

Mineralizzazioni a solfuri associate alle vulcaniti terziarie della Sardegna

Nota I: primi risultati della prospezione dell'area di Perdaxius

SILVANA MARIA GRILLO, ANTONIO MAZZELLA, FELICITA MELIS, ROSETTA PORCU,
SALVATORE PRETTI, SANDRO RIVOLDINI, IVO URAS

Istituto di Giacimenti Minerari, Geofisica e Scienze Geologiche, Facoltà di Ingegneria,
Piazza d'Armi, 09123 Cagliari

GIANFRANCO CARCANGIU, SANDRO FADDA, MADDALENA FIORI,
MARCELLA PALOMBA

Centro Studi Geominerari e Mineralurgici del C.N.R., Facoltà di Ingegneria,
Piazza d'Armi, 09123 Cagliari

CARLO MARINI

Dipartimento di Scienze della Terra, Via Trentino 51, 09127 Cagliari

RIASSUNTO. — Nel quadro di un programma di ricerche, recentemente avviato, tendente ad investigare la presenza di mineralizzazioni associate al Vulcanismo Terziario Sardo, l'area in titolo è stata prescelta come area pilota per la definizione delle metodologie da utilizzare in funzione delle sue caratteristiche geologico-strutturali e logistiche.

È stata eseguita una campionatura sistematica a maglia quadrata con lato di 100 m, che ha interessato esclusivamente le rocce eruttive ed i suoli sviluppati su di esse.

L'analisi per la ricerca dei metalli di base, eseguita per via spettrofotometrica, ha dimostrato l'esistenza di concentrazioni che si possono ritenere anomale e che incoraggiano l'approfondimento delle indagini.

Si è avviato, inoltre, lo studio sul chimismo delle rocce incassanti, dei prodotti di alterazione e dei metalli presenti mediante analisi microscopiche, diffrattometriche e spettrometriche.

Parole chiave: prospezione, vulcaniti terziarie, campionatura, Sardegna.

SULPHIDE DEPOSITS ASSOCIATED TO SARDINIAN TERTIARY VOLCANICS. NOTE I: FIRST RESULTS OF PROSPECTING IN THE PERDAXIUS AREA (SARDINIA)

ABSTRACT. — The paper reports on the results of recent prospecting for sulphide occurrences related to the Tertiary volcanism in Sardinia. The area concerned was chosen as a test site in order to define the field and laboratory methods to be used in subsequent surveys, owing to its logistical, geological and structural features.

Geochemical sampling, both of volcanic rocks and related soils, was carried out over a regular 100×100 sqm grid.

The spectrophotometric analysis of these samples for base metals revealed anomalous concentrations in certain places and these are investigated in greater depth.

The characteristics of the volcanic rocks and of their alterations as well as rocks in the vicinity of contact are investigated by means of microscopic, diffractometric and spectrometric analysis.

Key-words: prospecting, sampling, tertiary volcanism, Sardinia.

Premessa

Le manifestazioni di sostanze economicamente utili correlate al vulcanismo terziario in Sardegna sinora note e studiate sono prevalentemente legate a fenomeni di alterazione idrotermale, come certi giacimenti di argille, o esalativi, come per certe mineralizzazioni manganesifere, o decisamente supergenici, nel caso di altre manifestazioni di argille e di manganese. Fenomeni francamente idrotermali sembrano essere limitati a manifestazioni di scarso interesse a Fe, Mn e fluorite, oltre agli indizi a solfuri ricorrenti nella parte nord-occidentale dell'Isola (da Bosa ad Alghero).

Ci si è dunque proposti di avvalorare un programma di studi che, tenendo conto delle recenti vedute sull'evoluzione geologico-strutturale del Mediterraneo occidentale, verificano l'eventuale manifestarsi di fenomeni metallogenetici del tipo « porphyry copper ». Questa nota riferisce sui primi risultati ottenuti in un'area campione, situata presso l'abitato di Perdaxius, nel Sulcis (Sardegna sud-occidentale).

Situazione geologica generale

L'area studiata è situata al bordo nord-occidentale della Fossa di Narcao, dove questa si congiunge con la Fossa del Sulcis propriamente detta; vi sono dunque presenti sia terreni paleozoici del pilastro nord della Fossa, sia terreni terziari (fig. 1).

Il Paleozoico è rappresentato dal Cambriaco, che vi ricorre nei termini classici (COZZA T., 1979; CARMIGNANI et al., 1982, 1986).

La formazione di Nebida compare esclusivamente nell'estremo lembo nord-occidentale; si tratta di alternanze di arenarie e argillose, tipiche della facies sulcitana. Più importante è la formazione di Gonnese, costituita prevalentemente da calcari grigi, mentre le dolomie sono nettamente subordinate; queste rocce affiorano estesamente, sia pure in modo discontinuo, per la presenza dei terreni eruttivi terziari, nella parte occidentale (dorsale Arcu Is Tauleddas - Saba Sa Rutta) e settentrionale (Is Ferreris, Cuccuru Is Soddinis, Su Sindigu) dell'area; vi si notano alcune piccole manifestazioni a barite e Pb-Zn, sia in pieno calcare (parte occidentale) che al contatto tra calcare e dicchi andesitici (ricerche per Pb di S. Simplicio a nord).

La formazione di Cabitza che affiora negli avvallamenti che bordano ad ovest e a nord Monte Mordegu, è costituita da banchi argilloscisti ed arenacei; i calcari nodulari vi appaiono discontinui e talora silicizzati (parte sud-ovest).

Ricordiamo infine un importante dicco di porfido, correlabile col ciclo magmatico ercinico, che nella nostra area affiora a Saba Sa Rutta e prosegue per lungo tratto verso ovest.

Questo basamento antico è stato ricoperto in età terziaria dai sedimenti clastici della formazione del Cixerri (PALA et al.,

1982) e, più tardi, dai prodotti del vulcanismo oligo-miocenico.

Le « arenarie » del Cixerri sono rappresentate, in quest'area, da banchi prevalentemente conglomeratici e subordinatamente arenacei, a clasti scistosi, granitici e quarzosi; affiorano prevalentemente nella parte meridionale dell'area ed in un grande lembo nel Monte Perda, con potenze modeste.

Maggior varietà e diffusione presentano le rocce eruttive: infatti, almeno per quanto riguarda le osservazioni di campagna, esse compaiono come breccie, dicchi e filoni ed in facies apparentemente effusive. Per quest'ultimo tipo chiariremo più avanti il nostro concetto.

Le breccie costituiscono principalmente il Monte S. Michele Arenas, subito a SW dell'area in studio: si tratta di una potente pila di materiale brecciforme, a blocchi anche molto grossi, a cui si alternano, nella parte più alta, sottili intercalari lavici (CABOI & MASSOLI NOVELLI, 1968).

I dicchi ed i filoni, caratterizzati macroscopicamente dalla presenza di grossi fenocristalli anfibolici, ricorrono specialmente nella parte settentrionale, incassati nelle rocce cambriche, ma anche nelle citate breccie e nei banchi conglomeratici del Cixerri.

Al contatto con le rocce carbonatiche si osservano frequentemente fiammate di termometamorfismo, con minerali di neoformazione e ricristallizzazione dei carbonati e, talvolta, lenti di ossidi di Fe con relitti di pirite; il contatto con i conglomerati terziari, invece, è spesso marcato da silicizzazione e disseminazione di pirite in minuti cubetti. Disseminazioni di pirite e pirrotina sono frequenti pure all'interno delle rocce eruttive stesse.

Le facies effusive, infine, appaiono tali in campagna per la loro apparente sovrapposizione alle arenarie del Cixerri; mentre lo studio microscopico, come vedremo, lascia dei dubbi.

