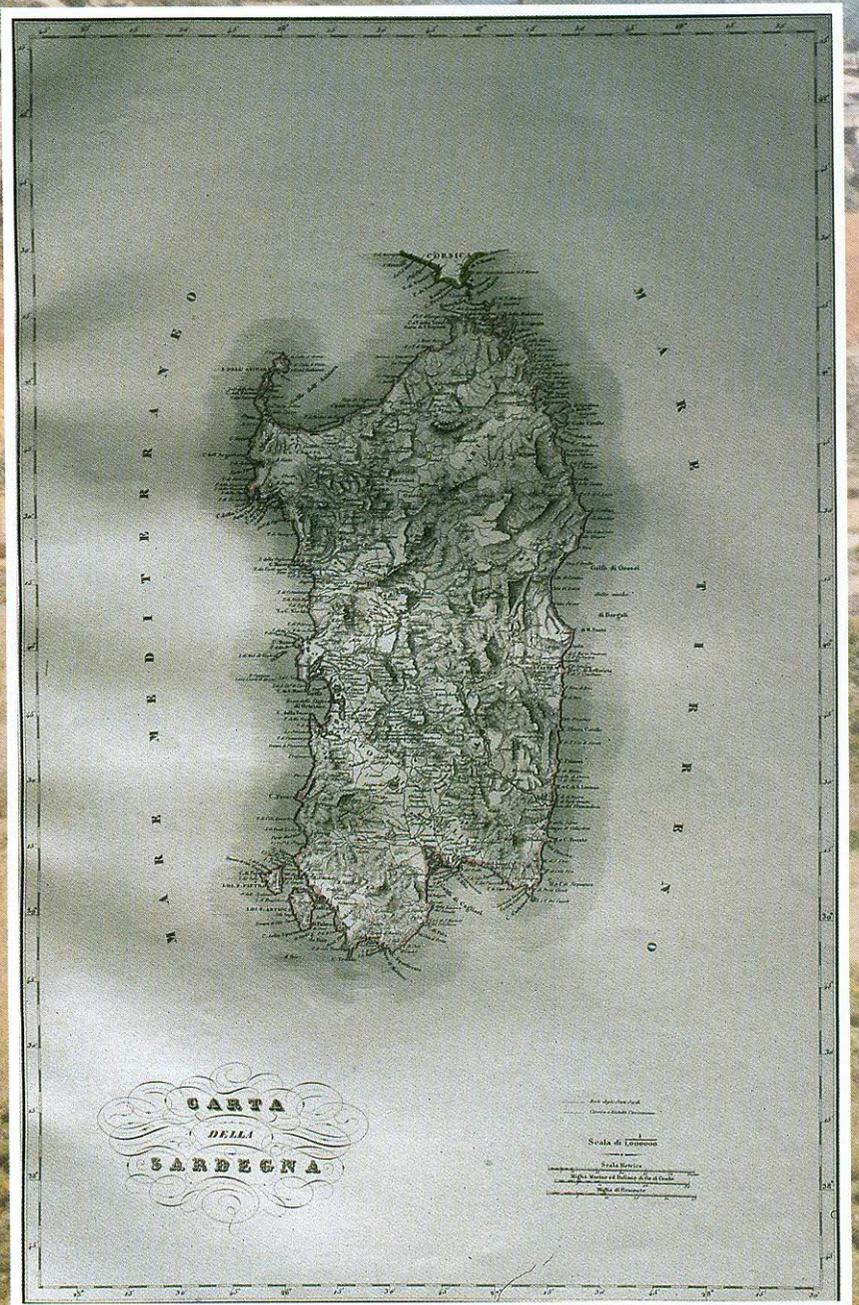




SARDEGNA

Dall' "Atlante Geografico degli Stati Italiani per servire di corredo alla Corografia fisica, storica e statistica dell'Italia". Vol. I, contenente le carte corografiche e topografiche dell'Italia Superiore, Firenze 1844.



Cartografia geochemica della Sardegna *Sardinia geochemical mapping*

DE VIVO B. (*), BONI M. (**), MARCELLO A. (***), COSTABILE S. (*), DI BONITO M. (*), RUSSO A. (*)

RIASSUNTO. – In questo capitolo vengono presentate le carte geochemiche ambientali realizzate per la Sardegna. In questa regione sono stati prelevati dall'Ente Minerario Sardo (EMSa) a scopi di ricerca mineraria circa 20.000 campioni di sedimenti fluviali, distribuiti su un'area di circa 13.000 km². Di questi, 16.890 sono stati da noi analizzati con lo scopo di mostrare la variabilità regionale di 11 elementi chimici (Ag, Co, Cr, Cu, F, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb e Zn). In aggiunta alle carte di isoconcentrazione sono state realizzate anche carte che illustrano la variabilità regionale dei *factor scores* delle associazioni di elementi che risultano dall'analisi fattoriale in R-mode.

Questo tipo di carte ha una particolare rilevanza nello studio di problematiche ambientali, specialmente in una regione come la Sardegna, che è stata sfruttata da un punto di vista minerario fin dall'antichità.

PAROLE CHIAVE: Geochemica, Cartografia, Ambiente, Sardegna.

ABSTRACT – A total of about 20,000 stream sediment samples from an area of 13,000 km² were collected in Sardinia by Ente Minerario Sardo (EMSa), and analyzed for 11 elements (Ag, Co, Cr, Cu, F, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb and Zn) aimed at mineral exploration.

We have reutilized 16,890 samples of the above data to compile geochemical baseline maps for all single elements as well as maps showing the regional variability of factor scores resulting from R-mode factor analysis. This type of maps have a particular relevance for environmental issues, especially in a region, such as Sardinia, which has been mined since pre-Roman times.

KEY WORDS: Geochemistry, Cartography, Environment, Sardinia.

1. – CAMPIONI E ANALISI CHIMICHE

I campioni di sedimenti fluviali utilizzati per l'elaborazione della cartografia geochemica sono stati raccolti tra il 1972 e il 1975 dall'Ente Minerario Sardo su di una superficie di circa 13000 km² (Tav. 1 f.t.). Nel corso della campagna di prospezione sono stati prelevati 31000 campioni di «streams» e 5500 concentrati di minerali pesanti. Di tali campioni ne sono stati sottoposti ad analisi circa 20000 (MARCELLO *et alii*, 1978). Di questi ultimi ne sono stati utilizzati 16890 per l'elaborazione della cartografia geochemica contenuta in questo atlante. La densità di campionatura è stata mediamente di 3 prelievi per km². I campioni sono stati essiccati e setacciati, e per le determinazioni analitiche è stata trattenuta la frazione < 120 mesh.

