento e nord-est di Santadi, fra Carbonia e Monte San Miali, e le altre litologie Paleozoiche, fra Punta Sa Cresia e Punta Maxia, sono caratterizzate da una incidenza prevalente dello Zn e subordinatamente del Pb. I corpi intrusivi di tutto il Sarrabus meridionale e del Sulcis, così come le vulcaniti oligo - mioceniche (Sarroch; sud-est di Carbonia; isole di San Pietro e Sant'Antioco) sono caratterizzate da una incidenza prevalente della coppia Zn-Pb. A Portoscuso - Porto Vesme c'è il solito massimo Zn-Pb dovuto alla presenza della già menzionata fonderia.

9.8. - RAME - MOLIBDENO - WOLFRAMIO

Per questi tre elementi combinati non viene individuata nettamente un'area di prevalente influenza con un chiaro controllo litologico, se non forse la fascia del "Culm" nel Sarrabus settentrionale. Il controllo delle litologie viene più chiaramente individuato dalla combinazione di influenza delle coppie di elementi. In particolare la coppia Cu - Mo esercita un netto controllo sul Gruppo di Nebida affiorante nel Sulcis, fra Capo Spartivento e nord - est di Santadi e fra Carbonia e Monte San Miali e sulle altre litologie Paleozoiche (fra Punta Sa Cresia e Punta Maxia; nord-est di Monte Arcosu). Il Cu prevale soprattutto nell'Iglesiente (carbonati del Gruppo di Gonnese), ad ovest e est di Carbonia (rioliti, daciti e riodaciti oligo - mioceniche). L'incidenza maggiore del Cu in alcune aree del Campidano è da attribuirsi molto probabilmente ad attività antropiche (agricoltura). L'incidenza della coppia W - Mo (con una maggiore prevalenza del W) caratterizza tutti i corpi intrusivi del Sarrabus meridionale e le andesiti e andesiti basaltiche del Sulcis (isola Sant'Antioco; sud - est di Carbonia e intorno a Sarroch). Viceversa per i corpi intrusivi del Sulcis (nord - est di Punta Maxia; sud di Punta Sa Cresia) si registra una prevalenza del Mo, rispetto al W (tav. 77).

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 e dell'Olanda, in considerazione del fatto che in Italia non è stata stabilita ancora una normativa ufficiale che fissi i limiti di intervento per i vari elementi chimici nei sedimenti fluviali. Solo recentemente è stato emanato un Decreto del Ministero Ambiente (N. 471, 25 Ottobre 1999) che fissa le concentrazioni limite nei suoli e nelle acque per l'uso ricreativo/residenziale e commerciale/industriale del territorio.

Le aree che in questo lavoro vengono individuate come a rischio, sulla base delle soglie limite fissate dal Canada e dall'Olanda, necessitano quindi di essere ridefinite una volta che il Ministero dell'Ambiente provvederà a fissare per l'Italia una normativa di riferimento per i sedimenti fluviali. C'è da sottolineare comunque che le aree da noi individuate come a rischio sulla base delle concentrazioni chimiche riscontrate nei sedimenti fluviali, sono in ogni caso da considerarsi come "aree a rischio potenziale", in quanto va verificata la concentrazione di elementi chimici che si riscontra nei suoli in corrispondenza delle aree di influenza dei sedimenti con valori superiori alle soglie predefinite (nel nostro caso quelle del Canada e dell'Olanda).

10.1. - ARSENICO (As)

Le aree di intervento per l'As (>33 ppm, soglia canadese; >55 ppm, soglia olandese) sono individuate nell'Iglesiente (ad ovest, nord-ovest, nord ed est di Iglesias) in corrispondenza prevalentemente delle litologie del Gruppo di Gonnese. Altre aree di intervento isolate si riscontrano ad est di Carbonia, in presenza sia delle litologie di Gonnese che di Cabitza. Tutto il resto del territorio è caratterizzato da valori inferiori al limite di intervento più basso fra i due utilizzati (33 ppm) (tav. 78).

10.2. - CADMIO (Cd)

Come per l'As, ma in modo più omogeneo, le aree di intervento per il Cd (>7,5, soglia olandese; >10 ppm, soglia canadese) sono individuate nell'Iglesiente (ovest, nord-ovest, nord e est di Iglesias) in corrispondenza di tutte le litologie Cambriche, ma con prevalenza di quelle del Gruppo di Gonnese. Isolate aree di intervento sono individuate ad ovest di Monte Arcosu e a nord - ovest di Teulada (tav. 79).

