

CARLO GARBARINO \*, NELLO MINZONI \*\*, GIORGIO PADALINO \*,  
SANDRO TOCCO \*, IVO URAS \*, MAURIZIO VIOLO \*

## LA SERIE PALEOZOICA DELLA SARDEGNA CENTRALE: UN PROGRAMMA DI RICERCHE GEOMINERARIE \*\*\*

RIASSUNTO. — È stato intrapreso, da oltre un anno, lo studio sistematico dettagliato delle formazioni paleozoiche della Sardegna Centrale. Tale studio è inserito nel programma geodinamico del Mediterraneo ed è teso ad accertare eventuali separazioni di provincie metallogeniche a causa della rotazione della microplacca sarda-corsa.

La presenza di mineralizzazioni di una certa consistenza (Funtana Raminosa, Correboi, Giacurru), la stratigrafia di dettaglio già fatta da uno di noi (N.M.), ha condizionato in un primo momento l'area di indagine.

Successivamente, sulla scorta dei primi dati ottenuti, si è esteso lo studio a tutte le formazioni paleozoiche della Sardegna centrale. Tali formazioni sono rappresentate da una potente serie ordoviciano-siluriano-« Postgotlandiano » (circa 3000 m) che rappresenta, sia pure nella sua continuità stratigrafica, numerose eteropie e variazioni sedimentologiche.

Un primo dato, che è il risultato di indagini geochimiche, petrografiche e paleogeografiche, è la individuazione di un orizzonte mineralizzato che, seppure discontinuamente e con diversi tenori e potenze, è sempre presente nei membri siluriani.

Dentro questo orizzonte si possono individuare differenti paragenesi: una a prevalente Fe con minori quantità di Cu e Zn, una a prevalente Cu con variabili quantità di Zn e Fe e una a prevalente Pb, Zn.

Tutte le formazioni siluriche presentano tenori geochimici elevati di  $CaF_2$ .

Numerosi orizzonti vulcanici e tufti sono intercalati a differenti livelli sia nell'Ordoviciano che nel Siluriano, livelli che testimoniano un'attività magmatica, variante come chimismo nel tempo, e alle quali si può collegare almeno una parte delle mineralizzazioni presenti nelle rocce stesse.

ABSTRACT. — Detailed researches have been engaged in the paleozoic sequence of central Sardinia (Italy). These researches participate in the geodynamic project of Mediterranean Sea in order to verify possible counterclockwise rotation of Sardinia from Eastern Spain; this rotation could be the cause of separation of metallogenetic paleozoic provinces of Spain and Sardinia microplate.

The paleozoic sequence of central Sardinia is made up by ordovician-silurian terms; slates, sandstones, tuffites, basic and acid vulcanites are prevalent in the Ordovician, while black shales and limestones are widely present in the Silurian.

This ordovician-silurian sequence is covered by the thick formation of the so-called « Post-gothlandian »: unfossiliferous phyllites and shales.

The thickness of the whole sequences amounts to 3000 meters, even if several heteropic

\* Centro Studi Geominerari e Mineralurgici del C.N.R.. Istituto di Giacimenti Minerari, Geofisica e Scienze Geologiche della Facoltà di Ingegneria - Università di Cagliari.

\*\* Istituto di Mineralogia dell'Università di Ferrara.

\*\*\* Lavoro eseguito con il contributo del C.N.R. nell'ambito del Centro Studi Geominerari e Mineralurgici del C.N.R..

and sedimentological variations may produce local reduction or thickening.

These thickness variations are closely connected with paleogeographic environments (f.i. presence of delta, effusive activity, etc.).

A first result of geochemical, petrological and paleogeographic researches is the location of a mineralized horizon in the silurian rocks.

Different paragenesis with prevalent Cu - Fe and Pb - Zn occur along this horizon producing large ore-bodies (as Funtana Raminosa mine, the largest producer of Cu in Sardinia; and Giacurru: 6 million of tons of Fe and Zn, etc.), or only traces with 1-2 % lead-zinc.

The basic vulcanites and the silurian sequence contain traces of  $\text{CaF}_2$  even if the big lodes of Ba - Pb - F are absent in this part of the Sardinia.

The Fe, Cu, Pb, Zn are included mostly in « green-rocks », skarns with garnets, amphiboles, epidotes, clorites, quartz. Going towards East the thermometamorphism decreases and lead-zinc mineralizations occur in carbonatic-quartzitic layers.