Le analisi chimiche sono state eseguite presso i laboratori del BRGM a Orléans. I campioni sono stati sottoposti ad analisi per: Pb, Zn, Cu, Ag, Sb, Ni, Co, Cr, Mo e Mn attraverso Assorbimento Atomico (Perkin-Elmer automatizzato), con precisione analitica dell'ordine del $\pm 10\%$; F è stato analizzato attraverso colorimetria automatica (decolorazione della lacca alizarina - zirconio), con precisione di $\pm 10\%$ a livello di 10 ppm. La tabella 1 mostra i parametri statistici e i limiti di rilevabilità strumentale per gli elementi analizzati.

Le metodologie statistiche utilizzate nella costruzione delle carte geochemiche sono le stesse utilizzate per la Calabria. Per la Sardegna è stata utilizzata una griglia di 151 \times 251, in cui la singola cella copre un'area di 1000 m \times 1000 m.

(*) - Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia - Via Mezzocannone 8 - 80134 Napoli.

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

(***) - Dipartimento di Geoingegneria e Tecnologie Ambientali - Piazza d'Armi - 09123 Cagliari - Italy.

TAB. 1 - *Parametri statistici dei dati geochimici dei campioni (16.890) di sedimenti fluviali della Sardegna*
 - Statistical parameters of the geochemical data from the Sardinia stream sediment samples (16,890)

Elementi	Media Aritm.	Mediana	Deviazione Standard	Campo di Variazione	Media Geom.	Lim. Rilev. Strument.
Pb ppm	87	48	260	2 - 10,4	54	2
Zn ppm	196	127	347	1 - 9120	142	1
Cu ppm	38	31	58,6	1 - 4325	30	1
Ag ppm	0,35	0,25	0,85	1 - 51	0,12	1
Sb ppm	10,5	5	142	20 - 17000	5	20
Ni ppm	33	31	26,5	1 - 575	23	1
Co ppm	19,0	18	10,3	1 - 245	17	1
Cr ppm	77	79	44	1 - 1046	65	1
Mo ppm	4,5	4	15,9	10 - 1560	3,1	10
Mn ppm	1226	1070	734	5 - 14850	1074	5
F ppm	638	615	1403	5 - 87000	342	5

1.1. - GEOLOGIA

La geologia della Sardegna è dominata dai terreni di età Paleozoica, in percentuale senz'altro superiore a quella di altre aree della Penisola Italiana (12.000 Km²), legati all'evoluzione della Zona Ercinica Europea, sia sedimentari che ignei e metamorfici. Seguono come abbondanza le vulcaniti Terziarie e Quaternarie e le successioni sedimentarie, prevalentemente continentali, della stessa età. I sedimenti di età Mesozoica sono assolutamente subordinati (Tav. 2 ft.)

1.1.1. - *Evoluzione Tettonica Ercinica e Stratigrafia del Paleozoico.*

Molti studi strutturali hanno confermato la natura collisionale della Fascia Ercinica Europea (BARD *et alii*, 1980; Behr *et alii*, 1984; MATTE, 1986), anche se rimane ancora aperta la questione di quando e come avvenne la chiusura dell'Oceano Ercinico (PIN, 1990). Molti autori ritengono comunque che nell'orogenesi ercinica siano coinvolti resti della crosta oceanica.

Vi sono inoltre evidenze strutturali e stratigrafiche sulla somiglianza tra il basamento della Corsica e della Sardegna con quello della Provenza prima del Miocene e sul fatto che la sutura Carbonifera tra i continenti Armorica e Gondwana passi per il nord della Sardegna lungo la linea Posada-Asinara, la cui attuale direzione è NW-SE. Tale linea separa il Complesso Metamorfico di Alto Grado dal gruppo delle Falde Interne. Seguono poi le Falde Esterne con vergenza a SW e la Zona Esterna, situata nell'area più sud-occidentale dell'Iglesiente-Sulcis.

1.1.1.1. - Cambriano-Ordoviciano Inferiore.

Questo intervallo è rappresentato essenzialmente nelle aree «Esterne» dell'Iglesiente-Sulcis da sedimenti «autoctoni» corrispondenti a depositi relativi all'evoluzione di ambienti di piattaforma in condizioni di tettonica sinsedimentaria (stadi da *rifting* a *drifting*) (BECHSTÄDT & BONI, 1994). In tale evoluzione si possono distinguere vari stadi, da una rampa omoclinale a prevalente componente terrigena a cui segue uno *shelf* epicontinentale bordato da *mounds* ad Archeociatine ed ooliti (Gruppo di Nebida), sino ad una piattaforma carbonatica isolata (Gruppo di Gonnena), sia a sedimentazione in ambiente di *tidal flat* (Dolomie Rigate), che lagunare protetto (Calcare Ce-roide). Con la sedimentazione del Gruppo di Iglesias la piattaforma viene annegata e coperta da sedimenti prevalentemente silicoclastici (Calcari nodulari e siltiti) di ambiente profondo. A questi sedimenti epicontinentali e di piattaforma isolata, fanno riscontro nella zona delle Falde Esterne le spesse successioni silicoclastiche delle Formazioni di Solanas e S. Vito, nonché del cosiddetto «Postgotlandiano» (CARMIGNANI *et alii*, 1994 a, b).

1.1.1.2. - Ordoviciano Medio.

Nella Sardegna orientale e centrale sono presenti spesse successioni di metavulcaniti di età compresa tra l'Arenig ed il Caradoc, appartenenti ad una *suite* di affinità sub-alcaina, comprendente termini dai basalti-andesiti alle rioliti, con prevalenza dei termini più acidi (MEMMI *et alii*, 1982).

