

Contributo alla conoscenza di alcuni minerali industriali: l'associazione tremolite-wollastonite-talco di M.te Tamara (Nuxis - Sardegna Meridionale). Ricerche geogiacimentologiche e geofisiche

SILVANA FAIS, CARLO GARBARINO, GIORGIO PADALINO, IVO URAS
Istituto di Giacimenti Minerari, Geofisica e Scienze Geologiche, Facoltà di Ingegneria,
P.zza d'Armi, 09100 Cagliari

CARLO MARINI

Dipartimento di Scienze della Terra, Viale Trentino 51, 09100 Cagliari

MARCELLA PALOMBA

Centro Studi Geominerari e Mineralurgici del C.N.R., Facoltà di Ingegneria,
P.zza d'Armi, 09100 Cagliari

RIASSUNTO. — Nell'ambito di un vasto progetto di ricerca sulla valorizzazione e sfruttamento di alcuni materiali industriali in zone di contatto tra rocce carbonatiche e plutoniti erciniche, è stata individuata una prima area nella zona di Monte Tamara.

La prospezione geogiacimentologica di dettaglio (scala 1:2500) ha permesso di localizzare la mineralizzazione nelle lenti carbonatiche della formazione di Nebida (Cambrico Inf.). Esse sono localmente interessate da una faglia NW-SE, attraverso la quale sarebbero risaliti i fluidi mineralizzanti connessi al magmatismo intrusivo tardo-ercinico.

La mineralizzazione, a prevalente tremolite e con subordinati wollastonite e talco, si presenta macroscopicamente come intreccio di minerali aciculari, da millimetrici a centimetrici, di colore da bianco a rossiccio, con progressivo impoverimento all'allontanarsi dalla frattura. I campioni sono stati sottoposti ad analisi mediante diffrattometria X, integrata con analisi alla microsonda elettronica e osservazioni ottiche di sezioni sottili.

Per una miglior definizione giacitura e strutturale della zona interessata dalla mineralizzazione è stata effettuata una prospezione geofisica a carattere speditivo con metodo elettromagnetico a bassa frequenza radio (VLF), lungo profili orientati ortogonalmente alla struttura principale e quindi alla zona più intensamente mineralizzata. La composizione in frequenza del segnale elettromagnetico è stata analizzata sottoponendo ad analisi spettrale, mediante il metodo MEM (Maximum Entropy Method), le serie digitali ottenute dal campionamento dei profili. Le osservazioni VLF sono state succes-

sivamente filtrate ed interpolate al fine di ottenere la rappresentazione bidimensionale delle anomalie.

Parole chiave: giacimenti minerari, minerali industriali, prospezione elettromagnetica, Sardegna.

THE ASSOCIATION TREMOLITE-WOLLASTONITE-TALCO OF M.TE TAMARA (NUXIS - SOUTHERN SARDINIA). MINERAL AND GEO-PHYSICAL PROSPECTING

ABSTRACT. — Within a large survey project on industrial minerals, an area of South-Western Sardinia (M.te Tamara) was investigated, near the carbonatic rocks-hercynian plutonites contact. The detailed geological prospecting (scale 1:2500) allows to find out talc-tremolite-wollastonite mineralization in the carbonatic lenses, member of Punta Manna of Nebida Formation.

The mineralization, that consists mainly of fibrous minerals and gradates into the upper Gonnessa Formation, is located near a NW-striking fault.

X-ray, optical microscope and electron microprobe analyses, on about 50 samples, were carried out.

An electro-magnetical prospecting (VLF) also was carried out to achieve a higher structural and attitudinal definition of the mineralized area. The spectral analysis of the electro-magnetic signal by MEM (Maximum Entropy Method) was carried out. By the data filtration and interpolation we obtained a bi-dimensional representation of the VLF anomalies.

Key words: ore deposits, industrial minerals, electro-magnetic prospecting, Sardinia.

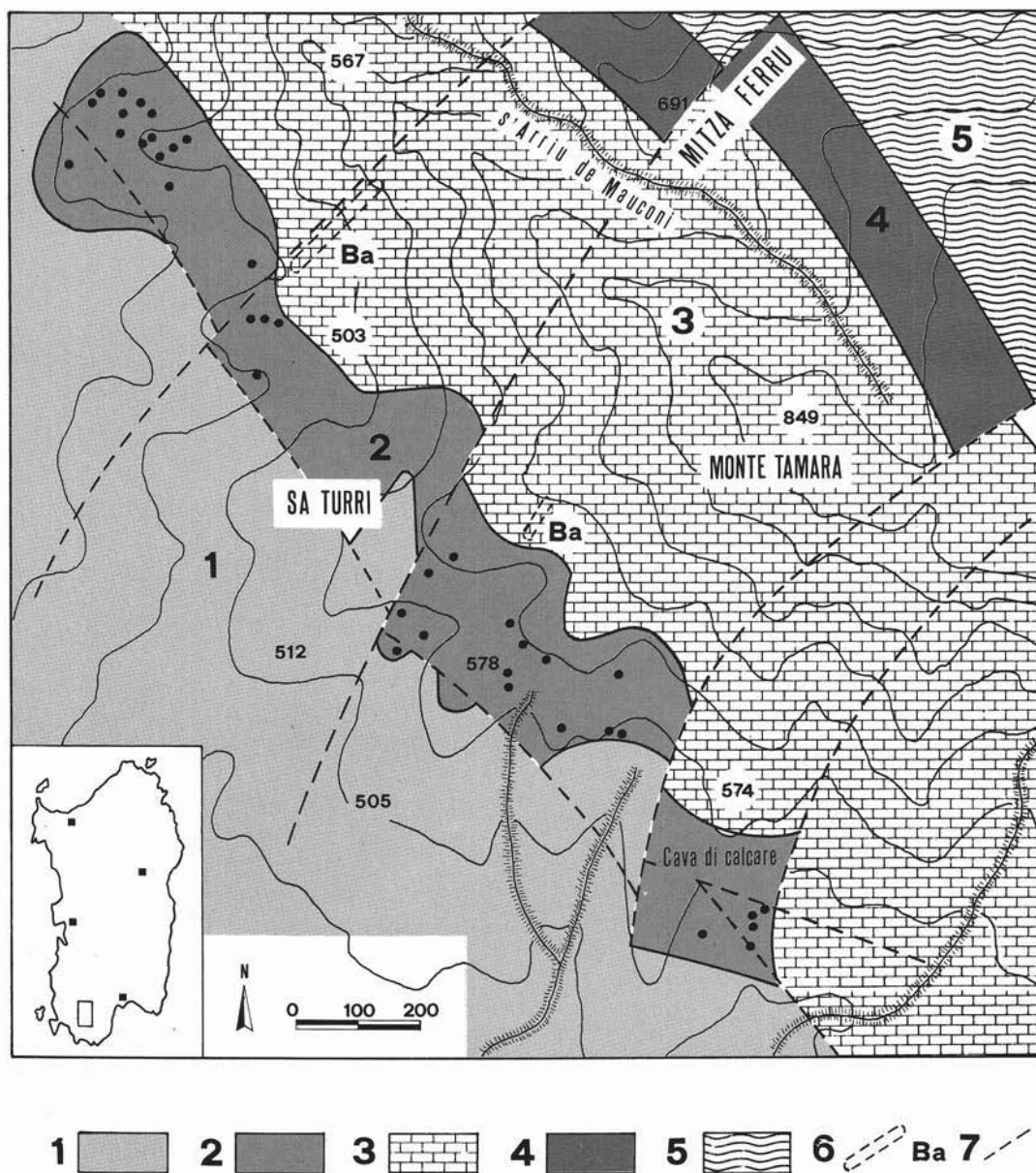


Fig. 1. — Schema geologico dell'area di M.te Tamara. 1) Formazione di Nebida, Membro di Matoppa (Arenarie Auct., Cambr. inf.); 2) Formazione di Nebida, Membro di Punta Manna (Alternanze Auct., Cambr. inf.) sede delle mineralizzazioni; 3) Formazione di Gonnessa (Metallifero Auct., Cambrico inf.-medio); 4) Formazione di Cabitza, Membro dei Calcarei nodulari (Cambrico medio); 5) Formazione di Cabitza, Membro degli Argilloscisti (Cambr. medio); 6) Filoni di barite; 7) Faglie. — Area di Tamara mountain: geological pattern. 1) Nebida formation, Member of Matoppa (Arenarie Auct., Lower Cambrian); 2) Nebida Formation, Member of Punta Manna (Alternanze Auct., Lower Cambrian), mineralization site; 3) Gonnessa Formation (Metallifero Auct., Lower-Middle Cambrian); 4) Cabitza Formation, Member of Calcarei nodulari (Middle Cambrian); 5) Cabitza Formation, Member of Argilloscisti (Middle Cambrian); 6) Barite dikes; 7) Faults; ● = sampling stations.