Queste rocce sono presenti nella parte sud-orientale dell'area investigata. Riteniamo di dover ricordare ancora l'esistenza di importanti fenomeni di alterazione, che compaiono sporadicamente, ma con particolare intensità a Cuccuru Is Soddinis. Nelle zone soggette a tale alterazione la roccia appare più o meno intensamente argillificata e solcata da fasci di venette, talvolta incrociatisi

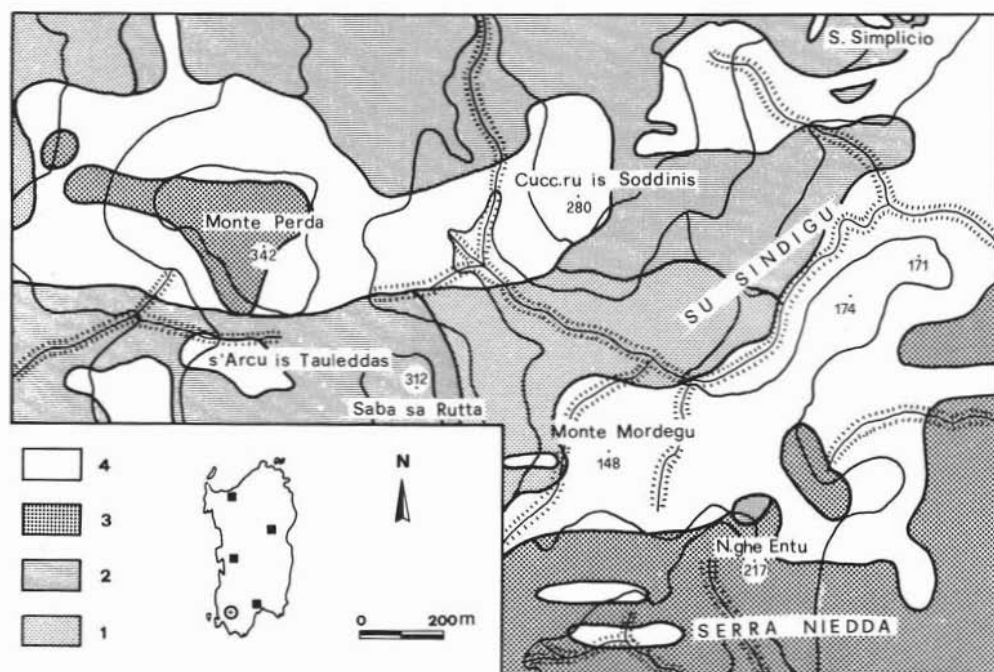


Fig. 1. — Rilevamento geologico schematico della zona prospettata. 1) Cambrico: termini terziari. Formazioni di Nebida e Cabitza indifferenziate; 2) Cambrico: termini carbonatici. Formazione di Gonnese; 3) Terziario: formazione del Cixerri; 4) Terziario: Vulcaniti. — Geological sketch map of the prospecting area (scale 1:5,000). 1) Cambrian: terrigenous members. Nebida and Cabitza Formation; 2) Cambrian: carbonatic member. Gonnese Formation; 3) Tertiary: Cixerri Formation; 4) Tertiary: Volcanics.

a stock-work, costituite prevalentemente da quarzo e calcedonio, calcite e zeoliti, tra cui frequentemente è ben riconoscibile la stilbite; in queste venette non sono infrequenti i solfuri e gli ossidi di Fe.

Richiami sul vulcanismo terziario sardo

Da quanto visto sopra, nell'area di Perdaxius ricorrono rocce eruttive terziarie caratterizzate da una giacitura intrusiva subvulcanica, dalla presenza di fenomeni termici di contatto, da alterazioni e da disseminazioni di solfuri.

Posto ciò, è interessante esaminare rapidamente le cognizioni basilari sul vulcanismo terziario sardo.

Tale vulcanismo, di tipo « calcalino », si è sviluppato tra i 29 ed i 13 Ma (DERIU, 1962). Esso si inserisce nel quadro degli eventi che hanno caratterizzato le interrelazioni tra la placca europea e la placca africana in tempi geologici recenti (DEWEY et al., 1973).

A partire dal Terziario inferiore, infatti, la Sardegna, che doveva essere collegata con la massa continentale europea, incominciò ad essere interessata da un'intensa attività tettonica disgiuntiva, con conseguenti fenomeni di rifting e formazione di strutture a graben (SAVELLI et al., 1978).

A tali strutture appare collegato il vulcanismo calcalino che debutta con prodotti di tipo andesitico e basaltico, datati 29 Ma (SAVELLI, 1975; BELLON, 1976), nella Sardegna sud-occidentale, nella Fossa del Cixerri (COCOZZA & MASSOLI NOVELLI, 1967) e di Narcao (LAURO & DERIU, 1957).

Successivamente i fenomeni vulcanici si estesero su aree molto più vaste, sempre nella metà occidentale dell'Isola. In seguito (21-20 Ma) alle lave andesitiche si alternarono prodotti ignimbritici (SAVELLI, 1975), con particolare abbondanza nelle aree settentrionali.

Il ciclo termina con prodotti andesitici, dacitici e riolitici nel Miocene (14-13 Ma) (COULON et al., 1974).

Sulla base delle ricostruzioni dell'evoluzione strutturale, dei caratteri dei prodotti magmatici e del loro chimismo, è stata ipotizzata l'impostazione di una zona di subduzione con immersione a NW o NNW (COULON, 1977), in cui veniva consumata la crosta oceanica, collocata ad E della Sardegna (SAVELLI et al., 1978). L'evolgersi di tale zona di subduzione avrebbe condizionato i rifting crustali ed una distensione di retroarco, cause determinanti del distacco dal margine europeo, e relativa deriva verso SE, del blocco sardo-corso (BECCALUVA et al., 1980).

Metodologie di campagna e di laboratorio

Su tali presupposti, nelle descritte condizioni di campagna, è stato impostato un programma di prospezione tendente ad appurare l'esistenza di mineralizzazioni di tipo « porphyry ».

La scelta dell'area di Perdaxius come primo « test » per lo studio è avvenuta in seguito ad alcuni controlli preliminari, che hanno mostrato, a grandi linee, le caratteristiche geologiche prima descritte. Delimitata l'area di maggior interesse, su essa è stata impostata una maglia quadrata di 100×100 m², all'interno del riquadro delimitante la figura (dimensioni massime: 2.500 m in senso EW e 1.500 in senso NS). Complessivamente vi si contano 328 vertici; ma, poiché la campionatura sistematica ha interessato esclusivamente le litologie eruttive, le effettive stazioni di campionatura sono risultate 191.

La campionatura è stata eseguita sia nelle rocce che nei suoli; mentre per questi ultimi la campionatura ha potuto interessare tutti i punti, per le rocce sono naturalmente mancanti molti punti, dove la copertura da parte

dei suoli risultava completa: pertanto sono stati prelevati solo 90 campioni sistematici di roccia.

Ovviamente, nel corso della campionatura e del rilievo, sono stati prelevati numerosi campioni fuori maglia; essi, pur non comparando direttamente nelle trattazioni statistiche, sono stati preziosi negli studi petrografici e mineralogici; la loro importanza crescerà nei successivi approfondimenti della ricerca.

I campioni della maglia sistematica sono stati tutti analizzati, mediante spettrofotometro A.A. Perkin-Elmer, per Pb, Zn, Cu e Ag.

Parte dei campioni litoidi, scelti col criterio di rappresentare un intorno areale il più possibile regolare ed uniforme, sono stati sottoposti a studio minerografico e petrografico, nonché all'analisi degli elementi maggiori. Come si è già detto, sono state studiate anche sezioni lucide e sottili di campioni fuori maglia.

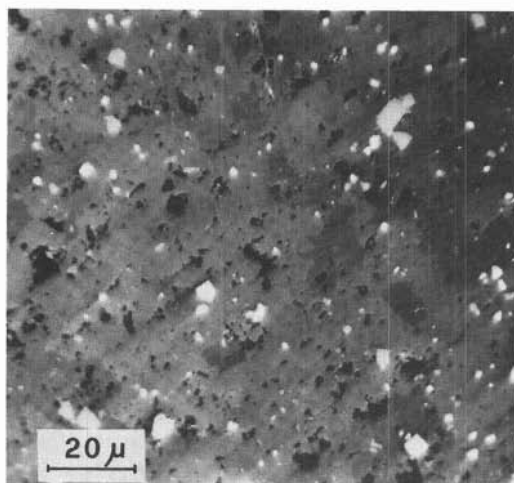
Parte dei campioni dei suoli è stata anche utilizzata per altri studi (diffrattometrici e termodifferenziali) per definire la composizione mineralogica; in questo senso il criterio di scelta si è basato sulla posizione morfologica (alti e fondi valle), sempre cercando di rispettare una certa rappresentatività areale.

