

STEFANO ZUCCHETTI

FERRO-NICHEL NATIVO  
ED ALTRI MINERALI NICHELIFERI IN SERPENTINITI  
ANCHE ASBESTIFERE DELLE ALPI OCCIDENTALI

RIASSUNTO. — Si descrivono i minerali nicheliferi reperiti sia nei giacimenti asbestiferi di Balangero (Torino) e di Sampeyre (Cuneo), sia nelle serpentiniti non asbestifere di numerose altre località alpine delle provincie di Torino ed Aosta.

Il quadro dei minerali nelle diverse serpentiniti esaminate è abbastanza uniforme.

I più importanti minerali descritti sono: ferro-nichel nativo, pentlandite (da considerarsi quali normali accessori), heazlewoodite, bravoite. Viene anche segnalata la presenza di mackinawite, pirrotina, calcopirrotina (probabile) e, a Balangero, di millerite, cobalto-pentlandite, valleriite.

Il ferro-nichel del giacimento di Balangero è del tipo della josephinite: ne è stata eseguita l'analisi chimica e la sua composizione è risultata prossima a  $\text{FeNi}_3$ .

Si traggono conclusioni di carattere generale e genetico sulla presenza e sul significato dei minerali metallici del nichel nelle serpentiniti alpine e si sottolinea l'interesse pratico dello studio, in relazione alle ricerche sulle possibilità di ricupero del nichel.

SUMMARY. — A description is given of the nickel minerals found in the asbestos deposits of Balangero (Turin) and Sampeyre (Cuneo) and in the serpentinites free from asbestos content of numerous other alpine localities in the provinces of Turin and Aosta.

The whole of the minerals in the various examined serpentinites is fairly uniform.

The most important described minerals are: native nickel-iron, pentlandite (which are normal accessories), heazlewoodite, bravoite. The occurrence of mackinawite, pyrrhotite, chalcopyrhotite (probable) and, at Balangero, of millerite, cobalt pentlandite and valleriite is also reported.

The nickel-iron of the Balangero deposit is of the josephinite type. Its chemical analysis was performed: the composition is not far from  $\text{FeNi}_3$ .

Some conclusions of general and genetic character are given on the occurrence and the meaning of the metallic nickel minerals in the alpine serpentinites. The practical interest of this study is pointed out, in connection with the research regarding the nickel recovery possibilities.

### Considerazioni introduttive.

Il problema del ricupero del nichel dalle serpentiniti, in particolare da quelle asbestifere, da tempo prospettato in Italia, non è stato sinora realizzato su scala industriale. Esso fu affrontato, durante l'ultimo conflitto [23], nella miniera di serpentinite asbestifera di Balan-gero (sita circa 25 km a NNW di Torino, allo sbocco della Valle di Lanzo, e di gran lunga la più importante dell'Europa occidentale per dimensioni, produzione ed impianti): ma notevoli furono le difficoltà incontrate, forse anche per le insufficienti conoscenze sulla natura dei minerali nicheliferi.

Nel corso di recenti ricerche su questo tema <sup>(1)</sup>, esaminando alcuni concentrati ottenuti — per il ricupero di una parte della magnetite presente nella roccia — nella sezione di arricchimento magnetico situata in coda all'impianto di estrazione della fibra di Balan-gero, è stato individuato un minerale ferromagnetico che, in base a determinazioni microscopiche, chimiche e roentgenografiche, si è potuto con certezza riferire ad un ferro-nichel nativo [28].

Derivata da tale reperto l'opportunità di ricercare questo minerale ed altri eventuali minerali nicheliferi nel giacimento, ne ho effettuato una dettagliata prospezione, campionando sistematicamente la serpentinite asbestifera lungo i vari gradoni della cava ed estendendo quindi le ricerche anche ad una vasta area circostante, a serpentiniti poco o punto mineralizzate a fibra.

Il conseguente studio mi ha permesso di rilevare la presenza del ferro-nichel nativo e di alcuni solfuri nicheliferi nella roccia in posto (ciò che rappresenta una novità in senso assoluto per il nostro paese) e, soprattutto, di precisarne la distribuzione nell'area coltivata ed in altre viciniori.

I risultati ottenuti mi hanno suggerito di estendere lo studio ad altre serpentiniti, con particolare riguardo a quelle asbestifere oggetto di coltivazione per fibra: per queste ultime, infatti, è da rilevare — per quanto attiene al problema del ricupero del nichel — che la roccia già risulta abbattuta, frantumata ed in parte macinata per la separazione dell'asbesto e che quindi il grezzo nichelifero sarebbe esente da spese

---

<sup>(1)</sup> Ricerche tuttora in corso di svolgimento presso l'Istituto di Arte Mineraria del Politecnico di Torino, alle quali ha collaborato lo scrivente.

di coltivazione e da una quota di quelle di comminuzione, imputabili al bilancio di produzione della fibra.