10.3. - CROMO (Cr)

Le aree di intervento per il Cr, relativamente ai valori della soglia canadese (>111 ppm), vengono individuate prevalentemente nel Sulcis centrale lungo la fascia che si estende da ovest di Capo Spartivento a Monte Arcosu, in corrispondenza del Gruppo di Nebida; i valori elevati sono attribuibili molto probabilmente alla locale presenza di metavulcaniti basiche associate a questo Gruppo. Altri isolati valori superiori alla soglia canadese sono individuati fra Monte San Mìai e Carbonia e a nord di Monte Arcosu.

Nel Sarrabus settentrionale, aree di intervento vengono individuate nella parte settentrionale del Foglio, in una fascia estesa da ovest verso est, in corrispondenza della Formazione di Pala Manna del Carbonifero Inferiore, caratterizzata da intercalazioni di metavulcaniti basiche alcaline, talora a pillow (tav. 80).

10.4. - MERCURIO (Hg)

La distribuzione dei valori del Hg, determinato solo per campioni provenienti da est-sud est di Carbonia e intorno a Sarroch, individua una sola, isolata, area di intervento (>1,6 ppm, soglia olandese; >2 ppm, soglia canadese) nella fossa di Giba fra Carbonia e Santadi, in corrispondenza di andesiti e andesiti basaltiche oligo - mioceniche (tav. 81).

10.5. - NICHEL (Ni)

Le aree di intervento per il Ni vengono individuate prevalentemente nel Sulcis sud - orientale e nel Sarrabus settentrionale. Nel Sulcis, le aree di intervento (>45 ppm, soglia olandese; >90 ppm, soglia canadese) sono raggruppate in tre settori: a) la fascia che si estende da Capo Malfatano (Capo Spartivento) a Santadi, in corrispondenza del Gruppo di Nebida; i valori elevati sono molto probabilmente attribuibili alla locale presenza di metavulcaniti basiche associate a questo Gruppo; b) nella fascia che si estende da Punta Sa Cresia verso Capoterra, in corrispondenza di una Formazione del Carbonifero Inferiore, composta da alternanze di quarziti, metarenarie, metapeliti, metasiltiti e metaconglomerati; c) in una fascia che si estende a nord-ovest e sud - est di Monte Arcosu, in corrispondenza dell'Ordoviciano autoctono (Caradoc-Ashgill), contenente intercalazioni di metavulcaniti basiche e metapeliti, a cui si deve far risalire

la responsabilità degli elevati valori del Ni. Nel Sarrabus settentrionale, un'area di intervento viene individuata nella parte settentrionale del Foglio, in una fascia che si estende da ovest verso est, in corrispondenza della Formazione di Pala Manna del Carbonifero Inferiore, caratterizzata da intercalazioni di metavulcaniti basiche alcaline, talora a pillow (tav. 82).

10.6. - PIOMBO (Pb)

Le aree di intervento per il Pb (>250 ppm, soglia canadese; >530 ppm, soglia olandese), a parte alcuni isolati valori sparsi in varie parti del territorio, ricadono in modo omogeneo nell'Iglesiente (ovest, nord-ovest e nord di Iglesias), prevalentemente in corrispondenza delle litologie del Gruppo di Gonnese, ma anche nelle formazioni di Cabitza e Nebida (tav. 83), in cui sono localizzate le mineralizzazioni a galena, e le relative importanti discariche.

10.7. - RAME (Cu)

La distribuzione dei valori del Cu non individua, come per gli altri elementi, delle aree omogenee di intervento. Si riscontrano per lo più valori isolati che superano i limiti di intervento (>90 ppm, soglia olandese; >114 ppm, soglia canadese). Aree di intervento di relativa omogeneità vengono individuate nel Sulcis orientale, a nord-ovest di Punta sa Cresia, nella Formazione del Carbonifero Inferiore, composta da alternanze di quarziti, metarenarie, metapeliti, metasiltiti e metaconglomerati; nella valle di Iglesias, dove si localizzano le enormi discariche ad ossidati delle numerose miniere; nel Sarrabus settentrionale, nella fascia, estesa da ovest ad est, per lo più nella Formazione di Pala Manna, caratterizzata da intercalazioni di metavulcaniti basiche alcaline, talora a pillow (tav. 84).