Studi sulle rocce

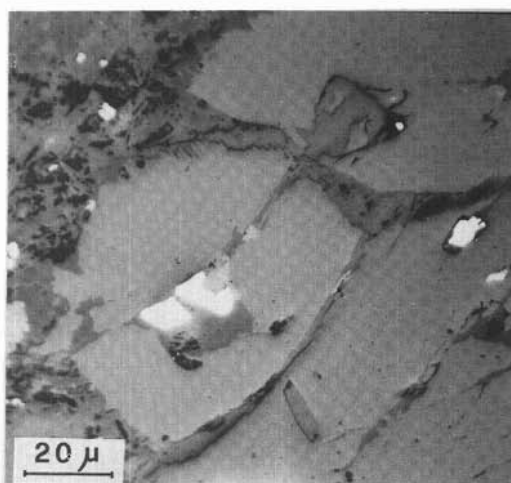
Come si è già detto, oltre alle analisi per gli oligoelementi parte dei campioni è stata sottoposta ad analisi chimiche complete ed a studi petrografici e mineralogici.

Questi studi sono ancora lungi dall'essere completi; esistono infatti altri gruppi di ricerca che si occupano specificamente dell'eruttivo terziario sardo sotto l'aspetto più strettamente petrografico, per cui riteniamo

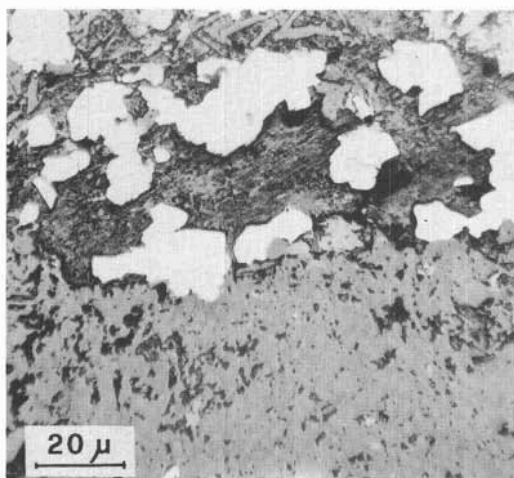
Fig. 2. — a) Disseminazione di minuti individui di pirite (bianca, per lo più euedrale) e calcopirite (grigio chiaro). Sez. luc. N // . b) Pirite (individui più grossi euedrali) e calcopirite (individui più piccoli) in fenocristalli d'anfibolo. Sez. luc. N // . c) Aggregato di grossi cristalli di pirrotina. d) Calcopirite che infila un granulo presumibilmente quarzoso. Sez. luc. N // . e) Galena (bianco) in parte ossidata (grigio medio). Nella parte ossidata centrale è presente covellite (piccoli individui grigio chiaro). Sez. luc. N // . f) Blenda (grigio chiaro) con calcopirite (bianco) ai bordi e in piccoli smistamenti. Sez. luc. N // . — a) Dissemination of euhedral pyrite (white) and chalcopyrite (grey) small individuals. b) Pyrite (larger, euhedral individuals) and chalcopyrite (smaller individuals) in amphibole phenocrysts. c) Large Pyrrhotite crystal aggregate; d) Chalcopyrite injecting a granule presumably of quartz; e) Galena (white) partly oxidized (medium grey). In the inner oxidized zone, covellite (small, light grey individuals) is present; f) Sphalerite (light grey) with chalcopyrite (white) along the border and small exsolutions.



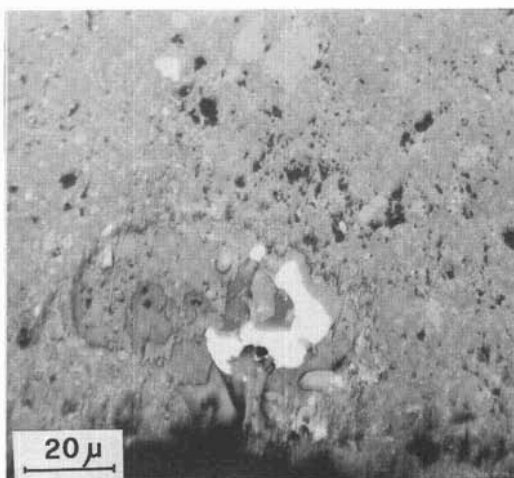
a)



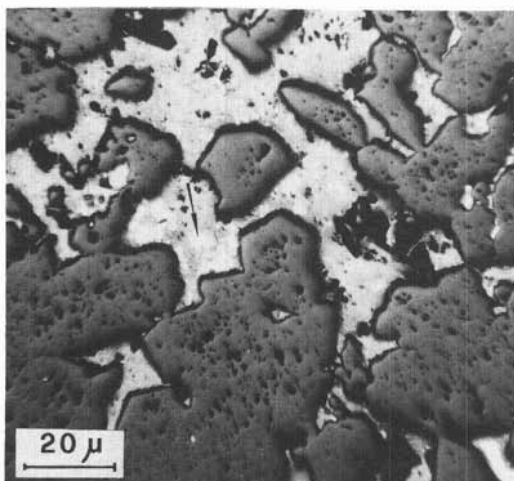
b)



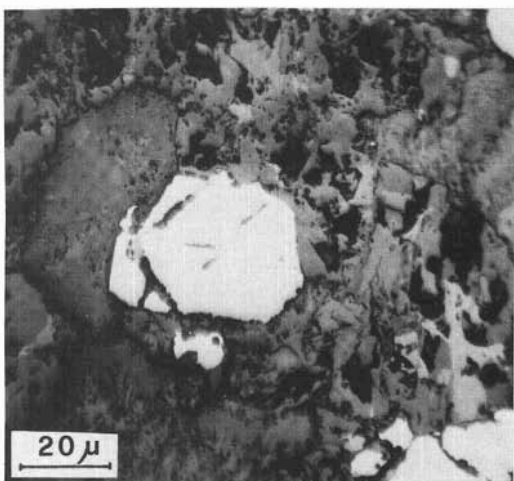
c)



d)



e)



f)

di poter in futuro utilizzare risultati più completi in proposito. Sarà nostra cura approfondire gli aspetti minerografici, oltre quelli riguardanti problemi particolari, quali le alterazioni ed i fenomeni termici di contatto.

a) Caratteri chimici

Come già detto, in questo studio preliminare ci occupiamo esclusivamente delle rocce eruttive.

Sono stati analizzati complessivamente 14 campioni di roccia inalterata scelti nel modo prima descritto.

Non riteniamo opportuno riportare in tabella i risultati analitici, poiché, per i motivi sopra detti, lo studio è lungi dal potersi considerare completo.

Possiamo tuttavia dire che tutte le rocce analizzate rientrano nel campo delle rocce sature e quasi tutte in quello delle andesiti nel diagramma di DE LA ROCHE (1980), mentre le rimanenti ricadono in quelli delle daciti e delle andesiti basaltiche. In alcuni casi si sono osservati valori anormalmente alti in Ca e Fe, ma le corrispondenti sezioni sottili hanno mostrato trattarsi di rocce alterate.

b) Studio petrografico

I caratteri microscopici delle rocce studiate appaiono molto più uniformi, dal punto di vista strutturale e tessiturale, di quello che le osservazioni di campagna sembravano indicare. Infatti si tratta, in tutti i casi, di rocce intrusive subvulcaniche con struttura olocristallina talvolta decisamente porfirica, ma più spesso caratterizzata da una regolare variazione delle dimensioni degli individui cristallini, da quelli della pasta di fondo ai fenocristalli; la tessitura è invece isotropa.

Tra i fenocristalli, i più abbondanti sono solitamente i plagioclasti, seguiti dagli anfibioli; in certi casi però l'ordine di abbondanza si inverte ed allora si hanno rocce caratterizzate da pasta di fondo microcristallina, fenocristalli di plagioclasio decisamente subordinati e fenocristalli anfibolici di dimensioni notevoli, millimetriche o addirittura centimetriche.

Il plagioclasio è quasi sempre idiomorfo, spesso leggermente o in gran parte riassorbito; è sempre zonato e/o geminato (quasi sempre secondo la legge dell'albite). Le de-

terminazioni sui geminati hanno indicato composizioni comprese tra An 35 % e An 65 %; anche se è possibile notare rilevanti differenze all'interno di uno stesso campione (esempio An 53 % - An 63 %), la composizione media oscilla in genere tra An 55 % e An 65 %.

Questi cristalli, se pure talvolta appaiono abbastanza freschi, sono di solito torbidi, o ricchi di inclusioni, o decisamente alterati; i prodotti d'alterazione più frequenti sono epidoto, calcite, clorite e quarzo.