Recenti pubblicazioni (CARMIGNANI *et alii*, 1994 a, b) mettono in relazione questo tipo di attività con

la formazione di un arco magmatico connesso alla subduzione di litosfera oceanica al di sotto del margine settentrionale del continente Gondwana. Successioni testimonianti la presenza di un *arc-trench gap* sono state probabilmente incorporate nelle Falde Esterne, mentre la zona di *back arc* viene localizzata nell'Iglesiente-Sulcis, dove si è riscontrata l'assenza di magmatismo inter-Ordoviciano. In queste zone, peraltro, si fa risalire ad una fase di deformazione a carattere compressivo di età Caledonica la famosa discordanza della «Fase Sarda» (STILLE, 1939), a cui seguono le spesse successioni conglomeratiche ed arenacee continentali della «Puddinga Ordovician» AUCT. (= Formazione di M. Argentu, Laske, in BECHSTÄDT & BONI, 1994). Altre interpretazioni di questa discordanza, tuttavia, farebbero risalire l'erosione differenziata della serie Cambrica al di sotto della «Puddinga» a movimenti transpressivi legati a tettonica di *strike slip*, con movimento anche verticale di blocchi e formazione di *semi-graben* (MARTINI *et alii*, 1992).

1.1.1.3. – Ordoviciano Superiore.

Siluriano: Al termine della fase magmatica inter-Ordoviciano, segue in gran parte della Sardegna una sedimentazione clastica e carbonatica da neritica a più profonda con cicliche intercalazioni di basalti alcalini, fino alla deposizione uniforme delle argilliti nere Siluriane (VAL, 1991). Questi stadi dovrebbero essere legati al collasso dell'arco magmatico, con successioni di ambiente da *sin-rift* a *post-rift* e variazioni dovute a subsidenza e variazioni eustatiche generalizzate (VAL, 1991).

1.1.1.4. – Siluriano.

Carbonifero Inferiore: Alla trasgressione Silurica seguono, sino al Devoniano medio, sedimenti siltitico-marnosi e calcari a Tentaculiti. A partire dal Devoniano superiore e fino al Carbonifero inferiore si rinvengono calcari pelagici (Gerrei) e successioni terrigene (Nurra); nelle zone più esterne (Sarrabus) sono presenti potenti depositi flyschoidi sin-orogenici (Carbonifero Inf.?) di tipo Culm (BARCA, 1992).

1.1.2. – Evoluzione tettonica.

Le fasi più importanti dell'orogenesi Ercinica sono (CARMIGNANI *et alii*, 1994 a, b):

a) la costruzione di un edificio a falde costituito dall'appilamento dei terreni derivanti dal margine continentale del Gondwana;

b) il collasso gravitazionale del prisma orogeo-collisionale.

L'evento collisionale è identificato nella Sardegna settentrionale dal Complesso Metamorfico di Alto Grado (HGMC) e, a sud della linea di sutura Posada-Asinara, dai Complessi delle Falde Interne ed Esterne. Il HGMC è rappresentato da rocce in facies anfibolitica di pressione intermedia e da migmatiti e gneiss migmatitici a sillimanite e K-feldspato.

La fascia interessata dalla linea di sutura Posada-Asinara è caratterizzata da anfiboliti con un metamorfismo retrogrado in facies di scisti verdi legato ad uno *shearing* tardo-Ercinico. La presenza nelle anfiboliti di residui di tholeiti oceaniche evolute rafforza la teoria inizialmente avanzata che interpreta questa zona come una fascia di sutura oceanica ercinica. Le Falde Interne ed Esterne sono costituite da sedimenti per lo più di natura siliciclastica di età Cambriano-Carbonifero Inferiore in facies metamorfica di scisti verdi, deformate e sovrapposte in una serie di falde con vergenza generalizzata verso SW. Il metamorfismo sincinemico decresce da NE a SW fino a restare nei limiti nell'anchimetamorfismo nelle Zone Esterne della catena (Iglesiente-Sulcis). La parte terminale delle falde è rappresentata dal *flysch* sin-orogenico tipo Culm, presente nel Sarrabus ed ai bordi della Zona Esterna.

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, a fenomeni di tettonica d'inversione e di intrusioni magmatiche da sin- a post-cinematiche. Tali intrusioni, che costituiscono la maggior parte del «batolite granitico Sardo-Corso», sono di natura essenzialmente calcoalcalina e si sono messe in posto durante gran parte del Carbonifero medio e superiore (un periodo di circa 40 Ma). Si ha per questi graniti un'evoluzione da tipi ad alto potassio a tipi peralluminosi.

1.1.3. – Evoluzione post-Ercinica.

Nelle successioni post-Erciniche si possono differenziare diversi cicli sedimentari e vulcanici, legati sia a movimenti compressivi che tensionali e spesso distinti da marcate discordanze (CARMIGNANI *et alii*, 1989).

Per quello che riguarda il tardo Paleozoico ed il Permo-Trias, sono noti gli scarsi affioramenti di molasse tardo-Carbonifere e Permiane legate a zone di tettonica tensionale del basamento (es. Formazione

di San Giorgio, Iglesias). Ad esse sono talvolta associate vulcaniti post-orogeniche (rioliti-riodaciti ed andesiti). Il Permiano Superiore - Trias Inferiore presenta generalmente le stesse facies (Verrucano), benché tali depositi vengano generalmente attribuiti alle fasi iniziali del ciclo Alpino (FONTANA *et alii*, 1983), e pertanto connessi a *rifting* intracontinentale (CASSINIS *et alii*, 1980).

I sedimenti Mesozoici sono anch'essi abbastanza scarsi in tutta l'isola, benché presentino maggiori spessori nella sua parte occidentale, soggetta anche ad una maggiore subsidenza (CARMIGNANI *et alii*, 1989). Le successioni sono prevalentemente carbonatiche neritiche ad ovest, mentre nella Sardegna centrale ed orientale la serie di trasgressione, che poggia direttamente sul basamento, è costituita inizialmente da conglomerati quarzosi, a cui seguono calcari pelagici nel Dogger. Ci sono poi vari cicli trasgressivi a distribuzione differenziata nelle diverse zone dell'isola, che continuano per tutto il Cretacico, anch'esso caratterizzato da successioni a spessore diversificato a seconda delle aree. Sono tipici gli affioramenti carbonatici di questa età nelle zone del golfo di Orosei e nella Nurra, a cui sono associati intervalli bauxitici.