10.8. - ZINCO (Zn)

La distribuzione dei valori dello Zn, se si prende in considerazione la soglia limite fissata dal Canada (>80 ppm), individua come aree di intervento quasi l'intero Sulcis, l'Iglesiente e tutto il Sarrabus settentrionale. Se si prende invece come riferimento la soglia limite fissata dall'Olanda (>720 ppm), allora le aree di intervento vengono individuate in modo consistentemente omogeneo nell'Iglesiente, ad ovest, nord-ovest e nord di

Iglesias, prevalentemente in corrispondenza dei Gruppi di Gonnese e di Iglesias, dove affiorano i carbonati e le mineralizzazioni piombo-zincifere, e sono localizzate la maggior parte delle discariche. Nel Sulcis, un'area di intervento relativamente omogenea viene individuata a nord-est di Punta Sa Cresia, nella Formazione del Carbonifero Inferiore, classificata come a rischio anche per il Ni e il Cu (tav. 85).

11. - CONCLUSIONI

Il quadro conoscitivo che deriva dall'analisi della distribuzione geochemica dei singoli elementi, dei *factor scores* delle associazioni fattoriali, delle anomalie degli elementi combinati a gruppi di tre chimicamente compatibili e delle carte delle soglie geochemiche di intervento, ha consentito di pervenire sinteticamente alle seguenti conclusioni:

- c'è perfetta corrispondenza tra le zone a mineralizzazioni note e le anomalie a Pb, Zn, Cd, Sb, Ag, Cu, As e Ba, sia nell'Iglesiente-Sulcis che nel Sarrabus;

- c'è corrispondenza tra le anomalie a Mg e gran parte degli affioramenti dei litotipi del Gruppo di Gonnese, in cui è prevalente la presenza di dolomie;

- le concentrazioni di Mn sono abbondanti nell'Iglesiente (insieme al Fe), in quanto il Mn è abbondante sia nelle dolomie idrotermali che nei brucioni delle mineralizzazioni. Inoltre le anomalie di Mn che si riscontrano nelle vulcaniti oligomioceniche a San Pietro sono giustificate dalla presenza di mineralizzazioni economiche;

- anomalie per una serie di elementi (es. Be, B,...) risultano abbondanti solo in corrispondenza di rocce plutoniche intrusive (graniti);

- anomalie geochemiche per altri elementi (As, Hg, Sb) cadono in corrispondenza solo di vulcaniti oligoceniche; nel passato questi elementi sono stati analizzati specificamente perché, notoriamente, sono un indizio di alterazione idrotermale e quindi rappresentano degli ottimi traccianti della presenza di oro epitermale;

- sono registrate concentrazioni di anomalie che non riflettono né la presenza di particolari litotipi né la presenza di mineralizzazioni, e quindi hanno certamente una genesi antropica. Hanno questa genesi: le anomalie a sud di Capo Altano (per diversi elementi metallici), in risposta alla presenza dell'impianto metallurgico di Porto Vesme; quelle a Cu nel Campidano e nel Cixerri, dovute ad attività agricole e quelle, a vari metalli, a nord-est di Narcao, dovute alla presenza delle discariche e degli impianti della miniera di Rosas.

Ringraziamenti

La cartografia geochemica contenuta in questa monografia è stata realizzata con fondi CNR, sia assegnati al Prof. Benedetto DE VIVO nell'ambito del Progetto Strategico Carta Geochemica d'Italia (1997, 1998, 1999) che alla Prof. Maria BONI, nell'ambito del Progetto Finalizzato Ambiente (1997, 1998, 1999). Gli autori ringraziano Marina COSCI e Maria Luisa VATOVEC per la preziosa collaborazione nelle varie fasi redazionali della pubblicazione ed il Prof. Piero MANETTI per gli utili suggerimenti, che hanno migliorato il manoscritto finale.