L'anfibolo più frequente è l'orneblenda bruna. I cristalli, quasi sempre idiomorfi, spesso geminati, presentano il classico pleocroismo di questi minerali, sono talvolta bordati da ossidi di Fe ed altri minerali opachi; i fenomeni di alterazione, più o meno marcati, non sono frequenti ed i prodotti più comuni sono clorite (talvolta riconoscibile come pennina), calcite ed epidoto.

Un altro importante femico è un pirosseno di tipo augitico, quasi sempre in individui idiomorfi, talora dai bordi sfrangiati, di colore variabile dal verde al bruno, molto pallidi; sono frequenti le geminazioni e quasi sempre presenti alterazioni in calcite e clorite.

Questo pirosseno si associa in alcuni casi all'anfibolo, mentre in pochi altri costituisce l'unico femico.

Nella pasta di fondo, oltre ai minerali già citati, compaiono numerosi prodotti d'alterazione; è da rimarcare la presenza di piccole plaghe e venette di quarzo e feldspati alcalini, solitamente accompagnati da abbondante calcite; sono anche abbondantissimi i minerali opachi, sia in fine disseminazione che in plaghette.

Questi caratteri, come si è detto, sono validi praticamente per tutte le rocce eruttive studiate; solo in alcuni campioni, relativi a piccoli filoni, si è osservata una certa differenza nella pasta di fondo, che può essere criptocristallina o anche parzialmente vetrosa.

c) Studio minerografico

Abbiamo già accennato alla presenza di solfuri, sia nelle rocce incassanti, sia nelle rocce eruttive in studio. In queste ultime, si è detto, sono state osservate, macroscopicamente, disseminazioni a prevalenti solfuri di Fe.

Lo studio microscopico ha confermato la netta prevalenza di tali solfuri, sotto forma di pirite e pirrotina, ma ha rilevato anche la presenza di galena, blenda, calcopirite ed arsenopirite.

I primi minerali, che presentano le caratteristiche microscopiche solite (se si eccettua la pressoché totale assenza di pleocroismo nella pirrotina) compaiono in tre modi: comunemente come disseminazione nella pasta di fondo (fig. 2 a), di solito in individui minutissimi, ma anche in cristalli euedrali più grandi, nel caso della pirite; oppure meno di frequente, all'interno o ai bordi dei grossi individui silicatici (fig. 2 b), sia in cristalli isolati sia in venette, con evidenti

fenomeni di sostituzione o di riempimento di microfratture; infine si osservano anche in plaghe (fig. 2 c), in tal caso frequentemente associati con gli altri solfuri.

Tra questi ultimi la calcopirite (fig. 2 d), sempre in piccole quantità, ma presente di frequente, è ben riconoscibile per le sue caratteristiche, specie in contrasto con la pirite.

La galena è stata osservata in plaghe più ampie, ma appare strettamente associata a rocce provenienti dalle immediate vicinanze dei contatti con le rocce carbonatiche cambriche (fig. 2 e).

La blenda (fig. 2 f) e l'arsenopirite, quest'ultima spesso in individui idiomorfi, sono state osservate in un numero minore di casi.

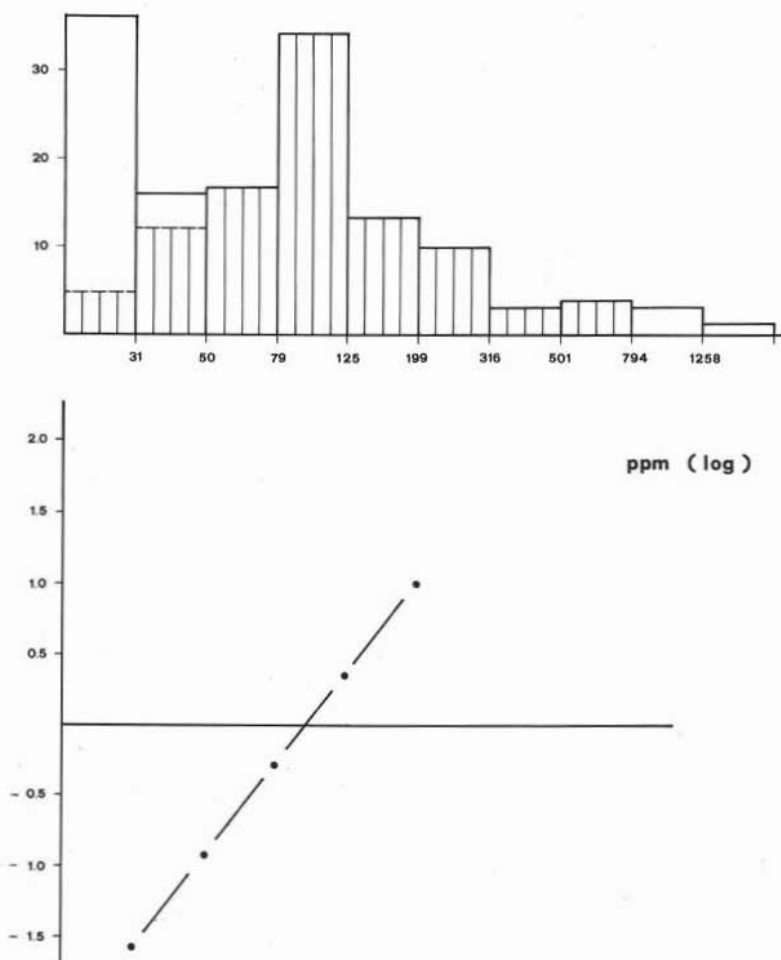


Fig. 3. — Istogramma logaritmico del Pb con la relativa retta di Henry. In bianco le parti relative a valori fuori della popolazione principale. — Histogram of Pb with its Henry's line. Parts relative to values outside the main population are in white.

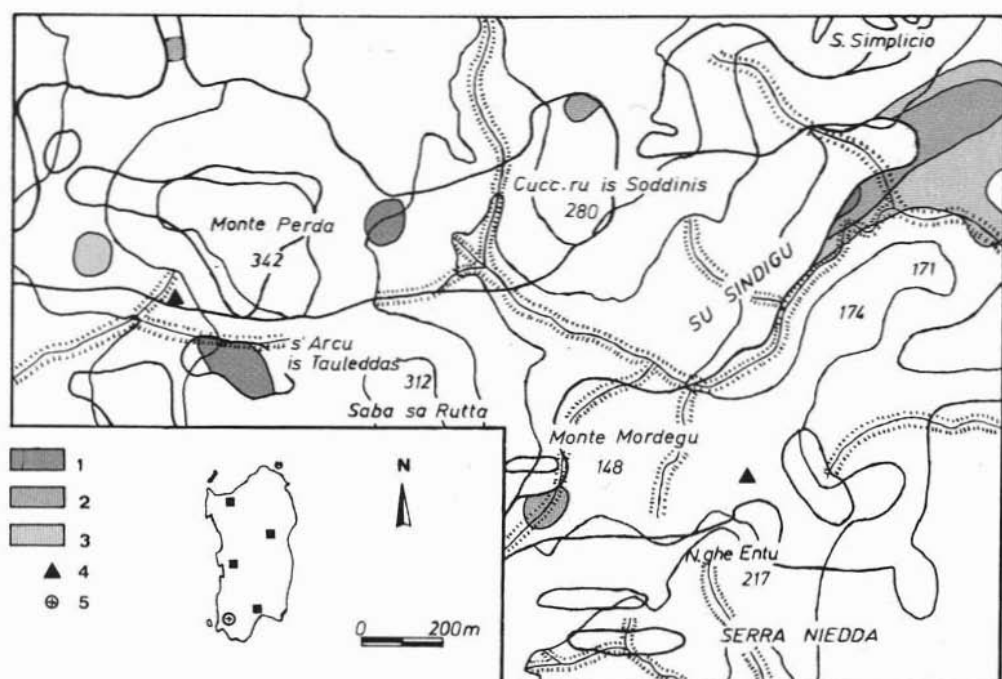


Fig. 4. — Mappa delle anomalie dei valori in Pb. 1) Anomalie certe nei suoli (valori superiori a 915 ppm); 2) Anomalie probabili nei suoli (valori compresi tra 435 e 915 ppm); 3) Anomalie possibili nei suoli (valori compresi tra 207 e 435 ppm); 4) Valori anomali in roccia (valori superiori a 500 ppm). 5) Ubicazione dell'area studiata. Sono riportati i limiti geologici di fig. 1. — Map of anomalous values in Pb. 1) Surely anomalous values in soils (more than 915 ppm); 2) Probably anomalous values in soils (between 435 and 915 ppm); 3) Possibly anomalous values in soils (between 207 and 435 ppm); 4) Anomalous values in rocks (more than 500 ppm); 5) Location of investigated area. Geological boundaries (from fig. 1) are represented.