Alla fine del Cretacico è stata riconosciuta una emersione generalizzata; la fase continentale dura in genere sino al Paleocene. Dall'Ilterdiano sino al Lutetiano inferiore si svilupparono nella Sardegna occidentale, e soprattutto nella regione del Sulcis, bacini da marini a parali con talora depositi lignitiferi a carattere ciclico («carbone Sulcis»). Una successiva fase tettonica compressiva (Pirenaica) databile al Miocene medio, è riconoscibile in tutta l'isola (es. Monte Albo, Supramonte di Oliena, CHERCHI & TREMOLIERES, 1984), ed è anche responsabile della discordanza basale alla base della Formazione continentale del Cixerri (Sardegna SW), di età Eocene medio-superiore.

Nell'Oligocene medio s'instaura una fase tettonica tensionale estremamente estesa, messa in relazione da Tapponier (1977) con la collisione continentale Africa-Europa, che produce un esteso sistema di rift in gran parte del Mediterraneo. In Sardegna tale sistema di rift da origine al Graben Sardo, riempito da circa 1500 m di sedimenti e vulcaniti, che attraversa l'isola da nord a sud per una lunghezza superiore ai 200 km. Lo stadio è quello di rift iniziale, in associazione con la rotazione in senso antiorario della microplacca Sardo-Corsa, terminata alla fine del Burdigaliano.

Nel periodo compreso tra 30 e 13 Ma si verificano in tutta l'isola importanti episodi vulcanici a carattere calcoalcalino, suddivisi essenzialmente in due

cicli di attività, il primo caratterizzato da prodotti andesitici (lave e piroclastiti) ed il secondo da prodotti più acidi costituiti da ignimbriti da riolitiche a rioidacitiche. La localizzazione di tali depositi è generalmente lungo le direzioni tettoniche d'importanza regionale ed al bordo di graben quali ad esempio, il graben del Cixerri e la fossa di Giba nel Sulcis.

Nel Miocene Superiore (Tortoniano-Messiniano) si verifica una nuova trasgressione generalizzata, in cui gli episodi marini si alternano ad altri a carattere continentale ed a fenomeni d'intensa erosione nel Messiniano ed alla fine del Pliocene. Nel corso del Messiniano viene ripresa l'attività magmatica, stavolta a carattere basaltico e legata alla ripresa della tettonica tensionale, connessa all'apertura del bacino Tirrenico. Tale attività tettonica e magmatica continua anche durante il Plio-Quaternario e porta alla formazione del Graben del Campidano che si sovrappone al Graben Sardo nella sua parte meridionale. Una trasgressione marina generalizzata si verifica infine in gran parte dell'isola nel Pleistocene superiore.

1.2. - MINERALIZZAZIONI

La Sardegna, ed essenzialmente il suo basamento Paleozoico, sono i luoghi più ricchi di mineralizzazioni metallifere e/o minerali industriali di tutto il territorio italiano. Tracce di coltivazioni per metalli quali Cu e Pb-Ag di epoca pre-Romana erano state già rinvenute nel sud dell'isola, dove del resto sono presenti ovunque i resti imponenti di attività minerarie effettuate con metodi industriali dall'inizio del secolo fino ai nostri giorni. Le mineralizzazioni possono essere classificate sia in base alla natura ed all'età delle rocce ospiti, che in base al processo genetico che ne ha causato la messa in posto, la cui età non sempre coincide con quella dei litotipi citati.

I corpi minerali più importanti, associati ai litotipi del Paleozoico Inferiore, sono i seguenti:

(A) Stratiformi e *stratabound* nei carbonati Cambriani della Zona Esterna (Iglesiente-Sulcis). Sono le mineralizzazioni di maggior importanza economica in assoluto, alcune delle quali ancora oggetto di coltivazione. Si tratta in genere di blenda-galena > bariete con associata pirite, i cui tonnellaggi complessivi, dall'inizio della coltivazione con metodi industriali ad oggi, sono senz'altro superiori ai 150 milioni di tonnellate.

Geneticamente possono essere classificati 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).

(B) *Stratabound* al contatto trasgressivo tra i carbonati Cambriani della Zona Esterna ed i litotipi dell'Ordoviciano medio-superiore, in zone di alto strutturale. I minerali coltivati sono costituiti da barite > galena e sono associati ad un'ampia zona di silicizzazione idrotermale (la cosiddetta «Quarzite») (BONI *et alii*, 1996).

(C) *Stratabound* in sedimenti Ordoviciani-Siluriani delle Falde Interne ed Esterne. Si tratta essenzialmente di (1) mineralizzazioni vulcano-sedimentarie ad antimonite, scheelite ed arsenopirite nelle metarioliti ('porfiroidi' AUCT.) dell'Ordoviciano medio (GARBARINO *et alii*, 1989) e di corpi a solfuri di Cu-Pb(Ag)-Zn-Cu in rocce scistose alternate a vulcaniti al limite Ordoviciano-Siluriano (es. Funtana Raminosa). Queste ultime mineralizzazioni sono spesso interessate dal metamorfismo di contatto Ercinico, che ne ha causato la modificazione delle paragenesi.

Altri corpi d'importanza economica sono quelli legati alle intrusioni dei graniti Ercinici. Si tratta di mineralizzazioni in parte di elementi di nuova segregazione, come Ni-Co, Sn, Bi e Mo, rispetto a quelli già noti nel basamento Paleozoico, ed altri, quali Zn, Pb-Ag, Cu e Ba, probabilmente ereditati dallo *stock-metallo* delle mineralizzazioni e/o dalle successioni sedimentarie e vulcaniche preesistenti (GARBARINO *et alii*, 1989). Il primo tipo di mineralizzazioni (Es. M. Santa Vittoria, M. Mannu, Sa Menga, Perda 'e Pibera) ha di rado raggiunto valori economici, mentre il secondo ha costituito i giacimenti filoniani incredibilmente ricchi di Montevecchio-Ingurtosu nell'Arburese, ed il corpo mineralizzato del Filone Argentifero nel Sarrabus, oltre a tutta una serie di manifestazioni di minore importanza ma altrettanto significative (Es. Sos Enattos, L'Argentiera). In prossimità dei graniti Ercinici e quindi connesse a fluidi prevalentemente di natura magmatica-idrotermale si rinvengono anche numerose mineralizzazioni a fluorite, con barite subordinata (Es. Silius, Su Zurfuru, Santa Lucia, Mont'Ega), che evidenziano anche aree con paragenesi di metamorfismo di contatto. Tali paragenesi si rinvengono anche in zone in cui i graniti hanno intruso mineralizzazioni stratiformi e/o *stratabound* preesistenti nelle rocce carbonatiche, creando dei veri e propri *skarn*, quali quelli rinvenuti a Su Zurfuru (zona «Misti»),

ad Arenas-Tiny, a Sa Duchessa, a Rosas ed in molte aree del Sulcis.