As preliminary conclusions, new areas, favorable for metals, have been discovered following stratigraphic and paleogeographic ore-prospecting criteria.

### Introduzione

Da oltre un anno alcuni ricercatori dell'Istituto di Giacimenti Minerari dell'Università di Cagliari, in collaborazione con alcuni ricercatori dell'Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Ferrara, hanno iniziato lo studio dettagliato della geologia, della petrografia, della geochimica e della giacimentologia in maniera da fornire dati sulle caratteristiche geologiche della serie ordoviciano-siluriana e per l'individuazione di mineralizzazioni di *Cu*, *Pb*, *Zn*, *Fe*, *F* di cui già si conosceva l'esistenza in alcune aree.

Lo scopo principale è quello quindi di ampliare non solo le conoscenze geologico-minerarie del settore, ma contribuire concretamente all'allargamento di aree indiziate per concentrazioni metallifere o comunque suscettibili di interesse minerario.

Un altro scopo è quello di verificare, nell'ambito del programma geodinamico del Mediterraneo, eventuali separazioni dalle provincie metallogeniche paleozoiche della Spagna nord-orientale, della microplacca Sardo-Corsa.

L'estremo dettaglio posto nello studio in questione nasce da un problema metodologico di fondo; e cioè è estremamente difficile oramai individuare aree mineralizzate senza l'aiuto di tutte le branche della scienza della terra e sarebbe anche economicamente troppo dispendioso disancorare le ricerche applicate stesse da una corretta ed esatta risoluzione di tutti i problemi geologici connessi.

Già nel Sarrabus-Gerrei l'équipe del prof. SCHNEIDER (1972) ha condotto un accurato studio giacimentologico e geologico (ivi comprese le datazioni paleontologiche) individuando orizzonti mineralizzati a metalli sostanzialmente distinti dai grandi filoni discordanti a Ba, F, Pb.

È nostra intenzione contribuire, nei limiti delle nostre possibilità, a inquadrare in uno schema unitario le differenti fenomenologie geologiche, ed arrivare in un futuro a una sintesi generale sulle condizioni sedimentologiche, giacimentologiche, e magmatologiche del bacino ordoviciano-siluriano della Sardegna.

### Schema geologico generale

La geologia generale della zona a Sud dei monti del Gennargentu è stata studiata e interpretata abbastanza dettagliatamente (MINZONI, 1975) anche se molti dati, soprattutto sulla magmatogenesi e i metamorfismi, sono ancora da sistemare in un quadro unitario e senza contraddizioni.

Va detto inoltre che gli studi geo-giacimentologici sono carenti in quanto, a parte i lavori di carattere generale di ZUFFARDI (1967, 1969) che impostano per primi in termini stratigrafici il problema della mineralizzazione, i lavori precedenti hanno sempre considerato il fenomeno metallizzante strettamente connesso al magmatismo ercinico (DESSAU, 1937; OGNIBEN, 1959) e quindi non hanno seguito in tutta la sua ampiezza stratigrafica e paleogeografica la deposizione dei metalli.

Seguendo la suddivisione stratigrafica di MINZONI (1972, 1975) le formazioni paleozoiche dell'area debuttano con la « formazione di Laconi » costituita da argiloscisti scuri, banchi carbonatici e quarzosi, orizzonti vulcanici e acidi, letti carboniosi. In questa formazione sono presenti anche alcuni livelli limonitici-ematitici che ricordano sedimenti del tipo « bog-iron »; ricerche palinologiche sui sedimenti carboniosi <sup>(1)</sup> hanno fin'ora dato risultati negativi, forse a causa del metamorfismo cui ha soggiaciuto tutta la serie. Sulla formazione di Laconi riposa concordemente una formazione costituita prevalentemente da « porfiroidi ».

Ai porfiroidi segue, sempre in concordanza, una potente serie siltitica o arenacea fine, senza fossili. Questa serie, per analogia con facies analoghe presenti in zone limitrofe fossilifere, può essere attribuita al Caradociano (CALVINO, 1961; 1967).

Dopo la precedente formazione detritica si ha un episodio vulcanico acido subaereo di limitata potenza: tufi cineritici e rioliti con tessitura fluidale.

Il parziale smantellamento di questi edifici vulcanici acidi ha dato luogo a conglomerati ed arenarie vulcano-clastiche poco mature che costituiscono la cosiddetta « formazione di Manixeddu » (BOSELLINI-OGNIBEN, 1968).