Presenti, tra i minerali metallici, l'ematite e la magnetite, solitamente in concrescimenti, sempre in scarsissima quantità.

Osservazioni sui campioni di suolo

L'area studiata, quasi completamente denudata o coperta da macchia mediterranea, ha una coltre eluviale molto povera, con spessori oscillanti da alcuni decimetri nei fondi valle a pochi centimetri sugli alti morfologici. Tale coltre è tuttavia pressoché continua ed ha consentito una campionatura completa. I suoli derivanti esclusivamente da rocce eruttive sono riconoscibili dal colore variante dal rosso al rosso-violaceo, mentre quelli derivanti dagli altri litotipi (su cui predominano i calcari) hanno varie sfumature dal giallastro al bruno scuro. Si osservano naturalmente tutte le possibili composizioni, dai suoli monogenici di vari alti ed alcuni pendii a quelli estremamente commisti

di certi fondi valle.

In tale situazione, abbiamo dunque ritenuto utile individuare i principali componenti mineralogici dei suoli, per trarne informazioni sul modo di ricorrere dei metalli studiati.

Dato lo scopo del nostro lavoro, abbiamo cercato di studiare suoli provenienti del tutto (nel caso degli alti) o per lo meno in prevalenza (suoli in valle) dalle rocce eruttive. Sono stati dunque selezionati circa 40 suoli, che sono stati sottoposti ad analisi termogravimetriche e diffrattometriche, secondo le metodologie correnti.

Le analisi hanno dimostrato che, dal punto di vista qualitativo, non esistono importanti differenze tra suoli su alti e suoli in valle.

I costituenti fondamentali sono risultati costantemente il quarzo (decisamente prevalente) ed i feldspati l.s.. Normalmente sono presenti anche minerali argillosi, salvo in

alcuni suoli degli alti. Tra questi minerali, l'illite è pressoché ubiquitaria; la montmorillonite è decisamente più abbondante nei suoli in valle, mentre nell'altro gruppo è nettamente subordinata o anche assente.

Le analisi termodifferenziali, inoltre, hanno indicato la presenza costante di idrossidi

di Fe amorfi e di abbondante sostanza organica.

Distribuzione di Pb, Zn e Cu

Lo studio dei tenori in Pb, Zn e Cu è stato eseguito sia sui campioni di suolo sia su quelli di roccia prelevati nella maglia

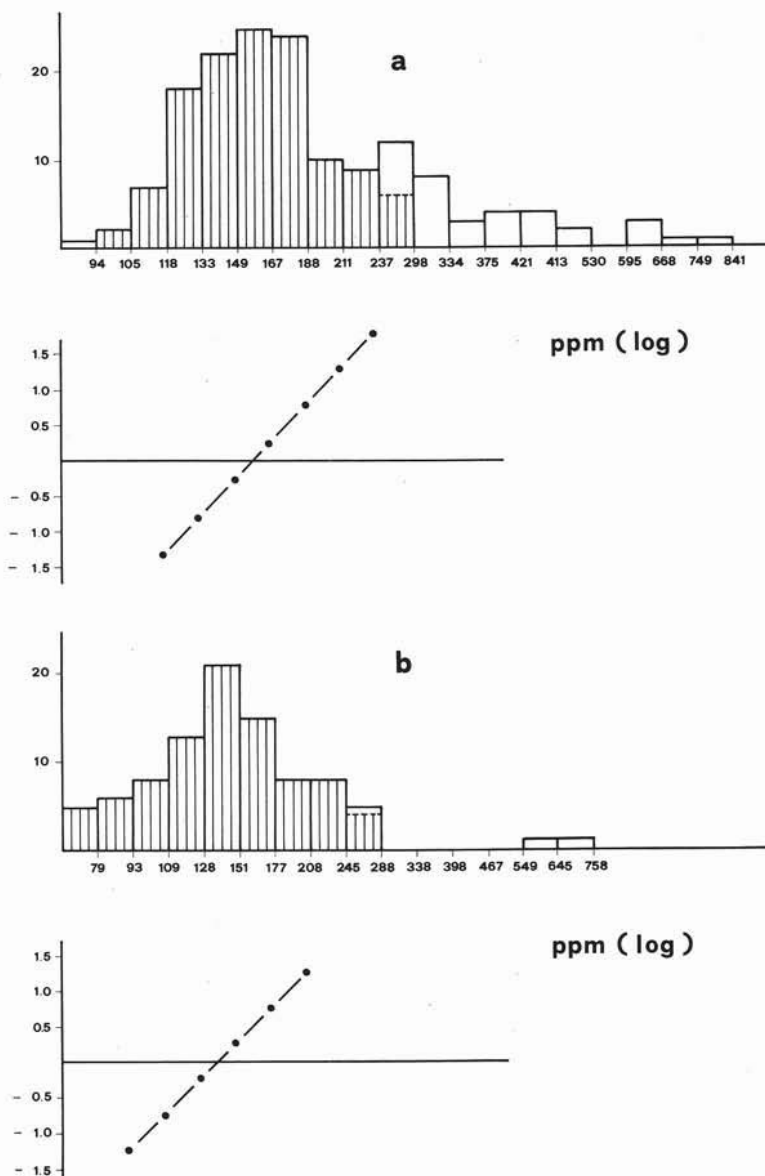


Fig. 5. — Istogramma logaritmico dello Zn con relativa retta di Henry. In bianco le parti relative a valori fuori della popolazione principale. a) Diagramma relativo ai suoli; b) diagramma relativo alle rocce. — Histogram of Zn with its Henry's line. Part relative to values outside the main population are in white. a) Diagram concerning the soils; b) diagram concerning the rocks.

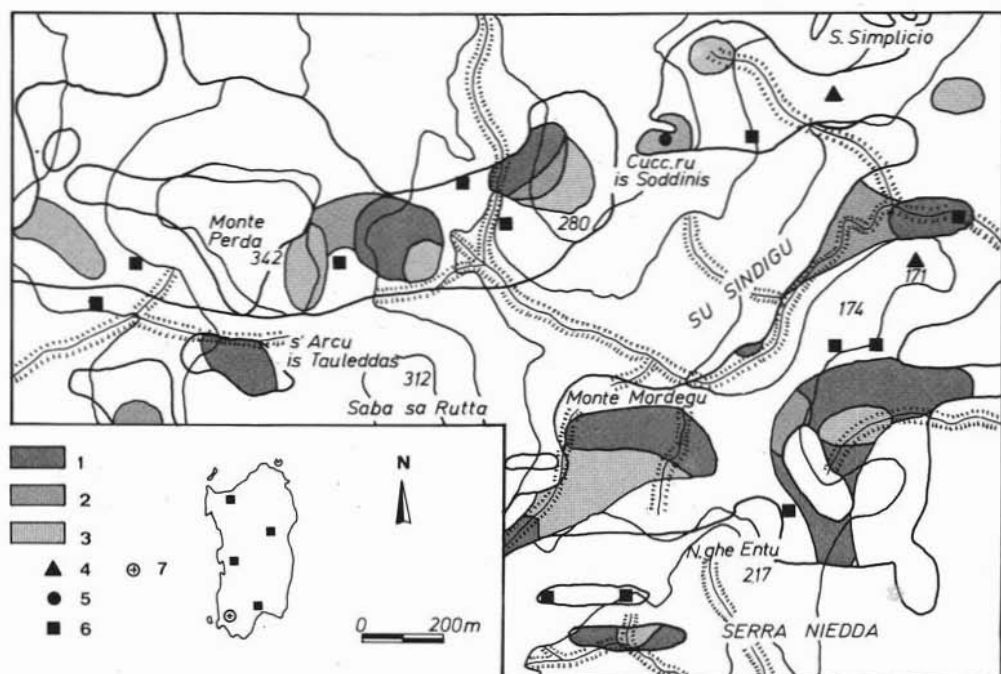


Fig. 6. — Carta delle anomalie di Zn. 1) Anomalie certe nei suoli (valori superiori a 306 ppm); 2) Anomalie probabili nei suoli (valori compresi tra 246 e 306 ppm); 3) Anomalie possibili nei suoli (valori compresi tra 198 e 246 ppm); 4) Anomalie certe in roccia (valori superiori a 369 ppm); 5) Anomalie probabili in roccia (valori compresi tra 267 e 369 ppm); 6) Anomalie possibili in roccia (valori compresi tra 193 e 267 ppm); 7) Ubicazione dell'area studiata. Sono riportati i limiti geologici di fig. 1. — Map of anomalous values in Zn. 1) Surely anomalous values in soils (more than 306 ppm); 2) Probably anomalous in soils (between 246 and 306 ppm); 3) Possibly anomalous values in soils (between 198 and 246 ppm); 4) Surely anomalous values in rocks (more than 369 ppm); 5) Probably anomalous values in rocks (between 267 and 369 ppm); 6) Possibly anomalous values in rocks (between 193 and 267 ppm); 7) Location of investigated area. Geological boundaries (from fig. 1) are represented.