Introduzione

Il presente lavoro è inserito nell'ambito di un vasto progetto di ricerca sulla valorizzazione e sfruttamento dei minerali industriali e si propone lo studio della zona di M.te Tamara nella regione del Sulcis, una delle prime aree sarde rivelatasi interessante per la presenza di minerali quali tremolite-wollastonite-talco.

In un primo tempo la ricerca è stata rivolta all'individuazione di aree mineralizzate a wollastonite per il suo alto valore economico. Essendo esso un minerale caratteristico delle facies di metamorfismo di contatto su rocce carbonatiche, si ritrova in tali ambienti a contatto con masse granitoidi.

In Sardegna, le zone più indiziate allo scopo sembrano essere, appunto per le caratteristiche geologiche ambientali, quelle del Sulcis e dell'Iglesiente-Arburese. Infatti i risultati di una prospezione strategica hanno permesso di individuare e circoscrivere una prima serie di aree prioritarie. Alcune sono state in seguito scartate perchè economicamente poco interessanti a causa dell'esiguità delle manifestazioni, mentre in altre la consistenza dei depositi ha giustificato la prosecuzione dei lavori, viste le buone prospettive industriali dei minerali. Dagli studi effettuati è risultato anche che la wollastonite si presenta in associazione con gli altri minerali, sempre di interesse industriale, per cui si è ritenuto opportuno effettuarne egualmente lo studio sistematico.

Il Sulcis è l'area più meridionale della Sardegna ed è prevalentemente costituita da terreni sedimentari cambrici e subordinatamente ordoviciani: larghe zone sono occupate dai prodotti del magmatismo ercinico caratterizzato prevalentemente da rocce di tipo granitoide e, nella parte occidentale, dalle vulcaniti terziarie. La potente serie paleozoica, è stata interessata dall'orogenesi che ha provocato un metamorfismo regionale polifasico di basso grado e una strutturazione a pieghe isoclinali con vergenza variabile da N-S a NW-SE, accompagnate da scistosità penetrativa.

Le prime conoscenze geologiche dell'area di M.te Tamara possono essere ricavate dal foglio « Iglesias » (NOVARESE et alii, 1938), e da una letteratura piuttosto scarsa e fram-

mentaria fino ad un lavoro di SALVADORI-ZUFFARDI (1961) sulla geologia e sulle mineralizzazioni metallifere dell'area. Altri successivi lavori di MACCIONI (1964) e MERCURI (1969) si sono occupati in particolare dei calcescisti di M.te Tamara e dei rapporti tra la serie cambrica di quest'area e di quella dell'Iglesiente. Lo studio giacimentologico è stato coadiuvato da una prospezione elettromagnetica a VLF i cui risultati, seppur di carattere qualitativo, hanno fornito interessanti indicazioni ai fini delle interpretazioni delle strutture.

Utilizzo industriale dei minerali prospettati

I tre minerali oggetto del presente lavoro, vengono attualmente impiegati in molteplici utilizzazioni industriali. Occorre però sottolineare che mentre il talco è un minerale industriale ben noto e di uso tradizionale, i restanti, wollastonite e tremolite, sono stati elevati al rango di minerali industriali solo recentemente ed in seguito al continuo aggiornamento tecnologico dei processi industriali. È quindi logico iniziare la trattazione dal talco, minerale di più corrente impiego industriale e che per questo ha anche una migliore quotazione di mercato.

L'uso più importante è quello ceramico dove, oltre che per piastrelle a pasta bianca, viene utilizzato nei materiali ceramici isolanti (cosiddette steatiti ceramiche). Altro importante impiego è quello, previa micronizzazione, di « riempitivo » nella produzione di vernici e colori. Nella cosmesi e nell'industria farmaceutica il prodotto deve essere assolutamente esente da impurezze dannose (Pb, As, Cu, Ni, Co, Ti, Cd, SiO₂) e per questo il minerale viene fortemente selezionato con conseguente aumento del valore di mercato. Il talco è anche usato nell'industria della gomma come filtro negli impianti e come antiadesivo e lubrificante secco nei prodotti finiti; deve però essere esente da Mn e da sostanze organiche. Nell'industria cartaria è invece il grado di bianco (80 %) la specifica ricercata insieme all'assenza di SiO₂ libera.

La wollastonite (Industrial Mineral, 1975), ha assunto in questo ultimo ventennio un

discreto ruolo industriale in quanto trova sempre più spesso impiego nell'industria ceramica e in quella dei coloranti. Negli impasti per isolanti ceramici elettrici la wollastonite viene utilizzata in percentuali del 50-60 %. La wollastonite ha anche un ruolo importante negli smalti per ceramiche (idrosanitari), aumentandone la resistenza e riducendone la viscosità. Per quanto riguarda le vernici questo minerale ha un largo uso sia in quelle ad olio (per esterno) che ad acqua. La sua natura alcalina (al 10 % l'impasto in acqua ha un pH di 9,9) fa sì che i colori siano più stabili alla dispersione, rendendo, ad esempio, l'acciaio resistente alla corrosione e neutralizzando alcuni acidi formati dalla decomposizione delle vernici di polivinilacetato.

La tremolite è il minerale che, meno degli altri viene impiegato in applicazioni industriali. Tuttavia esso viene utilizzato quale asbesto d'anfibolo insieme ad actinolite, crocidolite e soprattutto amosite e antofillite nella produzione di amianti (HODGSON, 1975).

Chiaramente il loro valore è ridotto, rispetto all'amianto di serpentino, anche per la diversa lunghezza delle rispettive fibre.

L'amianto trova impiego, oltre che in quello classico dell'asbesto-cemento, nella fabbricazione dei fili, delle funi e degli isolanti termo-acustici, nell'industria dei polimeri e materiali plastici in genere. In Italia, negli anni '60, erano in esercizio alcune piccole miniere in Valtellina e in Val Malenco (Province di Como e Milano) che utilizzavano la tremolite come filamento delle lampadine.

Studio geogiacimentologico

1. Prospezione geomineraria

Mediante una prospezione strategica che ha tenuto conto dei possibili ambienti di formazione dei minerali industriali ricercati, ossia delle zone di contatto tra rocce carbonatiche e rocce magmatiche, si è arrivati a circoscrivere un'area su cui poter condurre la prospezione di dettaglio consistita in un rilievo geologico a grande scala ed in una campionatura sistematica delle formazioni interessate dalla mineralizzazione. Questa campionatura non è stata eseguita secondo una classica maglia regolare in quanto le condi-

zioni morfologiche e composizionali del substrato nel quale si è insediata la mineralizzazione, ne hanno sconsigliato l'applicazione. Si è preferito quindi campionare selettivamente eseguendo diversi profili sia in allungamento che trasversalmente ai corpi mineralizzati. Avendo questa prima campionatura messo in evidenza una mineralizzazione variabile per composizione mineralogica e per contenuti in minerali utili, si è provveduto ad integrare gli originari profili col prelievo di altri campioni secondo uno schema casuale a maglia non completamente regolare per tenere conto delle variazioni macroscopiche (tessiturali, percentuali, ecc.) mostrate dalle masse mineralizzate.