Su queste formazioni riposa un complesso molto caratteristico costituito essenzialmente da tufi spilitici, tufti e lave basiche con rari livelli argilloscistosi.

Queste vulcaniti, attribuite all'Ordoviciano superiore (MINZONI, 1975) dovrebbero essere il prodotto di un vulcanismo basico di mare basso, o subaereo, analogamente a quanto è stato osservato di recente nella zona a Nord di Muravera (Sarabus).

Il passaggio ai termini superiori è alquanto diversificato nelle diverse zone; infatti si può trovare o un complesso filladico-arenaceo, con lenti di rocce verdi talvolta mineralizzate, e rari letticelli fluoritici (formazione di Bruncu Su Pizzu) oppure sulle vulcaniti basiche può riposare direttamente il complesso calcari-scisti neri del Siluriano medio-superiore (SERPAGLI, 1967; 1970), attraverso una roccia verde di base e superfici di silicizzazione (Fig. 1).

(1) Eseguite dalle Dott.sse P. Pittau e M. Del Rio dell'Istituto di Geologia della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari.

In ultima analisi, le fenomenologie vulcaniche precedentemente viste dovrebbero aver creato una morfologia del fondo abbastanza ondulata con formazione di bacini e paleoalti.

È questa morfologia, probabilmente, che ha condizionato la rimobilizzazione, il trasporto e la concentrazione dei metalli che ora si rinvencono interstratificati nelle rocce stesse.

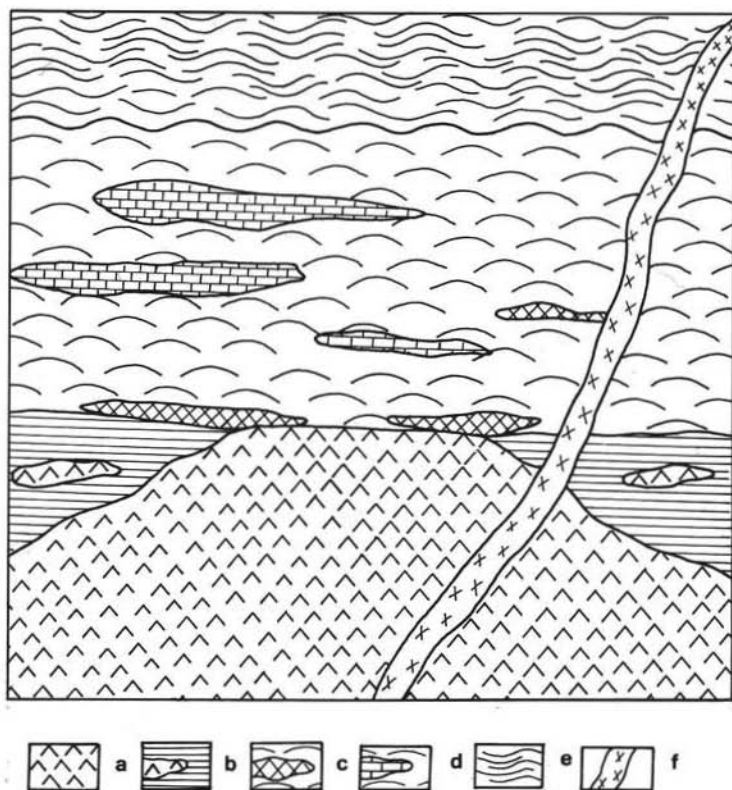


Fig. 1. — Colonna stratigrafica schematica della parte alta dell'Ordoviciano, del Siluriano e del Post-Gotlandiano: *a*) tufti e vulcaniti basiche (formazione di Serra Tonnai); *b*) filladi e arenarie di base del Siluriano (formazione di B.cu Su Pizzu); *c*) lenti di skarns (« rocce verdi ») per lo più mineralizzate; *d*) lenti calcaree, filladi e scisti grafitosi neri con graptoliti; *e*) filladi e arenarie del Post-Gotlandiano; *f*) porfidi.

La formazione filladica, con la base debolmente più arenacea, che ricopre le formazioni descritte, è stata chiamata dalla letteratura il « Postgotlandiano » (ATZENI, 1961) e anche se appare più o meno concordante con il sottostante siluriano, è probabile che tale concordanza sia piuttosto il prodotto delle azioni tettoniche su una superficie di trasgressione in certi casi chiaramente visibile.