BIBLIOGRAFIA

- BARCA S. (1992) - *Phénomènes de résédimentation 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.
- BARCA S. & COSTAMAGNA (2000) - *Il bacino Paleogenico del Sulcis-Iglesiente (Sardegna SW): Nuovi dati stratigrafico-strutturali per un modello geodinamico nell'ambito dell'orogenesi pirenaica*. Boll. Soc. Geol. Ital., **119**: 497-515.
- BECHSTÄDT T. & BONI M. (1994) - *Sedimentological, stratigraphical and ore deposits field guide of the autochthonous Cambro-Ordovician of Southwestern Sardinia*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. **48**: pp. 434, Roma
- BGS (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY) (1987) - *Regional geochemical atlas series. Great Glen*. British Geological Survey, Keyworth, UK.
- BGS (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY) (1990) - *Regional geochemical atlas series. Argyll*. British Geological Survey, Keyworth, UK.
- BGS (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY) (1991) - *Regional geochemical atlas series. East Grampians*. British Geological Survey, Keyworth, UK.
- BGS (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY) (1992). *Regional geochemical atlas series. Lake District*. British Geological Survey, Keyworth, UK.
- BISTE M. (1982) - *Geochemistry of South Sardinian granites compared with their tin potential*. In: EVANS A.M. (Ed.): "Mineralization Associated with Acid Magmatism", JOHN WILEY & SONS, Ltd., 37-49.
- BODIS D. & RAPANT S. (1999) - *Geochemical atlas of the Slovak Republic*. Ministry of Environment of Slovak Republic, Geological Survey of Slovak Republic.
- BONI M., BALASSONE G. & VILLA I.M. (1999a) - *Age and evolution of granitoids from South West Sardinia: genetic links with hydrothermal ore bodies*. Proc. Fifth Biennial SGA Meeting "Mineral Deposits: Processes to Processing", STANLEY C.J. et alii Editors. Vol. **2**, London, August 1999, 1255-1258.
- BONI M., COSTABILE S., DE VIVO B. & GASPARRINI M. (1999b) - *Potential environmental hazard in the mining district of southern Iglesias (SW Sardinia, Italy)*. Journal of Geochemical Exploration, **67**: 417 - 430.
- 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 Vol., Spec. Pubbl.: 18-28.
- BONI M., PARENTE G., BECHSTÄDT T., DE VIVO B. & IANNACE A. (2000) - *Hydrothermal dolomites in SW Sardinia (Italy): evidence for a widespread late-Variscan fluid flow event*. Sedimentary Geology, **131** (3-4), 181-200.