Mineralizzazioni di natura idrotermale, ma non apparentemente connesse a fenomeni intrusivi, anzi con più basse temperature (<200C°) ed alte salinità (BONI *et alii*, 1992), sono infine presenti in molte zone della Sardegna, ma specialmente nell'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. L'età di questi corpi mineralizzati, i famosi «Ricchi Argento», sfruttati sin dall'epoca pre-Romana, le cui coltivazioni vennero incrementate dai Pisani durante il Medio Evo, è probabilmente compresa tra il Permiano ed il Mesozoico Inferiore, come in altre aree dell'Europa occidentale, quali la Spagna e la Francia meridionale.

Alla fase di emersione del Cretacico medio nella Nurra è collegato l'unico evento d'importanza mineraria di questo periodo (COCOZZA *et alii*, 1974), che ha portato alla formazione di un deposito bauxitico, oggetto negli ultimi anni di intensi lavori di esplorazione.

Nell'Eocene è noto l'pestoso giacimento lignitifero del bacino del Sulcis, oggetto di coltivazione a partire dagli anni '30. 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.

Alle manifestazioni dell'alterazione idrotermale, che ha interessato i corpi magmatici prevalentemente effusivi a carattere da andesitico a riodacitico dell'Oligocene-Miocene (in prevalenza caolinizzazione, piritizzazione e silicizzazione), sono connesse interessanti mineralizzazioni ad oro epitermale, con tenori anche abbastanza alti (>2 gr/tonn). I corpi mineralizzati di maggiore importanza sono stati rinvenuti essenzialmente nella zone di Serrenti-Fürtei (Monastir) e sono diffusi soprattutto come impregnazione di zone a «*vuggy silica*» e di livelli a piroclastiti alterate; secondo gli studi più recenti essi apparirebbero ad un «sistema epitermale di tipo acido-solfatico» (FIORI *et alii*, 1994). Manifestazioni analoghe sono note anche in altre aree dell'isola in cui l'alterazione epitermale delle vulcaniti terziarie è stata particolarmente attiva. In ogni caso, la ricerca sull'oro in queste litologie è al momento l'unico argomento che riesca a coagulare in Sardegna sia l'esplorazione mineraria attiva, che la ricerca scientifica, a differenza di altri tipi di mineralizzazioni

ormai in declino, ma che hanno comunque lasciato dietro di sé una pesante eredità d'inquinamento geochimico nei suoli (oltre alle ben più visibili discariche ed ai bacini di deposito dei fanghi di flottazione) e nelle acque di tutta la regione.

1.3. - DISTRIBUZIONE GEOCHIMICA DEGLI ELEMENTI

I parametri statistici dei singoli elementi sono indicati nelle figure relative alla distribuzione delle concentrazioni e vengono sinteticamente rappresentati dai *box-plots* (Figura 1).

1.3.1. - Antimonio (*Sb*).

L'antimonio (Tav. 3 f.t.) mostra una distribuzione di alti valori ($> 17,6$ ppm - percentile 95) soprattutto nell'area orientale dell'isola in corrispondenza delle rocce metamorfiche di medio-alto grado del Cambriano - Ordoviciano. Alti valori si ritrovano anche nelle vulcaniti Terziarie a sud di Alghero e ad est di Sassari. I valori più alti dell'antimonio si ritrovano comunque nel distretto del Sarrabus - Gerrei, dove sono presenti importanti miniere di antimonite (Ballao).

1.3.2. - Argento (*Ag*).

Gli alti valori dell'argento ($> 0,38$ ppm - percentile 75) sono distribuiti (Tav. 4 f.t.) soprattutto nelle aree sud-orientali, dove affiorano silicoclastiti

e porfiroidi delle Falde Esterne. In particolare valori altamente anomali ($> 1,64$ fino a 44 ppm) ricadono intorno a Laconi (dove sono presenti i giacimenti skarnoidi di Funtana Raminosa) e a Villasalto (dove è presente il Filone Argentifero). Anomalie di argento si ritrovano anche a nord di Iglesias e Carbonia, dove sono presenti i noti giacimenti di piombo-zinco, alcuni sfruttati anche per l'argento. Valori $< 0,24$ ppm (percentile 50) ricadono soprattutto nell'area nord-occidentale, caratterizzata da vulcaniti Terziarie. In questa stessa area si ritrova anche una piccola anomalia in corrispondenza di litotipi del Paleozoico, molto probabilmente da mettere in relazione con mineralizzazioni simili a quelle sfruttate nella miniera di Argentiera.

1.3.3. - Cobalto (*Co*).

Il cobalto mostra (Tav. 5 f.t.) che i valori più elevati (> 22 ppm - percentile 75) sono distribuiti nelle aree orientali e sud-occidentali, mentre i valori più bassi (< 18 ppm - percentile 50) si ritrovano nell'area nord-occidentale dell'isola.

1.3.4. - Cromo (*Cr*).

Il cromo mostra (Tav. 6 f.t.) una distribuzione di valori del tutto simile a quella del cobalto, con i valori più elevati (> 112 ppm - percentile 90) nelle aree orientali e sud-occidentali e quelli più bassi (< 73 ppm - percentile 50) nell'area nord-occidentale dell'isola.