Tutta la serie paleozoica è attraversata da filoni, a struttura porfirica, acidi e meno acidi. Sembra di potere distinguere tuttavia due fasi intrusive distinte.

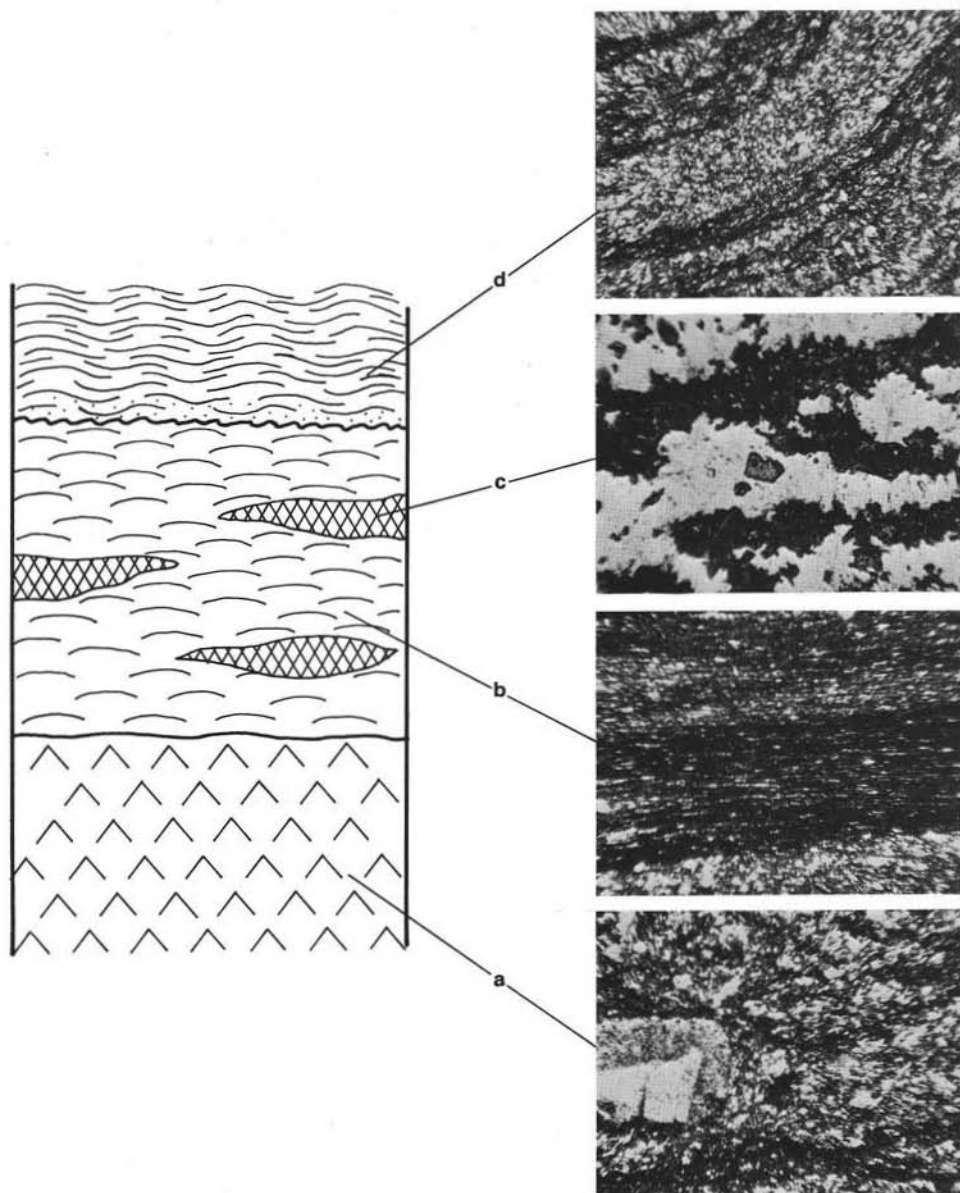


Fig. 2. — *a*) Vulcaniti basiche (formazione di Serra Tonnai); fenocristallo di plagioclasio zonato in una matrice feldspatico-cloritica. Nicols //; 190x. *b*) Siltiti grafiose nerastre (formazione siluriana). Nicols //; 190x. *c*) Skarn ad epidoto e quarzo (« rocce verdi » nella formazione siluriana). Nicols //; 190x. *d*) Fillade del Post-Gotlandiano. Nicols //; 190x.