Ho pertanto preso in esame la serpentinite del giacimento asbestifero di Sampeyre (sito circa 5 km ad ovest dell'omonimo paese, nella media Val Varaita, in provincia di Cuneo) e, per utili confronti, quelle prive di fibra di numerose località delle Alpi Occidentali, precisamente delle Valli del Sangone, di Susa e di Lanzo, in provincia di Torino, e di quelle di Gressoney, Ayas e Valtournanche, in provincia di Aosta: di tutte ho effettuato abbondanti campionature.

Trattasi, in genere, di serpentiniti macroscopicamente omogenee, massicce, con tessitura isotropa criptocristallina, che, all'indagine microscopica, risultano costituite essenzialmente da antigorite lamellare, cui sono associati, in varie proporzioni, gli abituali accessori (pirosseni, olivina, anfiboli, cloriti, epidoti, magnetite, ecc., eventualmente crisotilo).

Gli studi condotti in laboratorio sui materiali raccolti mi hanno permesso di riscontrare un quadro dei minerali metallici (in particolare nicheliferi) abbastanza uniforme in tutte le serpentiniti esaminate, simile a quello osservato nel giacimento di Balangero. Si sono ovviamente rilevate, nelle diverse zone ed anche nei diversi campioni studiati di una stessa zona, differenze per quanto concerne frequenza, distribuzione, dimensioni, forme, associazioni e relazioni dei vari minerali, alcuni dei quali sono anche risultati, in certi casi, assenti. Tuttavia, l'insieme delle osservazioni effettuate consente di fornire una descrizione unitaria delle varie mineralizzazioni.

A conclusione di queste note introduttive, mi pare opportuno ricordare che, per quanto riguarda il ferro-nichel nativo terrestre, esso è noto in non molte località, prevalentemente entro a formazioni detritiche e subordinatamente in rocce in posto. Riconosciuto per la prima volta nelle sabbie della Awarua Bay, nella Nuova Zelanda [51], è stato successivamente segnalato in altre alluvioni, soprattutto fluviali, ad esempio in alcuni degli Stati Uniti (Oregon, California, Carolina del Nord, Virginia), Canada (Columbia Britannica, Yukon), Brasile, Tasmania, Urali, Corsica, Piemonte (torrente Elvo) (si veda la bibliografia riportata in [56]).

Ferro-nichel in posto, sempre entro a serpentiniti, è stato ritrovato: a Selva di Poschiavo, in Svizzera [39, 40, 41]; a Gullitzen presso Friesach, in Carinzia [43]; nel massiccio di Canari [1] ed a Monte

Maggiore ed Olmetta [38], in Corsica; presso Asbestos e Thetford, nel Quebec [27].

Le analisi chimiche effettuate da vari Autori su alcuni ferro-nichel delle diverse località citate hanno permesso di stabilire, per essi, rapporti atomici Ni/Fe compresi all'incirca fra 2 e 3,5 [34]; i vari nomi coi quali essi vengono indicati (awaruite, josephinite, bobrovkite, ecc.) derivano da quelli dei principali luoghi di ritrovamento: in particolare, si assegna correntemente il nome di awaruite ai termini che, come quello della Nuova Zelanda, hanno composizione prossima ad  $\text{FeNi}_2$ , di josephinite a quelli che, come il ferro-nichel dell'Oregon (Josephine County), hanno invece composizione prossima ad  $\text{FeNi}_3$  e di bobrovkite a quelli per i quali, come nel caso del ferro-nichel degli Urali (fiume Bobrovka), il rapporto atomico Ni/Fe è prossimo a 2,5.

### I minerali nicheliferi.

I minerali metallici, in gran parte nicheliferi, individuati nelle varie serpentiniti studiate sono:

magnetite, ferro-nichel nativo, pentlandite (presenti praticamente in tutti i campioni di ogni zona) <sup>(2)</sup>;

heazlewoodite, bravoite (presenti in parecchi campioni di quasi tutte le zone);

mackinawite, pirrotina, calcopirrotina (probabile) (presenti in pochi campioni di alcune zone);

millerite, cobalto-pentlandite, valleriite (presenti in alcuni campioni del giacimento di Balangero).