2. Geologia dell'area

Il rilevamento di dettaglio è stato effettuato alla scala 1:2.500, poi riportato al 7.000 (fig. 1) dove, oltre alla situazione geologico-strutturale, è riportata la campionatura eseguita.

In quest'area il complesso dei terreni cambrici debutta con le arenarie del Cambrico Inf.-Medio della Formazione di Nebida, suddivise nei due Membri di Matoppa e Punta Manna, quest'ultimo costituito da un'alternanza di banchi arenacei e di lenti carbonatiche.

In successione stratigrafica seguono le dolomie ed i calcari della Formazione di Gonnese. Il ciclo è chiuso dai Calcari Nodulari a cui seguono gli Scisti di Cabitza.

Dal punto di vista strutturale si è in presenza di un'anticlinale asimmetrica ad asse NNW-SSE interrotta bruscamente nella parte sud-orientale dall'ammasso granitico di M.te Nieddu. Una serie di faglie e fratture dirette NW-SE e le loro coniugate NE-SW, sbloccano i terreni cambrici, con notevoli rigetti. In particolare, una di queste dislocazioni potrebbe essersi impostata lungo il contatto tra il Membro di Matoppa e quello di Punta Manna (Arenarie franche - Alternanze) come sembrerebbero confermare anche i dati geofisici.

Dal punto di vista geologico, la mineralizzazione è insediata nelle lenti carbonatiche del Membro di Punta Manna (Alternanze Auct.) sfumante talvolta nella Dolomia della Formazione di Gonnese, che costituisce la base del Metallifero Auct. Il contatto tra

Membro di Punta Manna e Formazione di Gonnese sembrerebbe, invece, essere di tipo stratigrafico. In tal senso concordano sia il rilevamento di campagna che i risultati della prospezione geofisica.

3. Caratteri della mineralizzazione

La mineralizzazione è ospitata nelle lenti carbonatiche la cui composizione chimica mostra una consistente presenza di elementi quali Si, Al, K da attribuire verosimilmente alla presenza di minerali detritici. Oltre alle Alternanze, la mineralizzazione interessa, anche se in minor grado, la Dolomia grigia e si imposta lungo una linea di faglia che determina un contatto tettonico tra Arenarie franche ed Alternanze. La fascia mineralizzata ha direzione NW-SE, lungo la cornice occidentale di M.te Tamara. Si estende per una lunghezza di oltre 2 km e con potenza assai variabile (da pochi dm a qualche decina di metri) e mal valutabili a causa delle diverse giaciture (massive e/o in venette) assunte dalla mineralizzazione. I depositi non sono allineati in quanto, oltre alla diversa posizione stratigrafica iniziale delle lenti carbonatiche all'interno della Formazione di Nebida, sono stati sbloccati dalla tettonica distensiva tardo-ercinica ripresa, successivamente, dall'orogenesi alpina.

Macroscopicamente non è possibile effettuare una distinzione fra le varie specie mineralogiche presenti, che appaiono sempre costituite da fibre di lunghezza variabile da pochi mm a qualche cm, di colore per lo più biancastro e talvolta di aspetto terroso. Tra le zone più intensamente mineralizzate risulta quella che compare nel settore nord-occidentale della figura 1, in cui la collina è quasi interamente formata da un ammasso di minerali fibrosi e, inoltre, quella compresa tra Sa Turri e le Cave di calcare. In quest'ultima i campioni sono stati prelevati lungo un livello di limitato spessore di qualche cm, che si alternano ad altri a composizione carbonatica prevalente.

4. Analisi ed elaborazione dei dati

I campioni prelevati nell'area sono stati analizzati al diffrattometro, alla microsonda elettronica ed al microscopio ottico per determinare la composizione mineralogica e

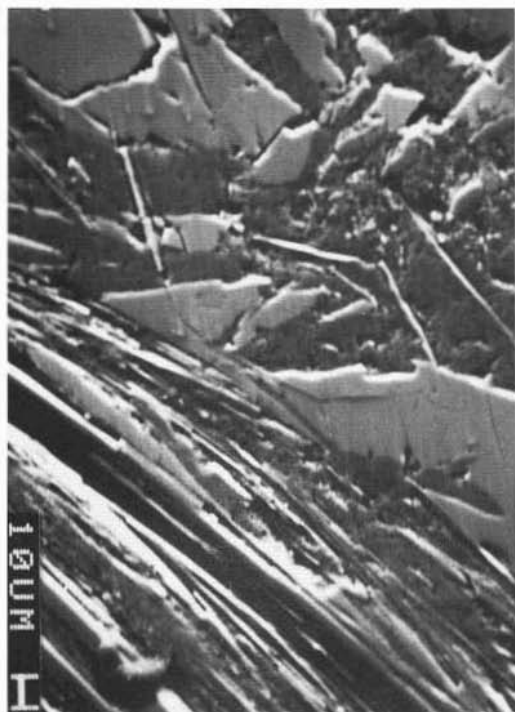
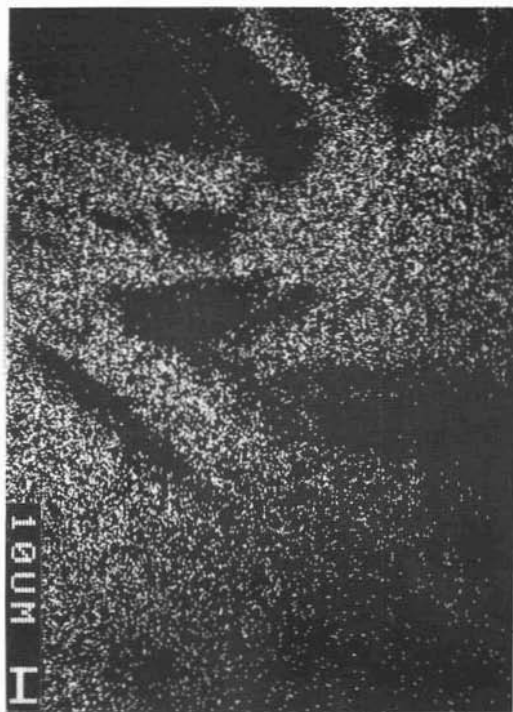
definire le paragenesi dei corpi mineralizzati. In circa 50 campioni, sottoposti a diffrattometria X, è stata riscontrata la presenza di calcite, dolomite, tremolite, talco, wollastonite, flogopite, actinolite e vesuvianite. I rapporti e la coesistenza fra essi variano da zona a zona in funzione della loro distanza dalla frattura principale che, verosimilmente, ha guidato la mineralizzazione.

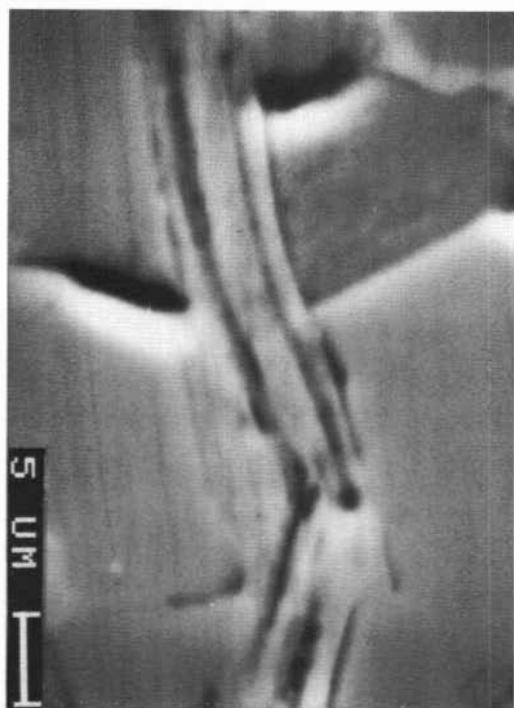
La dolomite e la calcite, più o meno abbondanti, generalmente costituiscono la matrice dei minerali utili: tremolite, wollastonite e talco. Di questi, la tremolite è quella che più spesso prevale sugli altri, anche se non mancano campioni in cui la wollastonite è praticamente l'unica fase mineralogica presente. Il talco, invece, non è mai riscontrato come minerale prevalente in nessun campione ma sempre in quantità subordinata rispetto agli altri. Flogopite, actinolite e vesuvianite figurano tra i minerali accessori che talvolta, in alcuni campioni, si accompagnano alla associazione principale.