Uno certamente connesso al magmatismo ercinico: è caratterizzato infatti da grandi filoni e ammassi di porfidi che attraversano anche il Postgotlandiano.



Fig. 3. — Skarns e cornubianiti listate mineralizzate; questo orizzonte è compreso tra le spiliti e tufiti a letto (formazione di Serra Tonnai; vedi *a* di fig. 1) e calcari e scisti neri a tetto (formazione siluriana; vedi *d* di fig. 1). Il colore bianco, visibile nella foto, è dovuto ai solfati, prodotti dall'ossidazione dei solfuri di Fe, Cu, Zn che costituiscono la mineralizzazione.



Fig. 4. — Banco di quarzo con mineralizzazione di blenda e galena, interstratificato nei calcari e scisti neri del Siluriano; la potenza del banco raggiunge circa 1,50 m.

Un'altra fase, più basica, sembra arrestarsi sotto il siluriano; questo dato, ancora da verificare su un'area più grande, farebbe sospettare la presenza di un ciclo magmatico caledonico d'altronde già ipotizzato da Coccozza (Coccozza et al., 1974).

La struttura tettonica fondamentale è costituita da un'ampia anticlinale il cui asse, diretto NW-SE, passa all'incirca per Laconi; questa struttura è di età caledonica, ed è stata successivamente ripresa dalla tettonica ercinica che ha prodotto una serie di pieghe sovrimposte con assi normali alla direzione principale (MINZONI, 1975).

È opportuno, sia pure solo preliminarmente, accennare ai fenomeni metamorfici che la serie sedimentaria ha subito.

Da un punto di vista dinamico le notevoli laminazioni, anche di rocce compatte come i porfidi, testimoniano la intensità del fenomeno dinamometamorfico.

Da un punto di vista termico le zone termometamorfosate sono molto più irregolari. Le rocce clastiche e vulcaniche in genere sembrano non aver risentito molto di gradienti termici elevati. L'unico orizzonte in cui appaiono gli skarns e notevoli banchi di « granatite » è quello siluriano dove sovente si rinvengono anche cornubianiti e scisti induriti e notevolmente silicizzati. Il « Postgotlandiano » invece è straordinariamente « fresco » da un punto di vista metamorfico, sia dinamico che termico, non andando oltre le filladi sericitiche.

La fig. 1 e la fig. 2 sintetizzano quanto esposto fin'ora. La parte più alta della serie ordoviciana-siluriana è caratterizzata da paleoalti e bacini che determinano eteropie e mancanza di termini litologici (fig. 1).

La sequenza sedimentare mostra una evoluzione di vulcaniti basiche che lasciano il posto, se manca la formazione filladica di Bruncu Su Pizzu, a scisti carboniosi, a calcari o skarns (« rocce verdi »). Questa sequenza è poi coperta, trasgressivamente, dal « Postgotlandiano » (Fig. 2) essenzialmente di tipo filladico-arenaceo, immune da termo-metamorfismo.

### Le mineralizzazioni

La serie vulcano-sedimentare descritta contiene lenti e ammassi di mineralizzazioni di solfuri misti. Queste mineralizzazioni, pur mantenendosi in livelli stratigrafici abbastanza costanti presentano tuttavia variazioni di paragenesi, di tenori e anche delle rocce incassanti.

Innanzitutto va premesso come il settore dell'Alto Flumendosa sia il primo produttore di rame in Sardegna con la miniera di Funtana Raminosa; produzioni minori, se confrontate con la produzione sarda, di Pb, Zn sono estratte sempre da Funtana Raminosa, mentre altre miniere e ricerche di Fe (Giacurru), di Pb, Zn sono oramai ferme da anni.

Un dato che emerge dai primi lavori di campagna è la ubicazione stratigrafica abbastanza costante delle masse e indizi mineralizzati.

Da Meana, verso SE passando attraverso Giacurru, Funtana Raminosa, M.te S. Gabriele, Seulo e Sadali le mineralizzazioni sono sempre ubicate nelle assise siluriane soprattutto alla base della formazione calcari-scisti neri.

In certi casi si tratta di lenti di « rocce verdi », per lo più skarns con granati, anfiboli, epidoti, clorite e quarzo. Queste rocce verdi costituiscono un orizzonte abbastanza continuo nelle rocce siluriane, ma laddove affiorano i calcari e gli scisti neri in genere questi skarns sono più limitati e relegati prevalentemente al letto dei calcari stessi.