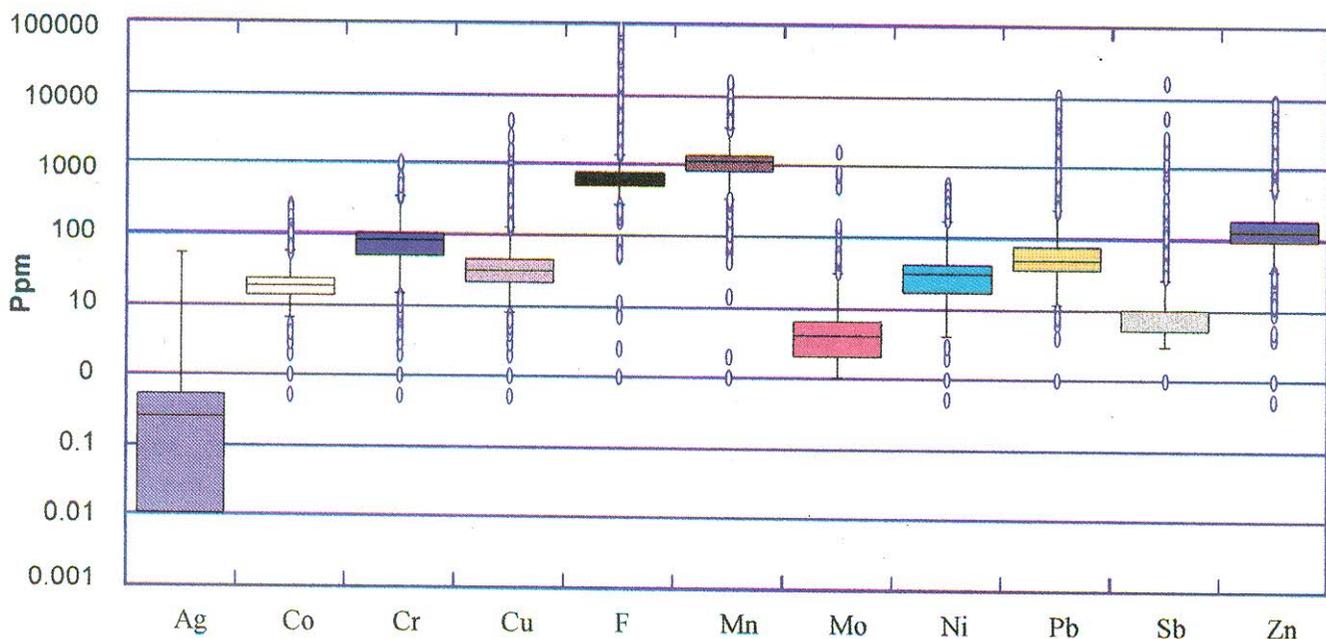


Fig. 1. - *Box plots* dei parametri statistici dei dati geochimici dei campioni di sedimenti fluviali della Sardegna.
- *Box plots of the geochemical data statistical parameters from the Sardinia stream sediment samples.*

1.3.5. – *Fluoro (F)*.

Anche il fluoro mostra (Tav. 7 f.t.) una distribuzione di valori molto simile a quella del cobalto, del cromo, del nichelio e del rame. Questo è particolarmente vero per la distribuzione degli alti valori (> 815 ppm - percentile 90) che ricadono essenzialmente nell'area ad ovest della faglia di Villasalto (in prossimità della miniera di Ba e F di Silius). La distribuzione di bassi valori (< 300 ppm - percentile 15) ricade essenzialmente in tutta l'area nord-occidentale. Al contrario degli elementi cobalto, cromo, nichelio e rame, alti valori di fluoro si ritrovano anche in corrispondenza dei carbonati dell'Iglesiente - Sulcis, da mettere in relazione probabilmente ai filoni idrotermali ricchi in galena e barite. Alcuni alti valori cadono anche in corrispondenza dei graniti Ercinici, mentre le vulcaniti Terziarie sono caratterizzate da valori bassi.

1.3.6. – *Manganese (Mn)*.

Gli alti valori (> 1711 ppm - percentile 90) del manganese ricadono nell'area dell'Iglesiente - Sulcis (Tav. 8 f.t.), in particolare a nord di Iglesias e Teulada. La Sardegna orientale e settentrionale è caratterizzata da una distribuzione di valori da molto bassi ad alti, senza definire aree particolarmente anomale. In considerazione delle litologie presenti nell'area, si può dire che mediamente gli alti valori a sud di Alghero e in prossimità di Castelsardo sono da mettere in relazione alle vulcaniti del Terziario, che ospitano localmente piccole concentrazioni di manganese che nel passato erano state anche oggetto di coltivazione mineraria. Per quanto riguarda gli alti valori dell'Iglesiente - Sulcis, vi sono due possibili spiegazioni. La prima potrebbe mettersi in relazione con la presenza di *gossans* ferrosi alla sommità dei giacimenti di metalli di base. La seconda con l'alterazione di estesi affioramenti di sedimenti Paleozoici che potrebbero essere stati impregnati da fluidi idrotermali, di età Ercinica, ricchi in manganese.

1.3.7. – *Molibdeno (Mo)*.

Il molibdeno mostra (Tav. 9 f.t.) una distribuzione di valori del tutto simile a quella dell'antimonio. I valori anomali (> 8,6 ppm - percentile 95) ricadono nell'area sud-orientale in corrispondenza di rocce metamorfiche di medio grado del Cambriano - Ordoviciano. Rispetto all'antimonio, il molibdeno mostra anche alti valori in corrispondenza dei graniti Ercinici della Sardegna nord-orientale, dove sono presenti anche piccole concentrazioni minerarie.

1.3.8. – *Nichelio (Ni)*.

Il nichelio mostra (Tav. 10 f.t.) una distribuzione di valori simile al cobalto e al cromo; in particolare i più alti valori (> 49 ppm - percentile 90) cadono nelle aree orientali e sud-occidentali, mentre i valori bassi (< 29 ppm - percentile 50) cadono nell'area nord-occidentale in corrispondenza delle vulcaniti Terziarie.

1.3.9. – *Piombo (Pb)*.

Il piombo (Tav. 11 f.t.) ha una distribuzione di valori simile a quella dell'argento con valori alti (> 122 ppm - percentile 90) ad ovest di Villasalto e nell'area del Gennargentu. I più alti valori possono comunque essere osservati nella Sardegna sud-occidentale in corrispondenza del ben noto distretto minerario piombo - zincifero dell'Iglesiente - Sulcis - Arburese. Qui l'inquinamento provocato dalle attività minerarie è estremamente diffuso, anche in zone apparentemente non sospette e molto distanti dalle aree estrattive. I bassi valori (< 48 ppm - percentile 50) sono distribuiti soprattutto nelle aree settentrionali, dove si registrano solo arricchimenti in aree ristrette e ben definite.

1.3.10. – *Rame (Cu)*.

Il rame oltre a mostrare (Tav. 12 f.t.) una distribuzione di valori del tutto simile a quella del cobalto, del cromo e del nichelio, evidenzia isolati alti valori (> 133 ppm - percentile 99) nell'area nord-occidentale, in particolare a sud di Alghero, dove si trova la miniera di rame tipo «*porphyry copper*» di Calabona. Altri alti valori si ritrovano ad est di Sassari e vicino a Laconi in corrispondenza della miniera di Funtana Raminosa.