La magnetite è, di questi minerali, il più frequente, riconoscibile ben sovente anche ad occhio, distribuita in granuli od in gruppi di granuli di dimensione molto varia, talora minutissimi, oppure in venule, plaghe, nastri, lenticelle.

Quanto al *ferro-nichel nativo*, indagini specifiche relative alla sua composizione sono state condotte su quello di Balangero. Inizialmente, operando per via roentgenspettrografica con apparecchiatura XRD-5

---

<sup>(2)</sup> Il ferro-nichel, in particolare, è risultato presente in tutti i campioni (circa duecento) di serpentiniti più o meno asbestifere, da me raccolti sistematicamente lungo i vari gradoni del giacimento di Balangero.



Fig. 1. — Microfotografia di sezione lucida di lamelle di ferro-nichel nativo del giacimento asbestifero di Balangero, inglobate in resina acrilica (solo polarizzatore, ingr. 70  $\times$ ).

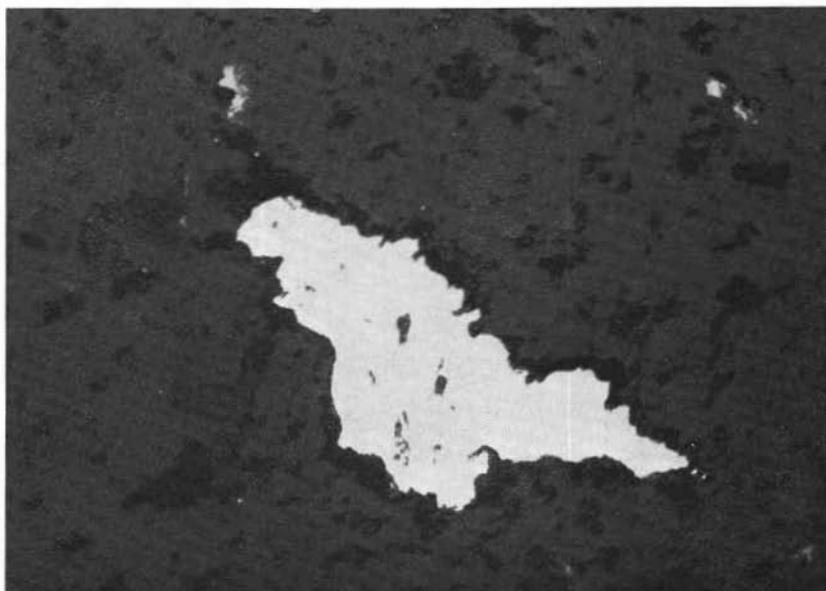


Fig. 2. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite del giacimento asbestifero di Balangero. Tipica laminetta di ferro-nichel nativo, a contorno tortuoso (solo polarizzatore, ingr. 210  $\times$ ).

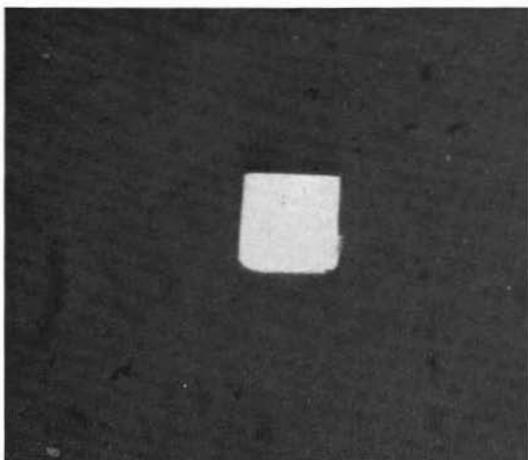


Fig. 3. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite del giacimento asbestifero di Sampeyre. Individuo di ferro-nichel nativo con abito idiomorfo (solo polarizzatore, ingr. 560 X).

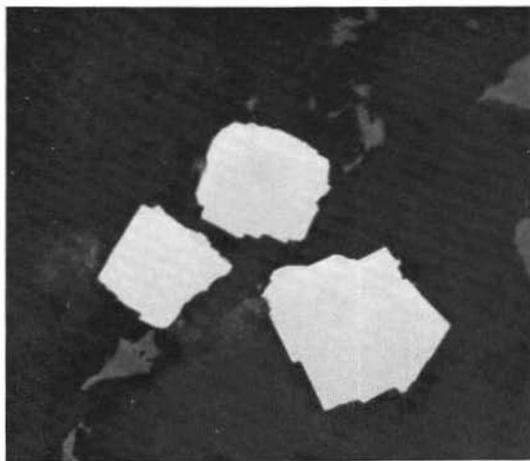


Fig. 4. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite del giacimento asbestifero di Sampeyre. Individui di ferro-nichel nativo con abito subidomorfo (solo polarizzatore, ingr. 560 X).