sistemica. Ciascuno di questi metalli ha mostrato un comportamento proprio, che vedremo di descrivere in breve.

a) Piombo

Suoli - L'esame statistico (KOCH & LINK, 1970) dei valori analitici ha dimostrato l'esistenza di due popolazioni sufficientemente distinguibili (fig. 3).

La prima comprende in pratica i valori inferiori al limite di sensibilità del metodo utilizzato per lo spettrofotometro (40 ppm nel campione) e sembra caratterizzare il settore SE dell'area investigata (fig. 4).

La seconda popolazione, francamente log-normale, con media di 127 ppm (stimatore di Sichel), predomina nelle parti settentrionale e occidentale.

Sulla base dei parametri statistici (nei valori logaritmici) in questa seconda popola-

zione sono state distinte tre soglie di anomalia che sono, avendo indicato con m il valore della media e con σ lo scarto quadratico medio: anomalie possibili (valori compresi tra $m + \sigma$ e $m + 2\sigma$); anomalie probabili (valori compresi tra $m + 2\sigma$ e $m + 3\sigma$); anomalie certe (valori superiori a $m + 3\sigma$). Queste soglie di anomalia, espresse in ppm, sono risultate rispettivamente: 207 ($m + \sigma$), 435 ($m + 2\sigma$), 915 ($m + 3\sigma$) (fig. 4).

Rocce - La distribuzione in roccia, invece è risultata caratterizzata da una netta prevalenza di tenori inferiori al limite analitico, per cui un trattamento statistico è risultato impossibile. Anche i valori sopra il limite di sensibilità sono comunque bassi, quasi tutti sotto le 100 ppm.

Solo due valori sembrano decisamente anomali, superando abbondantemente le 500 ppm (fig. 4).

b) Zinco

Suoli - Buona parte dei tenori in Zn dei suoli si inquadrano in una popolazione log-normale avente come media 163 ppm (stimatore di Sichel) (fig. 5 a). Un discreto gruppo di valori non si inquadra in questa distribuzione essendo i loro valori molto elevati (i più bassi superano comunque la soglia di anomalia probabile); non sono però in numero sufficiente per stabilire se costituiscono una popolazione definita. Segnaliamo infine un valore particolarmente basso, inferiore a $m - 3\sigma$ (nel suo valore logaritmico) della popolazione principale.

In fig. 6 sono state riportate, come nel

caso del Pb, le isoanomalie per le anomalie possibili (valori superiori a 198 ppm), le probabili (oltre 246 ppm) e le certe (oltre 306 ppm).

Rocce - Anche in roccia la distribuzione osservata è una lognormale, che anzi comprende in pratica tutti i campioni, tranne due valori particolarmente elevati (fig. 5 b). La media (sempre stimata secondo Sichel) è abbastanza prossima (148 ppm) a quella osservata nei suoli, mentre la dispersione è sensibilmente più elevata nei suoli, il che influenza le soglie d'anomalia, che sono rispettivamente 193, 267 e 269 ppm. Si osser-

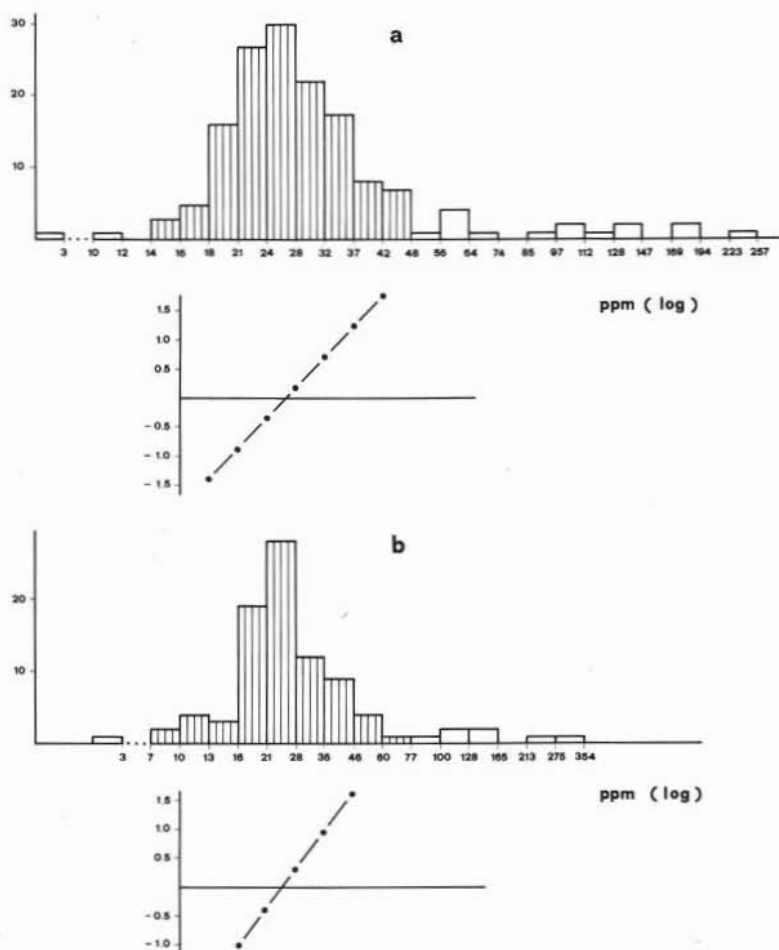


Fig. 7. — Istogramma logaritmico del Cu con la relativa retta di Henry. In bianco le parti relative a valori fuori della popolazione principale. a) Diagramma relativo ai suoli; b) diagramma relativo alle rocce. — Histogram of Cu with its Henry's line. Parts relative to values outside the main population are in white. a) Diagram concerning the soils; b) diagram concerning the rocks.