Gli alti valori degli elementi cobalto, cromo, nichelio e rame sono concentrati preferenzialmente nelle serie Paleozoiche delle Falde Interne e Esterne. Sono infatti ben note mineralizzazioni a Co-Ni sia nei «Porfiroidi Ordoviciani» vicino Villaputzu sulla costa orientale, che nelle serie affioranti a sud dei graniti di Arbus nell'area sud-occidentale. Le alte anomalie che si riscontrano a nord-ovest di Guspini potrebbero essere dovute alla presenza di «porfiroidi» presenti nell'area. Infine la linea tettonica di Villasalto nel Sarrabus, è una struttura regionale che sembra esercitare un forte controllo sull'associazione degli elementi Co-Ni-Cr-Cu.

1.3.11. – *Zinco (Zn)*.

Lo zinco mostra (Tav. 13 f.t.) una distribuzione di valori del tutto simile a quella del piombo con

i valori più elevati (> 286 ppm - percentile 90) intorno a Villasalto, nell'area del Gennargentu e soprattutto in corrispondenza del distretto minerario piombo - zincifero dell'Iglesiente - Sulcis - Arburese. Anche per lo zinco i valori bassi (< 126 ppm - percentile 50) si ritrovano nelle aree settentrionali dell'isola.

1.4. - DISTRIBUZIONE DEI *FACTOR SCORES* DELLE ASSOCIAZIONI FATTORIALI

La matrice delle componenti principali è stata ricavata da una matrice primitiva contenente 11 variabili per 16.890 osservazioni. L'elaborazione è stata effettuata su dati log-trasformati.

La tabella dei modelli fattoriali restituiti, tenendo conto dei litotipi e delle mineralizzazioni note dell'area in esame e dei processi fisico-chimici secondari dell'ambiente superficiale, fa ritenere come rappresentativo il modello fattoriale 3 (Tabella 2), che è responsabile del 62,1% della variabilità totale dei dati. Per la determinazione delle associazioni di elementi che fanno parte del modello fattoriale 3, si sono considerati come significativi i valori con *loadings* > 0.4 . Le associazioni risultanti dal modello 4 sono: F1: Zn-Mn-Pb-Cu; F2: Cr-Ni-F-Co; F3: Sb-Mo.

TAB. 2 - *Modelli fattoriali risultanti dall'analisi fattoriale dei dati geochimici dei campioni di sedimenti fluviali della Sardegna.*

- Factor models from the Sardinia stream sediment samples geochemical data.

Elementi	Fattori		
	1	2	3
Ag	0.137	0.320	0.204
Co	0.574	0.413	0.372
Cr	0.896	0.135	0.171
Cu	0.433	0.582	0.374
F	0.842	0.057	- 0.130
Mn	- 0.172	0.732	0.037
Mo	0.178	0.038	0.584
Ni	0.879	0.273	0.150
Pb	0.340	0.713	- 0.221
Sb	- 0.105	- 0.035	0.708
Zn	0.386	0.799	- 0.056
Varianza% (totale dati)	39.3	12.4	10.4

Per la rappresentazione della distribuzione dei valori dei *factor scores* delle singole associazioni fattoriali è stato utilizzato il metodo di interpolazione del reciproco della distanza alla potenza (*inverse weighted method*). La figura 2 mostra i *box-plots* dei *factor scores* delle quattro associazioni fattoriali prescelte.

1.4.1 - *Associazione F1 (Cr - Ni - F - Co).*

L'associazione F1, responsabile del 39,3% della variabilità totale dei dati presenta *loadings* di 0,89, 0,88, 0,84 e 0,57, rispettivamente per Cr, Ni, Fe e Co. Il rame partecipa subordinatamente a questa associazione con un *loading* di 0,43.

La distribuzione (Tav. 14 f.t.) dei *factor scores* ($> 0,80$ - percentile 95) mostra alti valori nell'area nord-orientale (Bitti-Siniscola), al Gennargentu (a nord-est di Laconi), nell'area sud-orientale (intorno a Villasalto) e nell'area meridionale (intorno a Teulada). Nelle aree sopra indicate affiorano soprattutto rocce di medio grado metamorfico del Cambriano-Ordoviciano appartenenti alle Falde Esterne. Bassi valori ($< -0,55$ - percentile 25) sono presenti nell'area nord-occidentale in corrispondenza di vulcaniti terziarie.

1.4.2. - *Associazione F2 (Zn - Mn - Pb - Cu).*

L'associazione F2, responsabile del 12,4% della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,80, 0,73, 0,71 e 0,58, rispettivamente per Zn, Mn, Pb e Cu. Anche il Co e l'Ag partecipano subordinatamente a questa associazione, con *loadings* di 0,41 e 0,32.

La distribuzione dei *factor scores* (Tav. 15 f.t.) mostra che gli alti valori ($> 1,20$ - percentile 95) cadono in corrispondenza delle rocce carbonatiche Cambriane, ospitanti il distretto minerario piombo-zincifero dell'Iglesiente-Sulcis (intorno a Iglesias e Teulada). Altre aree di alti valori cadono nella Sardegna sud e centro-orientale (soprattutto a sud di Villasalto e ad est di Laconi), dove sono presenti rocce di medio grado metamorfico (Falde Esterne).

Aree interessate da bassi *factor scores* sono individuate nella Sardegna nord-orientale (Monti-Bitti-Siniscola) e lungo una fascia che si estende da Laconi-Nurri a nord-est di Villasalto.

1.4.3. - *Associazione F3 (Sb - Mo).*

L'associazione F3, responsabile del 10,4% della variabilità totale dei dati, presenta *loadings* di 0,71 e 0,58 rispettivamente per Sb e Mo.

La distribuzione dei *factor scores* (Tav. 16 f.t.) mostra i più alti valori ($> 1,17$ - percentile 95) nella Sardegna nord-occidentale (fascia con orientazione nord-sud, da Castelsardo ad est di Montresta). I *factor scores* negativi ($< -0,52$ - percentile 25) cadono nella Sardegna sud-occidentale (area dell'Iglesiente-Sulcis, dove le rocce carbonatiche ospitano giacimenti di Pb-Zn e nella Sardegna settentrionale (intorno a Monti) dove affiorano diffusamente corpi plutonici granitici.