- BRALLA A., GHEZZO C., GUASPARRI G. & SABATINI G. (1981) – *Aspetti genetici del batolite ercinico sardo*. Rend. Soc. Miner. Petr., **38**: 701-764.
- BROTZU P., CALLEGARI E. & SECCHI F. (1994) – *The search for the parental magma of the high-K calcalkaline rock series in the southernmost Sardinia batbolith*. Period. Mineral., **62**: 253-280.
- 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*”, 9-20, Pisa.
- 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.
- CARMIGNANI L., OGGIANO G., BARCA S., CONTI P., SALVADORI I., ELTRUDIS A., FUNEDDA A. & PASCI S. (2001) – *Geologia della Sardegna*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **60**: pp. 283, Roma.
- COCOZZA T., IACOBACCI A., NARDI R. & SALVADORI I. (1974) – *Schema stratigrafico- strutturale del massiccio sardo-corso e minerogenesi della Sardegna*. Mem. Soc. Geol. Ital., **13** (2): 85 - 186.
- DARNLEY A.G., BJORKLUND A., BOLVIKEN B., GUSTAVSSON N., KOVAL P.V., PLANT J.A., STEENFELT A., TAUCHID M., XIE XUEJING, GARRETT R.G. & HALL G.E.M. (1995) – *A global geochemical database for environmental and resource management: recommendations for international geochemical mapping*. Final Report of IGCP Project 259, 2nd revised edition. Paris: UNESCO, pp. 122.
- DEL RIO M. & PITTAU P. (1999) – *The Upper Carboniferous of the San Giorgio Basin*. In: “*Late Palaeozoic continental basins of Sardinia*”, Field Trip Guide book del Congresso “*Continental Permian of Southern Alps and Sardinia (Italy)*”. Regional Reports and General Correlations, 37 - 43.
- DE VIVO B., BONI M., MARCELLO A., DI BONITO M. & RUSSO A. (1997) – *Baseline geochemical mapping of Sardinia (Italy)*. Journal of Geochem. Explor., **60**: 77 - 90.
- DE VIVO B., BONI M., MARCELLO A., COSTABILE S., DI BONITO M. & RUSSO A. (1998a) – *Cartografia geochimica della Sardegna*. In: DE VIVO B., RICCOBONO F. & SABATINI G. (Eds): “*Cartografia geochimica ambientale. Primi esempi di applicazione: Calabria, Monti Peloritani, Sardegna e Toscana meridionale*”, Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **55**: 97-106, Roma.
- DE VIVO B., BONI M. & COSTABILE S. (1998b) – *Formational anomalies versus mining pollution: geochemical risk maps of Sardinia, Italy*, Journal of Geochemical Exploration, **64**: 321-337.
- DE VIVO B., BONI M. & COSTABILE S. (2001) – *Cartografia geochimica ambientale della Sardegna. Carte d'intervento per l'uso del territorio*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **57**: 7-32., Roma.
- DE VIVO B., LIMA A., ALBANESE S. & CICHELLA D. (2003) – *Atlante geochimico-ambientale della Regione Campania*. De Frede Editore, Napoli.
- DE VOS W., TARVAINEN T. (CHIEF-EDITORS), SALMINEN R., ANDER E.L., BATISTA M.J., BEL-LAN A., BIDOVEC M., BIRKE M., BREWARD N., DEMETRIADES A., DE VIVO B., DURIS M., GILUCIS A., GRAVESSEN P., GREGORAUSKIENE V., HALAMIC J., HEITZMANN P., JORDAN G., KLAVER G., KLEIN P., LAX K., LIMA A., LIS J., LOCUTURA J., MARSINA K., MAZREKU A., O'CONNOR P.J., OTTESEN R.T., PETERSELL V., PASIECZNA A., PIRC S., REEDER S., SALPETEUR I., SIEWERS U., SHAW R., SLANINKA I., SMITH B. & TAYLOR H. (2006) – *Geochemical Atlas of Europe. Part 2 - Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications*. Geological Survey of Finland, Espoo.
- 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.
- FIORI M., GRANITZIO F. & GRILLO S. (1998) – *Porphyry copper occurrence of the Siliqua subvolcanic complex, Southwestern Sardinia, Italy*. Proceedings of 8th Intern. Platinum Symposium, South Africa, pp. 111-113.
- 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: BORIANI A., BONAFEDE M., PICCARDO G.B. & VAI G.B. (Eds): “*The Lithosphere in Italy*”, Acc. Naz. Lincei: 427-443.
- KADUNAS V., BUDAVICIUS R., GREGORANSKIENE V., KATINAS V., KLIANGIENE E., RADZEVICIUS A. & TARASKEVICIUS R. (1999) – *Geochemical atlas of Lithuania*. Geological Survey of Lithuania, Geological Institute, Vilnius.
- 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., GHEZZO C., PERTUSATI P.C. & RICCI C.A. (Eds): “*Guida alla geologia del Paleozoico sardo*”, Guide Geologiche Regionali. Soc.Geol. It.: 157 - 164.
- MIESCH PROGRAMS (1990) – *G-RFac*. Grand Junction, CO, USA.
- OTTESEN R.T., BOGEN J., BOLVIKEN B., VOLDEN T. & HAUGLAND T. (2000) – *Geochemical atlas of Norway*. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- PIRINU N., BROZU P., CALLEGARI E. & SECCHI F. (1996) – *Age and field relationships of albite-rich monzosyenite intruded into the Sarrabus granitoids (SE Sardinia, Italy)*. Period. Mineral., **65**: 289-304.
- PITTAU P., DEL RIO M., PUTZU M.T. & BARCA S. (1999) – *The Permian of the Guardia Pisano Basin (Sulcis)*. In: “*Late Palaeozoic continental basins of Sardinia, Field Trip Guidebook*” del Congresso “*Continental Permian of Southern Alps and Sardinia (Italy)*”. Regional Reports and General Correlations, 44 - 57.
- PLANT J.A., KLAVER G., LOCUTURA J., SALMINEN R., VRANA K. & FORDYCE F. (1997). *The Forum of European Geological Surveys Geochemistry Task Group inventory 1994-1996*. Journal of Geochemical Exploration, **59**: 123-146.
- REIMANN C., AYRAS M., CHEKUSKIN V., BOGATYREV I., BOYD R., CARITAT P., DUTTER R., FINNE T.E., HALLERAKER J.H., JAEGER P., KASHULINA G., LEHTO O., NISKAVAARA H., PAVLOV V., RAISANEN M.L., STRAND & VOLDEN T. (1998) – *Environmental geochemical atlas of Central Barents Region*. Geological Survey of Norway, Trondheim.
- SALMINEN R., BATISTA M.J., BIDOVEC M., DEMETRIADES A., DE VIVO DE VOS W., GILUCIS A., GREGORAUSKIENE V., HALAMIC J., HEITZMANN P., LIMA A., JORDAN G., KLAVER G., KLEIN P., LIS J., LOCUTURA J., MARSINA K., MAZREKU A., MRNKOVA J., O'CONNOR P.J., OLSSON S., OTTESEN R.T., PETERSELL V., PLANT J.A., REEDER S., SALPETEUR I., SANDSTRÖM H., SIEWERS U., STEENFELT A. & TARVAINEN T. (2005) – *Geochemical Atlas of Europe. Part 1 - Background Information, Methodology and Maps*. Geological Survey of Finland, Espoo.
- 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.