Si presentano sovente con sottili laminazioni e conservano relitti di strutture sedimentarie o vulcano-sedimentarie (Fig. 3) e sembrano correlabili a una paragenesi prevalentemente a Cu, Fe.

Spostandosi verso SE la serie siluriana diviene meno termometamorfica e le mineralizzazioni sono per lo più ubicate in banchi carbonatici-quarzosi (Fig. 4); in questo caso prevalgono le paragenesi a Pb, Zn.

Sembra di osservare in ultima analisi una paragenesi a prevalente Fe nella zona di Giacurru (e in zone ubicate più a N), a Cu nel settore di Funtana Raminosa e S. Gabriele e di Pb, Zn verso Sadali.

Queste paragenesi che hanno spazialmente notevoli sovrapposizioni (tra Giacurru e Funtana Raminosa ad es. c'è Punto Luigi, una mineralizzazione a Fe, Cu, Zn e F) sono probabilmente connesse a variazioni paleogeografiche che hanno determinato diverse condizioni chimico-fisiche e hanno prodotto accumuli differenziati.

A scala geochemica, o meglio della diffusione dei solfuri e metalli, la correlazione stretta a determinati orizzonti stratigrafici è meno marcata.

In realtà già macroscopicamente stelline di calcopirite e fluorite sono visibili, sia pure in tenori limitati, sia nelle vulcaniti basiche (formazione di Serra Tonnai), sia nelle filladi e arenarie del Siluriano (Brunco Su Pizzu), sia infine negli scisti neri del Siluriano stesso. Frequenti livelletti quarzosi intercalati negli scisti neri o nei calcari del Siluriano mostrano tenori variabili di galena. Solo i banchi carbonatici più potenti, a parte letticelli e rari noduli di pirite, sembrano privi di solfuri di Cu, Pb e Zn.

Anche il « Postgotlandiano », a parte una minuta ed infrequente diffusione di cristallini di pirite, appare privo sia di importanti adunamenti metalliferi, a parte qualche indizio minore, almeno nell'area studiata.

I dati geochemici che si vanno accumulando, man mano che tutta l'area viene coperta da una fitta e sistematica campionatura, confermano alcune ipotesi che erano state fatte durante il lavoro di campagna.

I valori più alti per il Pb e lo Zn sono sempre legati alle « rocce verdi » intercalate nella serie siluriana; valori più discontinui sono presenti nelle filladi e arenarie basali del Siluriano e nelle vulcaniti basiche.

Una caduta brusca dei tenori si registra passando alle filladi del « Postgotlandiano ».

Il Cu, a livello geochemico, mostra alcune concentrazioni negli scisti neri oltrechè nelle « rocce verdi » siluriane.

Il fluoro è distribuito sia nelle vulcaniti basiche ma soprattutto, sotto forma di



lenticelle di fluorite, nelle filladi e arenarie di base del Siluriano oppure è presente, sempre come fluorite, negli skarns dove può raggiungere tenori intorno al 15-20 %. Laddove il tenore in fluoro aumenta, al microscopio sono visibili plaghe anedrali di fluorite, in genere associate a letti e a plaghe più quarzose.

### Conclusioni

Lo schema geologico e la descrizione sommaria delle mineralizzazioni di Fe, Cu, Pb, Zn, F sono abbastanza indicative delle condizioni paleogeografiche e forniscono criteri, sia pure in una fase preliminare, per una ricerca geomineraria differente da quella in genere seguita nel passato.

Si tratta, in ultima analisi, di considerare gli orizzonti mineralizzati un elemento stratigrafico continuo e distribuito su di un'area ben più vasta di quella in genere indagata per ogni singolo giacimento.

Il bacino interno paleozoico della Sardegna (COCOZZA ed alii, 1974) costituisce una piattaforma sulla quale fenomeni vulcanici e sedimentari si sono succeduti in condizioni di mare per lo più molto basso o addirittura in condizioni subaeree.

Il fenomeno nuovo per la metallogenia paleozoica sarda, dopo la fine della sedimentazione cambriana, è l'apparizione di elementi quali il F, il Cu e subordinatamente il Fe, metalli questi pressochè assenti nella provincia metallogenica cambriana.