I campioni sono stati sottoposti anche ad analisi microscopica. Da essa risulta che generalmente la matrice, laddove è presente, è di natura carbonatica ed assume spesso struttura pavimentosa per ricristallizzazione conseguente al metamorfismo subito. I minerali fibrosi presenti sono essenzialmente: tremolite, wollastonite e talco, ma essi compaiono talvolta sotto forma di cristalli tabulari. Minerali accessori, riconoscibili al microscopio, sono risultati la mica e minerali opachi.

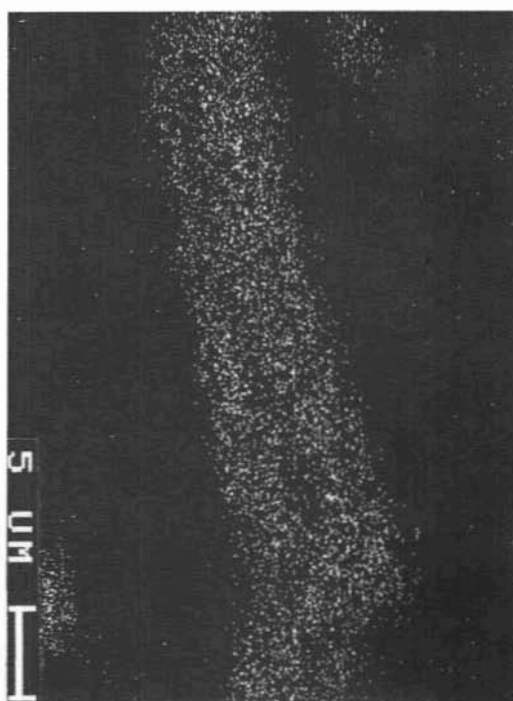
L'analisi di dettaglio delle fasi presenti è stata eseguita con una microsonda elettronica SEMQ (Applied Research Laboratories), operante nelle seguenti condizioni: tensione di accelerazione 20 KV, diametro del fascio 6 μm , corrente di campione sull'ottone 20 nA.

I rapporti tessiturali sono stati studiati mediante SEM. Attraverso queste osservazioni, tra i minerali utili è stata confermata la prevalenza della tremolite, rispetto al talco ed alla wollastonite, che comunemente si presenta sia in forma fibrosa che di cristalli tabulari e di masse informi. Il talco è presente generalmente nelle forme già descritte per la tremolite e molto spesso costituisce anche il riempimento tra le fibre di quest'ultima. La wollastonite, subordinata, è spesso riscontrabile in cristalli non fibrosi, tabulari o in masse informi. Disseminati un

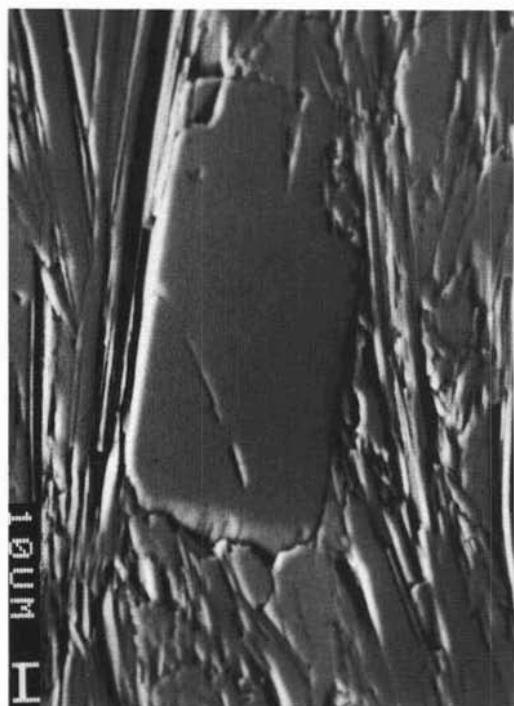
*a)**b)**c)**d)*



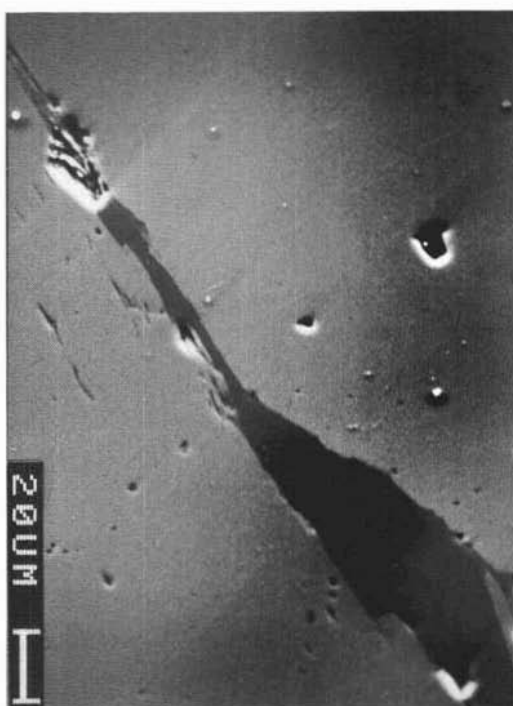
e)



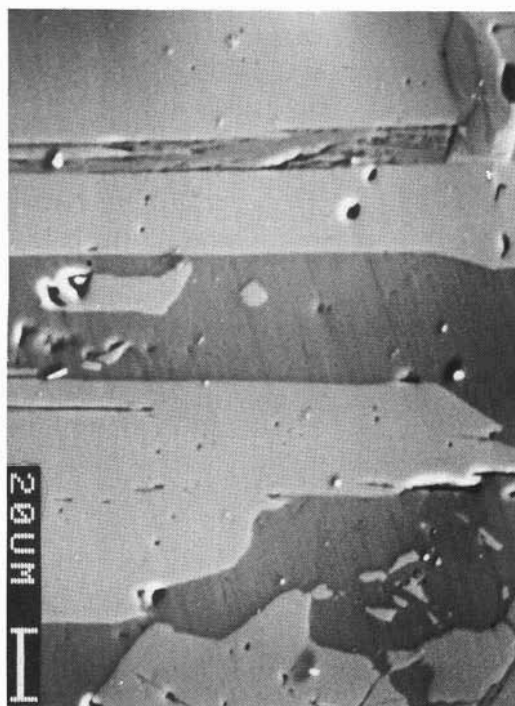
f)



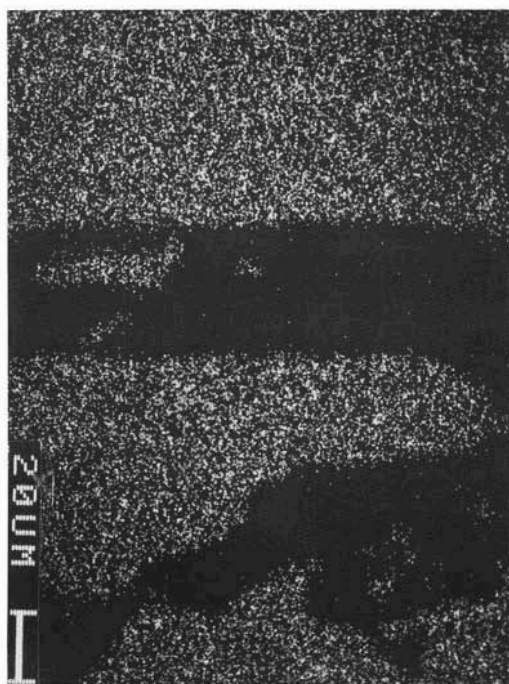
g)



h)



i)



l)