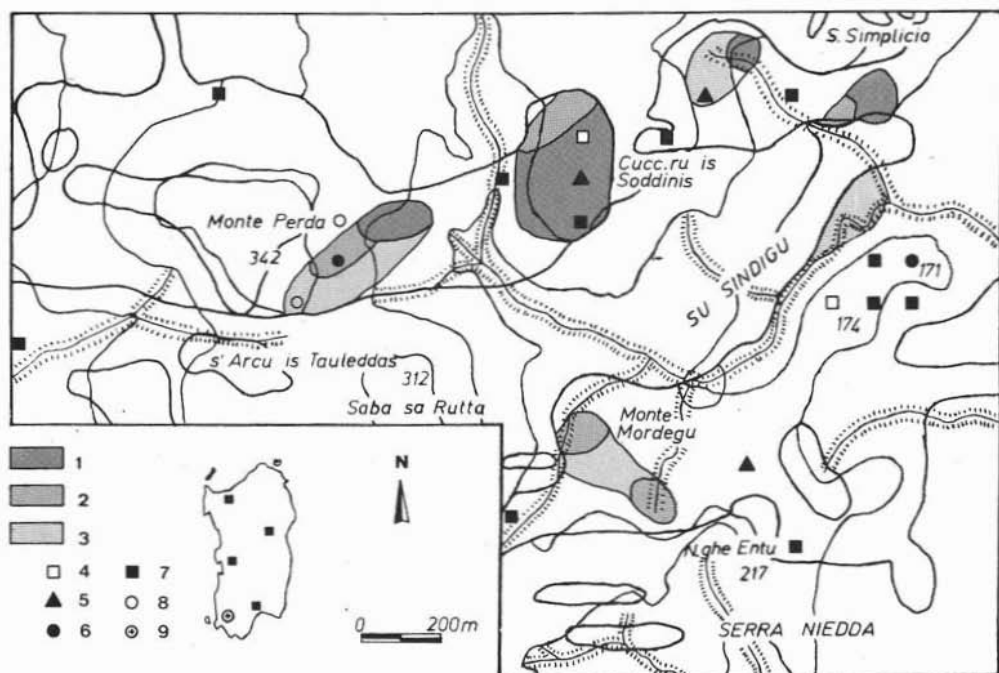


Fig. 8. — Carta delle anomalie del Cu. 1) Anomalie certe dei suoli (valori superiori a 59 ppm); 2) Anomalie probabili nei suoli (valori compresi tra 45 e 59 ppm); 3) Anomalie possibili nei suoli (valori compresi tra 35 e 45 ppm); 4) Valori eccezionali nei suoli; 5) Anomalie certe in roccia (valori superiori a 82 ppm); 6) Anomalie probabili in roccia (valori compresi tra 45 e 82 ppm); 7) Anomalie possibili in roccia (valori compresi tra 37 e 45 ppm); 8) Valori eccezionali in roccia; 9) Ubicazione dell'area studiata. Sono riportati i limiti geologici di fig. 1. — Map of anomalous values in Cu. 1) Surely anomalous values in soils (more than 59 ppm); 2) Probably anomalous values in soils (between 45 and 59 ppm); 3) Possibly anomalous values in soils (between 37 and 45 ppm); 4) Exceptional values in soils; 5) Surely anomalous values in rocks (more than 82 ppm); 6) Probably anomalous values in rocks (between 45 and 82 ppm); 7) Possibly anomalous values in rocks (between 37 and 45 ppm); 8) Exceptional values in rocks. 9) Location of investigated area. Geological boundaries (from fig. 1) are represented.

va, comunque, che i valori anomali delle varie categorie sono pochi; vengono quindi indicati come punti isolati nella fig. 6.

c) Rame

Suoli - Anche i tenori in Cu dei suoli rientrano prevalentemente in una popolazione lognormale, la cui media (sempre con stimatore Sichel) è circa 28 ppm (fig. 7a); le soglie di anomalia sono, nel solito ordine, 35, 45 e 59 ppm circa.

Anche per il Cu si osserva un valore di anomalia inferiore, coincidente con quello già ricordato per lo Zn.

Le anomalie più intense (fig. 8) tendono sensibilmente a raggrupparsi, specie nella parte settentrionale dell'area investigata.

Rocce - I tenori in roccia sono, pure essi,

prevalentemente inquadrati in una popolazione lognormale (fig. 7b), con media di circa 27 ppm (stimatore di Sichel) e soglie di anomalia di 37, 55 e 82 ppm: come si vede, si ha una distribuzione simile a quella nei suoli, ma con una maggiore dispersione.

Dobbiamo ancora segnalare l'esistenza di due valori di forte anomalia negativa, singolarmente prossimi ad una anomalia positiva dei suoli, ma anche di due valori estremamente elevati, sufficientemente correlabili, insieme con altri valori più o meno anomali (sempre indicati puntualmente, fig. 8), ad anomalie dei suoli.

Vogliamo infine ricordare l'Ag. Questo elemento, sempre sotto il livello di sensibilità strumentale nelle rocce, ha invece dato valori sensibili (confermati dalla ripetizione delle analisi) in alcuni suoli; essendo questi

valori troppo scarsi per qualunque ragionevole trattamento, ci limitiamo a darne notizia.

Discussione ed ipotesi di lavoro

Lo studio sinora condotto in questa prima area, come ben si comprende da quanto esposto, ha fornito semplicemente delle indicazioni, destinate a guidare il futuro sviluppo della ricerca.

Abbiamo già accennato in premessa come le attuali vedute sul vulcanismo e l'osservazione di particolari fenomenologie (MARCELLO & PRETTI, 1979) indichino un contesto favorevole per manifestazioni del tipo « porphyry copper ».

Altri elementi positivi in proposito, che meritano di essere ricordati, sono venuti dal rilievo aereomagnetico, eseguito nel 1976 per conto dell'AGIP e dell'E.M.Sa.: lo studio dei dati, infatti, indica la presenza, nelle aree interessate dal vulcanismo terziario, di « corpi radicati » di dimensioni anche cospicue (CASSANO et al., 1979).

Vediamo ora, in sintesi, quello che i nostri dati possono indicare. Innanzitutto la natura ed i caratteri delle rocce eruttive: i campioni analizzati sinora, senz'altro pochi, sono stati comunque scelti in modo da rappresentare arealmente tutta la zona ed hanno in linea generale dato valori inquadrabili nel campo delle andesiti.

Inoltre, sebbene strutturalmente e tessutalmente non si siano osservate differenze di rilievo in punti diversi, le osservazioni di campagna sembrano indicare una prevalenza di giaciture intrusive, con subordinati lembi effusivi; trattandosi quindi di rocce olocristalline porfiriche, si può ipotizzare una messa in posto a livello subvulcanico.

Studi successivi (specialmente sui termometamorfismi osservati ai contatti) forniranno dati più precisi.

Per quanto riguarda i dati forniti dalla campionatura geochimica, le osservazioni sono molteplici:

— come si è visto, i valori tra suoli e rocce sono poco differenti, mentre si nota una maggiore dispersione nelle rocce. Quest'ultimo carattere è facilmente spiegato dalla erraticità dei valori in roccia, contro lo « smoothing » naturale di un suolo, che rappresenta un intorno più che un punto.

In quanto alla prossimità dei valori medi, si può ipotizzare che all'effetto disperdente dovuto agli agenti meteorici si contrapponga un effetto di concentrazione residuale, favorito (soprattutto nel caso dello Zn) dalla cattura degli ioni metallici da parte dei fillosilicati a reticolo espandibile, che abbiamo visto essere presenti comunemente nei suoli. Localmente potrebbero aver agito da « trappole » per i metalli anche i minerali zeolitici (zone di Cuccuru Is Soddinis e di Su Sindigu) per quanto tali minerali non siano sinora chiaramente riconosciuti nei suoli.

— Le distribuzioni osservate comprendono sempre una popolazione di tipo nettamente lognormale; questo fenomeno, comune nelle dispersioni a basso tenore di vari metalli, è estremamente prezioso per i futuri sviluppi della ricerca, fornendo una solida base di trattamento statistico.

Accettando dunque queste premesse, è possibile avanzare per il comportamento dei metalli le seguenti ipotesi:

Piombo - Dalla distribuzione osservata per i suoli, si può notare come i valori più elevati ricorrano costantemente in vicinanza dei contatti con i calcari cambrici; analogamente avviene per i pochi elevati in roccia. D'altra parte, in quei calcari si possono osservare numerosi indizi di mineralizzazione piombifera, anche con fenomeni di riconcentrazione in prossimità di dicchi andesitici, come ad esempio nella vecchia ricerca di S. Simplicio.

Si può quindi ipotizzare, per ora, una provenienza del piombo dalle rocce cambriche, per semplice commistione, nei suoli, e per fenomeni di rimobilizzazione, in roccia. I valori più bassi potrebbero dunque rappresentare il reale fondo geochimico delle rocce andesitiche; ciò concorda con i risultati della prospezione strategica condotta dall'E.M.Sa., che ha fornito come valore di fondo nei suoli delle vulcaniti della Sardegna nord-occidentale 26 ppm, contro i 138 ppm nei suoli su calcari cambrici (MARCELLO et al., 1977).

Zinco - Il comportamento di questo metallo è risultato più omogeneo e, se vogliamo, più « smussato », specialmente in roccia, mentre nei suoli si osserva una lunga « coda » di valori anomali. Poiché i valori elevati si ubicano indifferentemente sia presso i

contatti col Cambrico che in pieno corpo andesitico (cioè è specialmente visibile nei suoli della parte orientale) possiamo per ora ipotizzare per lo zinco un comportamento « misto », cioè una sua provenienza sia da estrazione dai terreni cambrici che dalla roccia andesitica stessa.