È probabile, ma è un dato ancora da verificare, che questo fenomeno nuovo sia strettamente collegato agli eventi vulcanici che sono iniziati nell'Ordoviciano e si sono succeduti per tutto il Siluriano.

L'elaborazione degli edifici e del materiale smantellato dalle colate vulcaniche riforniva la sedimentazione detritica ed ha probabilmente giocato un ruolo importante nella rimobilizzazione, trasporto e accumulo dei metalli, così come deve aver giocato un ruolo importante l'alternarsi di condizioni di continentalità, di bacini lacustri e marini.

Non conosciamo ancora, ma numerosi sono i dati e le osservazioni in fase di elaborazione, il ruolo giocato dal metamorfismo caledonico ed ercinico e dalle intrusioni dei potenti e continui filoni di porfido; è probabile, ma non ancora certo, che locali riconcentrazioni e nuovi assetti tessiturali delle mineralizzazioni si siano verificate in conseguenza dei fenomeni termometamorfici, mentre non ci sembra che i filoni di porfido, soprattutto quelli legati al ciclo magmatico ercinico, abbiano avuto una decisiva influenza sulle assise mineralizzate.

Le considerazioni fatte valgono naturalmente per l'area indagata e ulteriori studi dovranno allargare l'indagine stessa negli altri settori delle assise ordoviciano-siluriane quali quelle immediatamente a Nord, Nord-Est e a Sud-Est. Un collegamento infine sarà possibile, quando si avrà il quadro completo, con il distretto del Sarrabus-Gerrei, distretto oltremodo interessante soprattutto da un punto di vista geominerario.

## BIBLIOGRAFIA

- ATZENI A. (1961) - *Contributo alla conoscenza della serie paleozoica metamorfica nel settore del Gennargentu*. Acc. Naz. Lincei, Rend. Cl. Sc. Fis. Mat. Nat., 29 (6), 566-572.
- BOSELLINI A., OGNIBEN G. (1968) - *Ricoprimenti ercinici in Sardegna*. Ann. Univ. Ferrara, 1 (1), 1-15.
- CALVINO F. (1961) - *Lineamenti strutturali del Sarrabus-Gerrei*. Boll. Serv. Geol. d'Italia, 81, 489-556.
- CALVINO F. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. F.o 227 « Muravera »*. Soc. Coop. Tipogr. Padova, 60 pp.
- COCOZZA T., JACOBACCI A., NARDI R. & SALVADORI I. (1974) - *Schema stratigrafico-strutturale del massiccio sardo-corso e minerogenesi della Sardegna*. Mem. Soc. Geol. It., 13, 85-186.
- DESSAU G. (1937) - *Studi sulla miniera di Funtana Raminosa*. Period. Min., 8 (2), 177-215.
- MINZONI N. (1972) - *Lineamenti geologico-petrografici delle formazioni paleozoiche affioranti nella zona di Meana Sardo (Sardegna Centra[le])*. Ann. Univ., Ferrara, 1 (6), 67-87.
- MINZONI N. (1975) - *La serie delle formazioni paleozoiche a sud del Gennargentu*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 347-365.
- OGNIBEN G. (1959) - *Le mineralizzazioni metallifere di Correboi*. Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, XXI, tav. 6, 1-46.
- SCHNEIDER H.-J. (1972) - *Schichtgebundene NE-Metal und F - Ba - Lagerstätten in Serrabus-Gerrei-Gebiet, SE - Sardinien. I. Bericht zur Lagerstättenkunde und Geologie*. N.J.b. Miner. Mh., H. 12, 529-541.
- SERPAGLI E. (1967) - *Prima segnalazione di Conodonti nel Siluriano della Sardegna e relative osservazioni stratigrafiche*. Acc. Naz. Lincei, 42 (6), 856-858.
- SERPAGLI E. (1970) - *Uppermost Wenlockian - Upper Ludlovian (Silurian) Conodonts from western Sardinia*. Boll. Soc. Paleont. It., 9 (1), 76-96.
- ZUFFARDI P. (1967) - *Sedimentary ores of the Middle Silurian in Sardinia*. In: « Sedimentary ores: ancient and modern », Proc. 15th Univ., Leicester, 207-239.
- ZUFFARDI P. (1969) - *La métallogenèse du plomb, du zinc et du baryum en Sardaigne: un exemple de permanence, de polygénétisme et de transformisme*. Ann. Soc. Géol. Belgique, 92 (III).