Fig. 2. — Microfotografie al SEM. *a*) Associazione tremolite-talco-calcite; *b*), *c*), *d*) mappe di distribuzione del Si, Ca, Mg; *e*) flogopite in calcite; *f*) mappe di distribuzione del K; *g*) tremolite in fibre e in cristallo tabulare; *h*) wollastonite con venette di calcite; *i*) individui di wollastonite in calcite; *l*) mappa di distribuzione del Si. — SEM Microphotographies. *a*) Tremolite-talc-calcite association; *b*), *c*), *d*) Si, Ca, Mg distribution maps; *e*) phlogopite inside calcite; *f*) K distribution map; *g*) fiber and tabular crystals of tremolite; *h*) massive wollastonite with stage of calcite; *i*) wollastonite and calcite alteration; *l*) Si distribution map.

po' ovunque in tutte le sezioni sono i cristalli di minerali opachi che dalle analisi risultano essere delle piriti molto spesso trasformate in ematiti che, peraltro, conservano il primitivo abito cristallino.

Alcune situazioni tipo vengono presentate nelle foto *a-l* (fig. 2). Le tabb. 1-2-3 illustrano, invece, per la tremolite il range di variazione della composizione chimica, relativamente a ciascun ossido indicato; per talco e wollastonite la composizione chimica media e la deviazione standard, su analisi effettuate sempre alla microsonda elettronica. Nella fig. 3, infine, vengono proiettate (HAWTHORNE, 1981) le analisi di tremolite effettuate. Questo minerale risulta avere una composizione abbastanza omogenea a parte qualche sostituzione del Si da parte dell'Al.

5. Considerazioni generali

La mineralizzazione si è originata da rocce madri costituite da dolomite prevalente e subordinati calcite e quarzo. Secondo la corrente letteratura, una associazione mineralogica siffatta, in zone metamorfiche di contatto, può dare luogo ad una paragenesi talco-tremolite e wollastonite (DEER, 1980; WINKLER, 1980) come quella riscontrata nell'area di M.te Tamara. Infatti è dimostrato che se rocce carbonatiche vengono a contatto con soluzioni idrotermali possono verificarsi, tra l'altro, le seguenti reazioni:

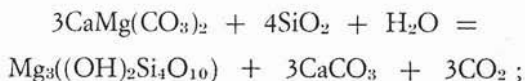


TABELLA 1

Range di variazione ricavata da 200 analisi di tremolite (effettuate su 20 campioni con medie di 10 analisi a campione) eseguite alla microsonda elettronica — Variation range from 200 analyses of tremolite carried out on 20 samples (10 analyses for sample) by electron microprobe

OSSIDI	MIN %	MAX %
SiO ₂	55.79	60.05
TiO ₂	.01	.90
Al ₂ O ₃	.35	5.12
FeO ₂	.11	.35
MnO	.01	.14
MgO	23.16	25.27
CaO	11.87	13.88
NaO ₂	.04	.62
K ₂ O	.00	.05
Cr ₂ O ₃	.00	.02

TABELLA 2

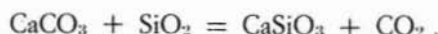
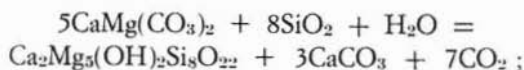
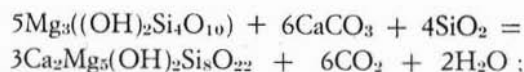
Medie di 50 analisi di talco
Mean value of 50 analyses of talc

OSSIDI	MEDIA %	DEV. STANDARD
SiO ₂	62.88	1.84
Al ₂ O ₃	.44	.32
FeO	.38	.14
MgO	30.52	1.41
CaO	.22	.20

TABELLA 3

Media di 47 analisi di wollastonite
Mean value of 47 analyses of wollastonite

OSSIDI	MEDIA %	DEV. STANDARD
SiO ₂	52.28	.59
FeO	.27	.04
MnO	.24	.03
CaO	47.61	1.45



Dalla letteratura risulta (WINKLER, op. cit.) che il primo minerale metamorfico che si forma da una roccia dolomitica contenente quarzo in presenza d'acqua, è il talco accompagnato da calcite, come prodotto di rea-

zione e con liberazione di CO₂. Se si verifica un aumento della temperatura e nella roccia è disponibile ancora del quarzo, il talco, reagendo con quest'ultimo e la calcite residua dalla prima reazione, può formare la tremolite. Quest'ultima, però, può originarsi anche per reazioni dirette tra dolomite e quarzo, sempre in presenza d'acqua. La scarsa presenza della wollastonite, prima di tutto, può essere spiegata tenendo conto della composizione prevalentemente dolomitica della roccia originaria. Tuttavia, l'eventuale calcite disponibile in seguito alle prime reazioni, o quella primaria, potrebbero non avere reagito o reagito solo in parte, sia per la carenza di silice libera sia per le non raggiunte condizioni per lo sviluppo della reazione stessa. Il range delle temperatura di formazione di questi minerali varia in funzione della pressione totale (P_{CO₂} + P_{H₂O}) dai 350° del talco fino agli oltre 700° della wollastonite, come messo in evidenza dal grafico sotto riportato. La quantità di silice ed acqua presenti nelle Alternanze, non sembrano sufficienti da sole a spiegare la concentrazione dei minerali neogenici del deposito mineralizzato; la messa in posto delle plutoniti tardo-erciniche avrebbe fornito un ulteriore apporto delle sostanze necessarie, attraverso la circolazione di fluidi risaliti lungo le fratture più importanti prodotte dall'orogenesi ercinica.

Dal punto di vista economico risulta difficile dare un quadro esauriente di queste mineralizzazioni in quanto mancano dati diretti sull'effettivo spessore delle masse mineralizzate, non essendoci lavori che entrino nei corpi mineralizzati mettendo in evidenza le loro dimensioni. Tuttavia una stima del giaci-

$$(\text{Na}+\text{K})_A > 0.5 - \text{Ti} > 0.5$$

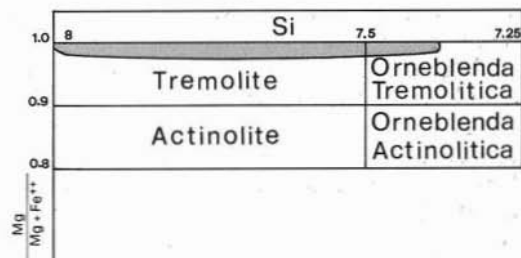


Fig. 3. — Area delle analisi di tremolite. — Tremolite analyses area.