Il confronto con i valori trovati nella citata campagna geochimica vede valori di fondo più elevati di quelli dei suoli nelle vulcaniti (79 ppm) e inferiori, ma più prossimi, a quelli dei suoli sui calcari cambrici (232 ppm).

Restano inspiegabili, per ora, le anomalie negative, in questo contesto, anche se i valori osservati sono tutto sommato prossimi a quelli « normali » delle vulcaniti della Sardegna nord occidentale.

Rame - La situazione di questo elemento è a un tempo più chiara e più delicata da discutere. Come si è visto siamo ancora in presenza di popolazioni lognormali ben definite, comprendenti la maggior parte dei campioni. D'altra parte i tenori più elevati in roccia sembrano ubicati di preferenza in piena massa andesitica e quelli in suolo in posizioni morfologiche che escludono un'influenza da parte dei calcari. C'è anche da osservare che i valori di fondo sono prossimi a quelli dei suoli sui calcari (30 ppm), anche se in questi ultimi non furono mai osservate anomalie (la soglia di anomalia certa risultava di circa 74 ppm, valore che molti dei nostri suoli, invece, superano abbondantemente); per quanto riguarda i valori nelle vulcaniti, il valore di fondo generale della campagna strategica E.M.Sa. risultava nettamente inferiore (19 ppm) mentre è nettamente superiore (65 ppm) quello determinato per l'area Osilo-Nulvi nel corso della prospezione geochimica tattica (MARCELLO et al., 1978). È invece notevole l'esistenza di valori singolarmente elevati da noi riscontrati, sia nei suoli (con punte superiori a quelle osservate ad Osilo-Nulvi) che in roccia.

Anche per il Cu abbiamo ricordato l'esistenza di anomalie negative, anch'esse, per ora, inspiegabili.

Il quadro risultante è dunque ancora molto fluido. Da un lato osserviamo valori singolarmente elevati per tutti i metalli esaminati; ciò evidentemente ci spinge a proseguire la ricerca, con un infittimento della campionatura almeno nelle aree di Cuccuru

Is Soddinis e di Su Sindigu. D'altra parte le informazioni sulle rocce, sulle alterazioni e sui fenomeni di contatto sono ancora troppo scarse, per poter produrre un chiaro quadro fenomenologico; ciò è valido ancor più per l'osservazione di fenomeni di mineralizzazione in senso stretto, poiché sinora abbiamo potuto osservare solamente intense impregnazioni di pirite, spesso accompagnate da silicizzazione, sia in andesite che ai contatti coi conglomerati terziari, ma ancora non ne abbiamo potuto stabilire il reale significato.

Anche il contesto strutturale merita un approfondimento: posto che i prodotti vulcanici del Sulcis rientrano tra i più antichi del ciclo terziario sardo (BECCALUVA et al., 1980; SAVELLI et al., 1978) quindi correlabili con la fase di rifting, anche i fenomeni intrusivi sono da porsi in tale fase, o sono piuttosto tardivi, quindi correlabili ad uno stadio più maturo, con presenza di zona di subduzione? Chiaramente l'origine quanto meno del Cu (ed, a quanto sembra, anche dello Zn) potrebbe essere vista in modi diversi, a seconda della risposta che si può dare a tale quesito.

BIBLIOGRAFIA

- BECCALUVA L., DERIU M., MACCIOTTA G. (1980) - *Riflessioni sul significato del vulcanismo oligomiocenico della Sardegna nell'ambito dell'evoluzione geodinamica del Mediterraneo occidentale*, in « Volume dedicato a S. Enzo », STEP, Parma, 159-161.
- BELLON H. (1976) - *Séries magmatiques néogènes et quaternaires du pourtour méditerranéen occidental, comparées dans leur cadre géochronométrique. Implications géodynamiques*. Thèse Doct. Etat, Paris-Orsay, 367 pp.
- CABOI R., MASSOLI NOVELLI R. (1968) - *Studio mineralogico di una formazione piroclastica dell'area vulcanica di Narcao (Cagliari)*. Rend. Sem. Fac. Sc. Cagliari, XXXVIII, 12-15.
- CARMIGNANI L., COCOZZA T., GANDIN A., PERTUSATI P.C. (1982) - *Lineamenti della geologia dell'Iglesiente-Sulcis*, in: CARMIGNANI L., COCOZZA T., GHEZZO C., PERTUSATI P.C., RICCI C.A.: « Guida alla geologia del Paleozoico Sardo ». Soc. Geol. It., 75-78 pp.
- CARMIGNANI L., COCOZZA T., GANDIN A., PERTUSATI P.C. (1986) - *The Geology of Iglesiente*, in: CARMIGNANI L., COCOZZA T., GANDIN A., PERTUSATI P.C.: « Guide-book to the Excursion on the Paleozoic Basement of Sardinia ». IGCP Newsletter, Special Issue, 31-50 pp.
- CASSANO E., MARCELLO A., NANNINI R., PRETTI S., RANIERI G., SALVADERI R., SALVADORI I. (1979) - *Rilievo aeromagnetico della Sardegna e del mare circostante - Carta di anomalie magnetiche in*

- scala 1:250.000. Boll. Serv. Geol. d'Italia, vol. C, 199-234.
- COCOZZA T. (1979) - *The Cambrian of Sardinia*. Mem. Soc. Geol. It., 20, 163-187.
- COCOZZA T., MASSOLI NOVELLI R. (1967) - *Due nuovi affioramenti di lava andesitica nel complesso terziario della valle del Cixerri (Sardegna sud-occidentale)*. Boll. Soc. Geol. Ital., 86, 623-643.
- COULON C., DEMANT A., BELLON H. (1974) - *Premières datation par méthode K-Ar de quelques laves cénozoïques et quaternaires de Sardaigne nord occidentale*. Tectono-Physics, 22, 41-57.
- COULON C. (1977) - *Le volcanisme calco-alkalin cénozoïque de Sardaigne (Italie)*. Pétrographie, géochimie et genèse des laves andésitiques et des ignimbrites. Signification géodynamique. Thèse Doct. 3^e cycle, Univ. Aix Marseille, III, 288 pp.
- DE LA ROCHE H., LETTERIER J., GRAN CLAUDE P., MARCHAEL L.M. (1980) - *A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses - It's relationships with nomenclature*. Chem. Geol., 29, 183-210.
- DERIU M. (1962) - *Stratigrafia, cronologia e caratteri petrochimici delle vulcaniti «oligoceniche» in Sardegna*. Mem. Soc. Geol. Ital., 3, 675-706.
- DEWEY J.F., PITMAN W.C., RYAN W.B.F., BONNIN J. (1973) - *Plate tectonics and the evolution of the Alpine system*. Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 3137-3180.
- KOCH G.S. Jr., LINK R.F. (1970) - *Statistical analysis of geological data*, Vol. I, pp. 361. Wiley & Sons, New York, London, Sidney, Toronto, 375 pp.
- LAURO C., DERIU M. (1957) - *Il vulcanismo cenozoico in Sardegna: le manifestazioni oligoceniche*. 20th Int. Geol. Congr. Mexico, 1956, 2, 469-486.
- MARCELLO A., PRETTI S. (1979) - *Il rame nelle vulcaniti terziarie sarde: possibili sviluppi della ricerca*. Not. Tec. E.M.Sa., VII, 1/2, 55-58.
- MARCELLO A., PRETTI S., SALVADORI I. (1977) - *Le prospezioni geominerarie in Sardegna: la prospezione geochemica strategica*. Not. Tec. E.M.Sa., V, 2/3, 31-59.
- MARCELLO A., PRETTI S., SALVADORI I. (1978) - *Le prospezioni geominerarie in Sardegna: la prospezione geochemica tattica*. Not. Tec. E.M.Sa., VI, 3/4, 7-24.
- PALA A., PECORINI G., PORCU A., SERRA S. (1982) - *Schema geologico-strutturale della Sardegna*, in: «Ricerche geotermiche in Sardegna». PFE, 7-24.
- SAVELLI C. (1975) - *Datazioni preliminari col metodo K-Ar di vulcaniti della Sardegna sud-occidentale*. Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol., 31, 191-198.
- SAVELLI C., BECCALUVA L., DERIU M., MACCIOTTA G., MACCIONI L. (1978) - *K/Ar geochronology and evolution of the Tertiary «Calc-alkalic» volcanism of Sardinia*. Journ. Volc. Geoth. Res., 5, 257-269.