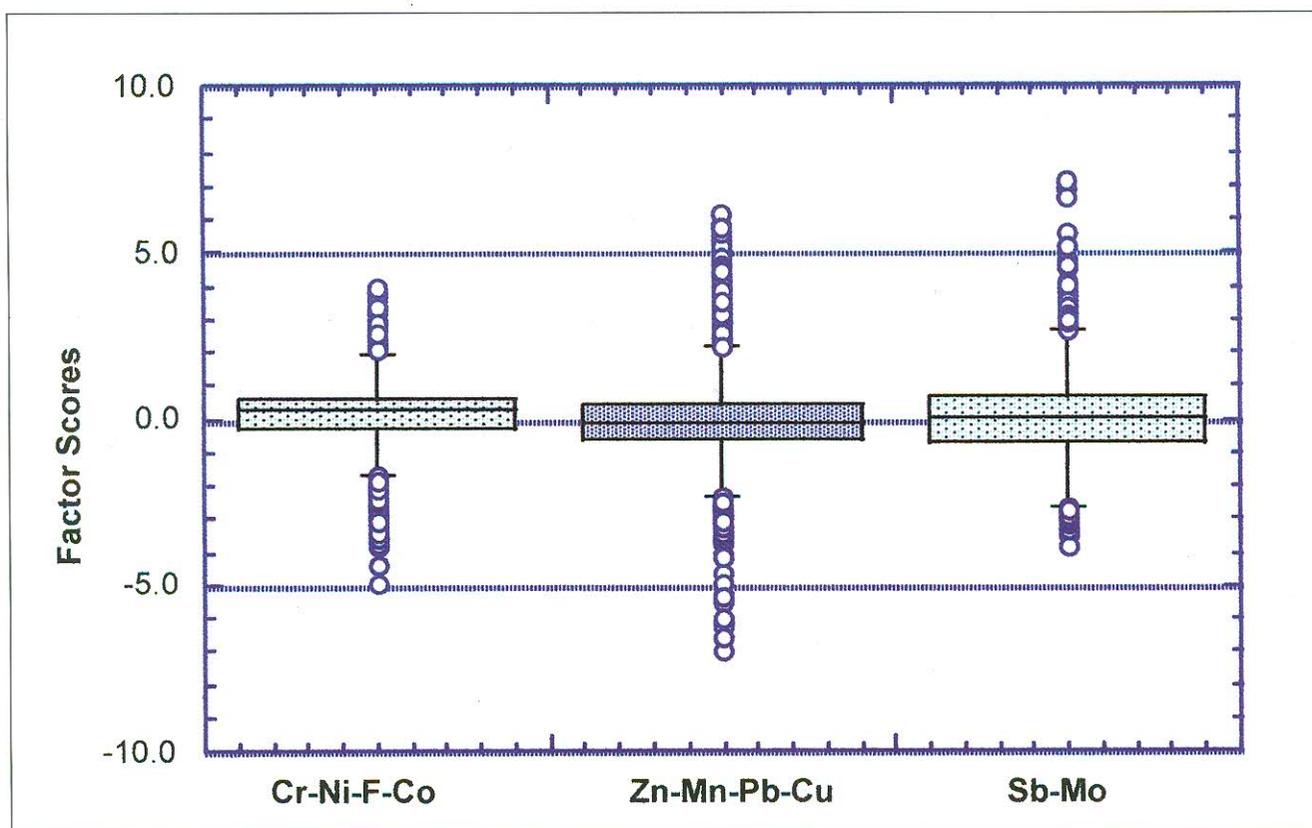


Fig. 2. - Box plots dei factor scores delle associazioni fattoriali risultanti dall'analisi fattoriale dei dati geochemici dei campioni di sedimenti fluviali della Sardegna.
- Box plots of the factor scores of the elemental associations from the factor analysis of geochemical data from the Sardinia stream sediment samples.

BIBLIOGRAFIA

- BARCA S. (1992) - *Phénomènes de résédimentation et flysch hercynien à facies 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.
- BARD J.P., BURG J.P., MAITE P. & RIBEIRO A. (1980) - *La grande chaîne Hercynienne d'Europe Occidentale en terme de tectonique des plaques*. In: Int. Geol. Congr., 26 th. (Paris), Mém. BRGM, **108**: 233-246.
- BECHSTÄDT T. & BONI M. Eds. (1994) - *Sedimentological, stratigraphical and ore deposits field guide of the autochthonous Cambro - Ordovician of Southwestern Sardinia*. Servizio Geologico d'Italia: 434 pp.
- BEHR M.J., ENGEL W., FRANKE W., GIESE P. & WEBER K. (1984) - *The Variscan Belt in central Europe: main structures, geodynamic implications, open questions*. Tectonophysics, **109**:15-40.
- 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. 75 th Anniversary Volume Special Publication n. 4, 18-28.
- CARMIGNANI L., CHERCHI A. & RICCI C.A. (1989) - *Basement structure and Mesozoic-Cenozoic evolution of Sardinia*. In: *The Lithosphere in Italy*, BORIANI A., BONAFEDÉ M., PICCARDO G.B. & VAI G.B., Acc. Naz. Lincei: 63-92.
- CARMIGNANI L., OGGIANO G. & PERTUSATI P.C. (1994a) - *Geological outlines of the Hercynian basement of Sardinia*. In: *Petrology, geology and ore deposits of the Paleozoic basement of Sardinia*. Guidebook to the B3 Field excursion, 16th General Meeting of the International Mineralogical Association, Pisa: 9-20.
- CARMIGNANI L., CAROSI R., DI PISA A., GATTIGLIO M., MUSUMECI G., OGGIANO G. & PERTUSATI P.C. (1994b) - *The Hercynian chain in Sardinia*. Geodynamica Acta, **5-4**: 217-233.
- CASSINIS G., ELTER G., RAU A. & TONGIORGI M. (1980) - *Verrucano: a tectofacies of the alpine-mediterranean Southern Europe*. Mem. Soc. Geol. Ital., **20**: 135-149.
- CHERCHI A. & TREMOLIERES P. (1984) - *Nouvelles données sur l'évolution structurale au Mésozoïque et au Cénozoïque de la Sardaigne et leurs implications géodynamiques dans le cadre méditerranéen*. C.R. Acad. Sci. Paris, **298**: 889-894.
- 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.
- 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.