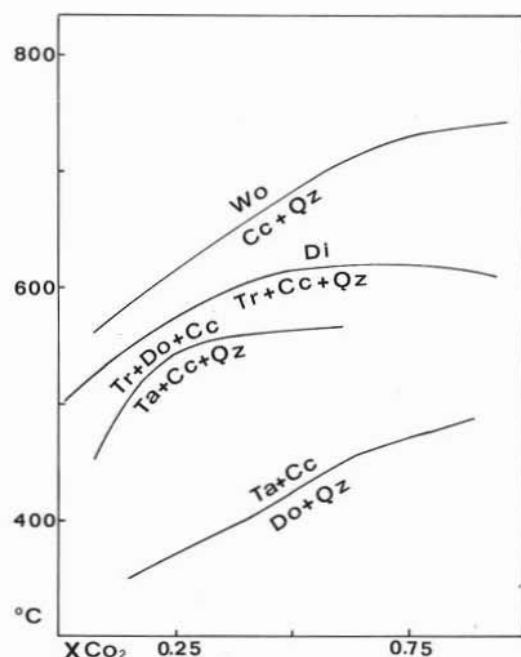


Fig. 4. — Diagramma di equilibrio della tremolite, wollastonite e talco (da WINKLER, 1980, modificato). Wo = wollastonite; Cc = calcite; Qz = quarzo; Di = diopside; Tr = tremolite; Do = dolomite; Ta = talco. — Tremolite-wollastonite-talc phase diagram (from WINKLER, 1980, modified). Wo = wollastonite; Cc = calcite; Qz = quartz; Di = diopside; Tr = tremolite; Do = dolomite; Ta = talc.

mento può essere tentata tenendo presente l'estensione areale delle Alternanze e attribuendo loro una potenza che si evince dalla media degli spessori che questi corpi hanno normalmente.

Poiché dalla campionatura e dalle osservazioni di campagna è risultato che i minerali industriali non sono distribuiti omogeneamente, ma si presentano spesso in strutture a bande con intercalari sterili, si può attribuire, per valutazioni effettuate sulla parte visibile, alla mineralizzazione un coefficiente di riduzione 0,15. La stima della potenzialità del giacimento risulterebbe di circa 100.000 tonnellate tenendo conto di un'area mineralizzata di circa 40.000 m², una potenza media di 10 m, una densità media di 3 ed un coefficiente prudenziale di 0,6, che tiene conto delle possibili zone sterili all'interno dei corpi mineralizzati, valutabili in circa il 40 % dei corpi stessi.

Studio geofisico

1. La prospezione elettromagnetica

In seguito a considerazioni di carattere sia logistico che tecnico, si è ritenuto opportuno applicare quale metodo di indagine geofisica, quello elettromagnetico. Infatti, essendo pressoché incognito il comportamento delle mineralizzazioni fibrose di cui trattasi, nei confronti dei principali parametri fisici ed avendo inoltre constatato la persistente presenza della mineralizzazione lungo il contatto tra le Arenarie e le Alternanze, si è optato per il metodo elettromagnetico a VLF che, come sperimentato più volte, ben si presta a definire contatti tra formazioni a diversa conducibilità elettrica nonché a definire i principali lineamenti strutturali di un'area che spesso, come nel nostro caso specifico, presentano strette correlazioni con la mineralizzazione.

Non trascurabile, peraltro, l'aspetto logistico: trattandosi di un metodo speditivo a strumentazione leggera, il VLF risulta idoneo ad operare in zone morfologicamente molto accidentate. Inoltre, la totale assenza di cause di inquinamento elettrico nell'area da prospettare, garantisce una buona affidabilità delle misure.

Si sono eseguite osservazioni utilizzando le emittenti GBR (Rugby, Inghilterra, 16,0 KHZ) e GBZ (Glasgow, Scozia, 19,0 KHZ) lungo 10 profili paralleli e pressoché equidistanti, orientati perpendicolarmente rispetto alle principali strutture geologiche, non tutti di lunghezza omogenea a causa delle asperità morfologiche che non sempre consentivano la transitività.

2. Composizione spettrale dei profili

Per discriminare una eventuale differenza nella composizione in frequenza e quindi nella informazione contenuta nei segnali elettromagnetici ottenuti utilizzando le due emittenti (GBZ e GBR), alcuni dei profili, scelti tra i più significativi, sono stati sottoposti ad analisi spettrale mediante il metodo del Maximum Entropy (BURG, 1967; BARRODALE and ERICKSON, 1980). Le serie analizzate sono state ottenute utilizzando un passo di campionatura pari a 2 m in modo tale da evitare effetti di aliasing nello spettro. La risoluzione spettrale è risultata pari a 0,0064

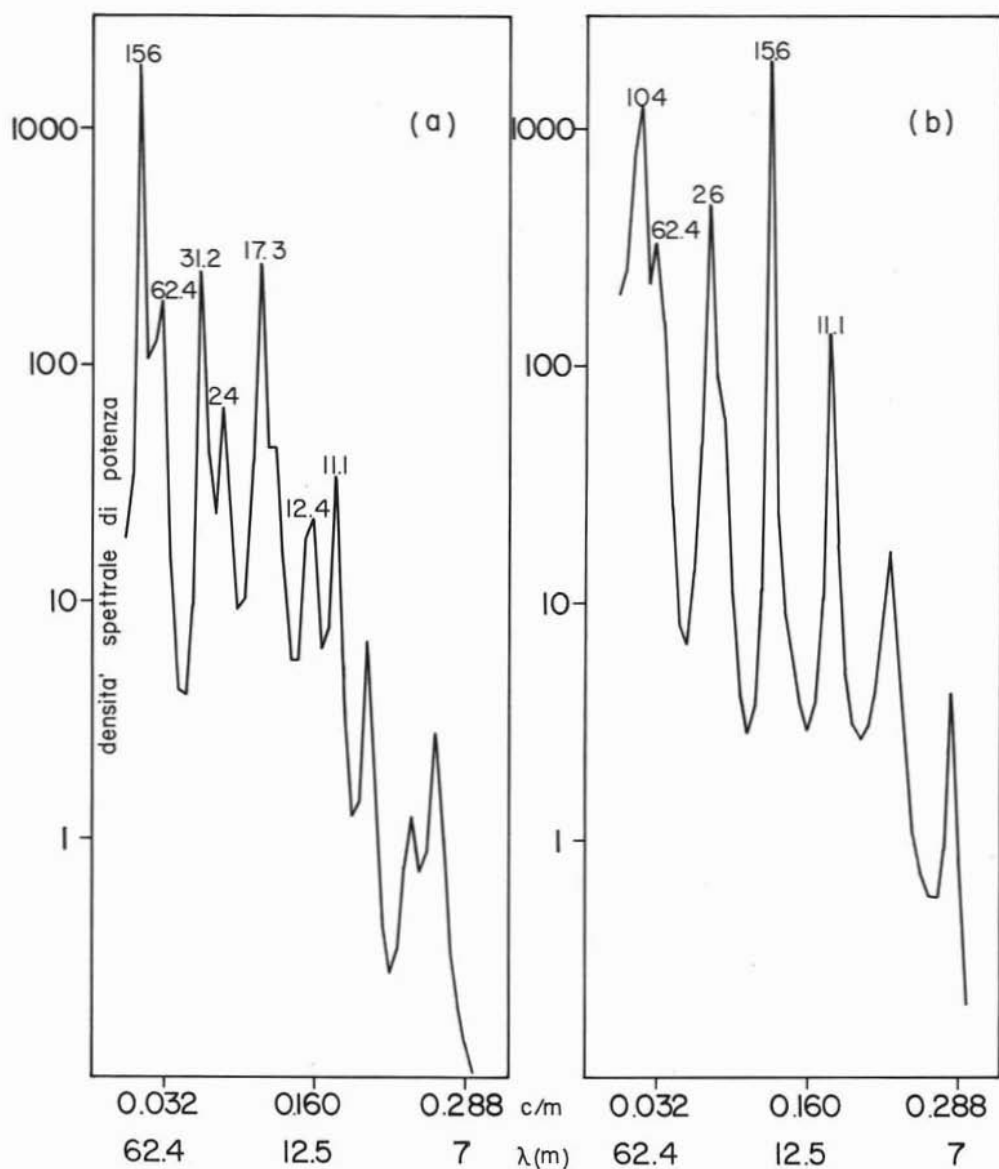


Fig. 5. — a) Spettro MEM del profilo C relativo all'emittente GBR. b) Spettro MEM del profilo C relativo all'emittente GBZ. — a) MEM power spectrum of the profile C obtained by GBR; b) MEM power spectrum of the profile C obtained by GBZ.

cicli/m. Per ciascun profilo, gli spettri ottenuti dall'analisi dei segnali relativi alle due emittenti presentano una composizione spettrale molto simile.

Alcune componenti coincidono perfettamente, mentre altre si discostano solo lievemente. È opportuno osservare, inoltre, che gli spettri ottenuti dall'analisi dei profili re-

lativi all'emittente GBZ, presentano un minor numero di componenti spaziali, rispetto a quelli relativi all'emittente GBR. La figura 5, dove vengono mostrati gli spettri del profilo C relativi alle due emittenti, mostra, appunto, tale differenza. Alcuni dei picchi che compaiono nello spettro di figura 5 b sembrano approssimativamente la media dei

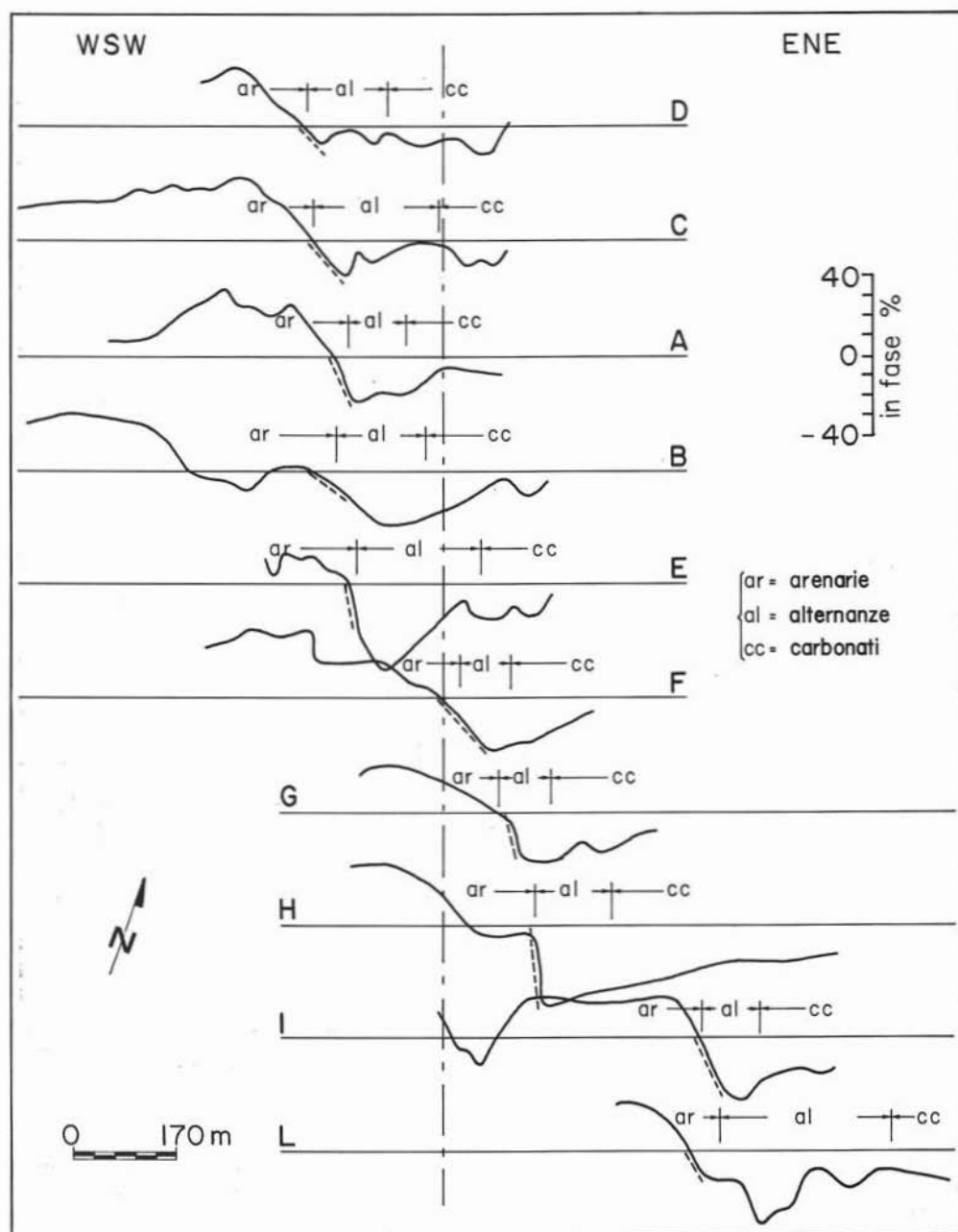


Fig. 6. — Profili VLF relativi all'emittente GBR e limiti geologici. — VLF response profiles using the GBR station and litological boundaries.

picchi dello spettro di figura 5 a, vedi ad esempio il picco relativo alla componente di 15,6 metri (fig. 5 b) nei confronti di quelli relativi alle componenti di 17,3 e 12,4 m (fig. 5 a).

Sulla base di tali osservazioni, considerando che la differenza mostrata non può considerarsi occasionale, in quanto presente in tutti i casi analizzati, si può ritenere che per quanto la composizione spettrale delle

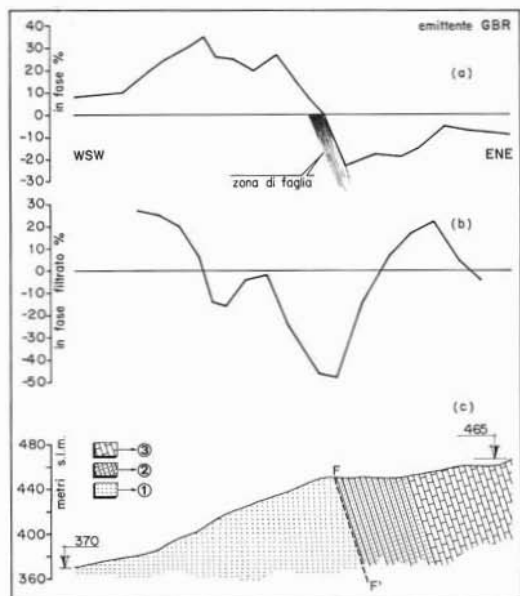


Fig. 7. — a) Misure della componente in fase relative al profilo A. Valori non filtrati. Staz. GBR. b) Valori filtrati secondo Fraser. c) Sezione geologica. — In-phase measurements for the profile A. Station: GBR nonfiltered values. b) Filtered values by Fraser method. c) Geological section.

serie relative alle due emittenti sia sostanzialmente la stessa, i profili ottenuti con la GBZ sono meno risolutivi rispetto a quelli relativi alla GBR. Per tale motivo, in ciò che segue ci riferiremo preferibilmente a questi ultimi.

Alcune delle periodicità spaziali evidenziate dall'analisi spettrale confermerebbero l'esistenza di fatti geologici sistematici e quindi la persistenza nel sottosuolo dei sistemi di fratture osservati in superficie.

3. Analisi dei risultati

In tutti i profili, le misure della componente in fase relative alle due emittenti utilizzate, sono tali da rivelare la presenza di una zona a conducibilità elevata, identificabile con una probabile zona di faglia come risulta visibile in figura 6, dove oltre a riportare in sequenza i profili elettromagnetici relativi all'emittente GBR vengono schematizzate le formazioni geologiche da essi attraversate.

Per maggior dettaglio, in figura 7 è mostrato il profilo A.

Una siffatta configurazione indica chiara-

mente la presenza di un conduttore al di sotto del punto di flesso della curva (fig. 7a). In fig. 7b è riportato il profilo filtrato (FRASER, 1966). In questa rappresentazione, considerando il modo in cui si è attuata l'operazione di filtraggio, i valori negativi sono quelli che rivestono maggior interesse. Dei due minimi osservabili, il minore potrebbe essere attribuito ad una frattura di modeste dimensioni, mentre il principale, quasi in corrispondenza del punto di flesso osservato sul profilo non filtrato, confermerebbe ulteriormente la presenza di una struttura geologica rilevante.

In base a tali osservazioni e considerando la situazione geologica in corrispondenza del profilo in esame, la presunta zona di faglia (FF'), si collocherebbe tra le Arenarie franche e le Alternanze (fig. 7c). L'esame comparato dei dati elettromagnetici rilevati negli altri profili e di quelli geologici ad essi relativi conferma ulteriormente sia la presenza che la collocazione geologica della suddetta struttura.

Le osservazioni relative ai vari profili elettromagnetici, filtrate secondo il metodo Fraser (1966), sono state successivamente interpolate al fine di ottenere una mappa che oltre a fornire ulteriori elementi di giudizio, consentisse di seguire planimetricamente l'andamento delle strutture. La figura 8 rappresenta la configurazione delle isoanomalie relative all'emittente GBR.

Particolarmente significativa risulta la serie dei minimi piuttosto intensi che si susseguono con orientamento NNW-SSE, incanalandosi tra le anomalie positive delle porzioni marginali dell'area prospettata. La stretta fascia di minimi indicherebbe una struttura a sviluppo essenzialmente bidimensionale che tenendo conto della situazione geologica dell'area si identificherebbe con una importante linea di faglia.

La correlazione tra dati elettromagnetici, rappresentati bidimensionalmente, e dati geologici, porta anch'essa alla conclusione che le maggiori strutture dell'area rilevata, ossia quelle indicate in figura 8, interessano la fascia delle Alternanze (Membro di Punta Manna) ed in modo particolare il loro contatto con le sottostanti Arenarie (Membro di Matoppa).

Nella situazione geogiacimentologica ivi presentata, il metodo elettromagnetico a VLF

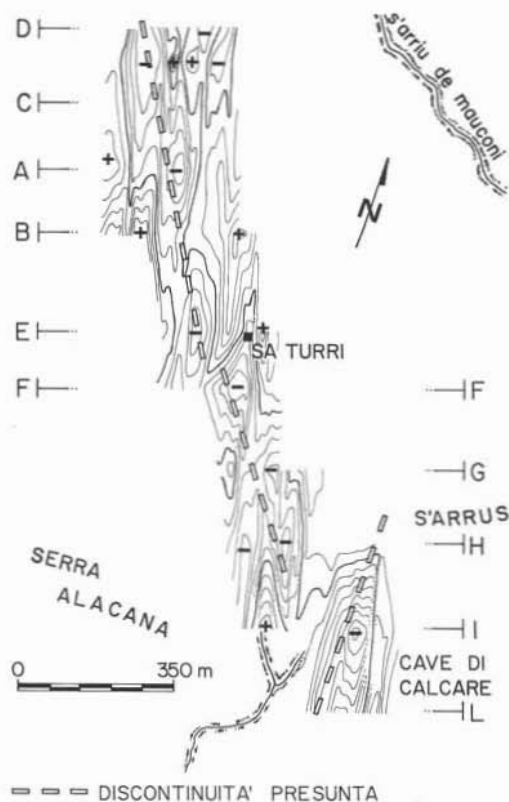


Fig. 8. — Carta delle isoanomale VLF. Componente in fase. Staz. GBR. Valori filtrati alla Fraser. Equidistanza delle isoanomale: 10 %. — A contoured map of the VLF filtered in-phase component.

si è rivelato quale utile mezzo d'approccio indiretto, in quanto ha consentito di definire con sufficiente precisione le zone strutturalmente favorevoli alla formazione dei minerali fibrosi. In qualche caso, l'intensificarsi delle anomalie negative, ha coinciso con la presenza di un alto tenore di mineralizzazione, tuttavia la casistica attualmente disponibile è insufficiente per permetterci di trarre delle conclusioni in tal senso.

Conclusioni

Lo studio ha messo in evidenza che l'ambiente elettivo per mineralizzazioni a wollastonite-tremolite-talco sono le assise carbonatiche a immediato contatto con le plutoniti. I minerali che si associano a queste sono la calcite (anche come prodotto di reazione), la dolomite e il quarzo.

Il metamorfismo termico sembra essere allochimico in quanto la composizione delle formazioni carbonatiche non può giustificare le trasformazioni avvenute e la quantità, talvolta imponente, di minerali neogenici.

La mineralizzazione è addensata attorno a linee di frattura, talvolta vere faglie, che hanno consentito la circolazione dei fluidi caldi.

Da quanto sopra detto si ricava che le guide per la prospezione sono le plutoniti e le fratture quali vie di circolazione dei fluidi che, con buona probabilità, sono anche apportatori di almeno parte delle sostanze chimiche necessarie alle reazioni metamorfiche che localmente hanno interessato le lenti carbonatiche delle alternanze.

La ricerca è stata condotta anche con una prospezione geofisica (metodo elettromagnetico). Questo metodo si è dimostrato un ottimo ausilio per la determinazione delle linee strutturali e quindi, indirettamente, dell'addensarsi della mineralizzazione.

Ringraziamenti. — Gli Autori ringraziano il geom. LUIGI SOLLAI, della Cattedra di Geofisica Mineraria, per l'elaborazione grafica delle tavole relative alla parte geofisica, il per. min. PIERPAOLO MOCCI, della Cattedra di Giacimenti Minerari, per la preparazione di tutti i campioni analizzati.

Lavoro eseguito nell'ambito del Centro Studi Geominerari e Mineralurgici del C.N.R. di Cagliari e con parziali contributi del M.P.I. (60 % - prof. G. PADALINO). I dati analitici relativi alle fasi minerali sono stati ottenuti nel laboratorio di Microsonda elettronica del C.N.R., istituito presso il Centro Studi Geominerari e Mineralurgici, Cagliari.

BIBLIOGRAFIA

- BARRODALE I., ERICKSON R.E. (1980) - *Algorithms for least-squares linear prediction and maximum entropy spectral analysis*. Geophysics, 3, 45.
 BURG G.P. (1967) - *Maximum entropy spectral analysis*. XXXVIII Am. Int. Meet. SEG, Oklahoma City.
 DEER W.A., HOWIE R.A., ZUSSMAN J. (1980) - *An introduction to the rock forming minerals*. Longman Ed., London.
 FRASER D.C. (1969) - *Contouring of VLF-EM data*. Geophysics, 34, 6, 958-967.
 HAWTHORNE F.C. (1981) - *Crystal Chemistry of the*

- Amphiboles*. Rew. in Min., Vol. 9A, 1-95.
- HODGSON A.A. (1975) - *Asbestos: a world resource. Part 2: Amphibole asbestos*. Ind. Min., 10, 37-41.
- INDUSTRIAL MINERAL (1975) - *Wollastonite: U.S.A. dominates, both production and consumption*. Ind. Min., 7, 15-29.
- MACCIONI L. (1964) - *I calcescisti di Sinibidraxiu Nuxis, Sardegna Sud-Occidentale*. Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, Vol. XXXIV, 82-93, 17, 1.
- MERCURI B. (1969) - *Note geologiche sulla zona del M.te Tamara (Sulcis, Sardegna Sud-Occidentale)*. Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, Vol. XXXIX, 1-11, 2.
- PHILLIPS W.J., RICHARDS W.E. (1975) - *A study of the effectiveness of the VLF method for the location of narrow-mineralized fault zones*. Geoexp., 13, 4, 215-216.
- SALVADORI I., ZUFFARDI P. (1961) - *Il giacimento di M.te Tamara*. A.M.S., 65, 53-87, 19, 3.
- WINKLER H.G.F. (1980) - *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer Verlag, 348.