della General Electric, si è potuto stabilire che il minerale è costituito, nell'ordine d'abbondanza, da nichel e ferro, con subordinato cobalto. Successivamente — in considerazione del fatto che il rapporto Ni/Fe è, come accennato, variabile all'incirca fra 2 e 3,5 nei diversi ferro-nichel terrestri finora studiati — ne è stata eseguita l'analisi chimica quantitativa [56]: la sua composizione è risultata uguale a Fe (Ni, Co)<sub>2,95</sub> — molto prossima a quella della josephinite dell'Oregon [43] — con rapporto Ni/Co uguale circa a 38.

Più in generale, lo studio microscopico effettuato su molte decine di sezioni lucide ricavate dai campioni delle varie serpentiniti (asbestifere o meno), integrato da osservazioni in luce trasmessa, ha permesso di rilevare, sul ferro-nichel, innanzitutto alcune sue proprietà fisiche caratteristiche e cioè: isotropia, colore di riflesso bianco, assenza di riflessi interni, durezza media (di poco inferiore a quella della pentlandite e decisamente inferiore a quella della magnetite), potere riflettente in aria, al microfotometro, compreso fra il 58 ed il 60%, per le varie lunghezze d'onda selezionate dagli usuali filtri; oltre ad alcuni attacchi chimici diagnostici coi più tipici reagenti (rapido annerimento ed effervescenza con HNO<sub>3</sub>, rapido annerimento con FeCl<sub>3</sub>, negativo con HCl, KCN, KOH). Studi effettuati su concentrati ottenuti nella sezione di arricchimento magnetico dell'impianto di Balanero, hanno consentito di constatare la spiccata duttilità del minerale, il suo elevato peso specifico (superiore a quello della magnetite), nonchè il suo ferromagnetismo (la suscettività risulta di poco inferiore a quella della magnetite).

Il minerale è disseminato nella roccia con una certa uniformità<sup>(3)</sup>, in minuti individui — di dimensioni massime sul millimetro, frequenti fra pochi centesimi ed alcuni decimi di millimetro — aventi forma appiattita, di lamine sottili (fig. 1), a contorni quasi sempre molto irregolari, tortuosi e sfrangiati (figg. 2, 12) e, solo subordinatamente, di

---

<sup>(3)</sup> E' interessante notare come il ferro-nichel, non visibile ad occhio e neppure con l'ausilio di una lente sulle superfici irregolari dei campioni, sia invece macroscopicamente ben evidente e facilmente riconoscibile su una superficie anche solo approssimativamente piana — quale si può ottenere tagliando la roccia con normale sega a disco — dove appare in forma di più o meno minuti granuletti metallici con forte splendore e, là dove essi siano frequenti e di dimensioni piccole, quasi con l'aspetto di una polvere argentea.

cristallini con abito idiomorfo o subidiomorfo (figg. 3, 4). Molto raramente è distribuito in esili venule.

Le lamine di ferro-nichel ricorrono sovente isolate nella serpentine, non associate ad altri minerali metallici, incluse sia nell'aggregato feltrato di lamelle antigoritiche di cui è costituita essenzialmente la roccia, sia talora nelle minute fratture dei più comuni accessori, quali l'olivina, i pirosseni (diallagio, enstatite) e gli anfiboli (tremolite, attinoto) o nei nastri di serpentino costituenti il tipico reticolato a maglie negli individui di olivina od anche, meno spesso, fra le fibre di erisotilo.

Ma altrettanto sovente esse, anzichè sole, sono intimamente associate ad uno o più solfuri nicheliferi (pentlandite, heazlewoodite, bravoite), oppure, meno spesso, alla magnetite, o molto raramente alla pirrotina (figg. 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13).

La *pentlandite* è anch'essa disseminata nelle varie serpentiniti con una certa uniformità, sia in cristallini isolati di pochi decimi di millimetro, sia associata al ferro-nichel e talora da esso contornata e più o meno estesamente sostituita od inclusa in forma di veri e propri rellitti. L'associazione col ferro-nichel è talvolta così intima da risultarne una struttura di tipo « mirmechitico », con aspetto grafico. La *pentlandite* include, raramente, minutissime plaghe di *mackinawite* e può essere qua e là trasformata più o meno estesamente in *bravoite* (figg. 5, 6, 7, 11, 13).

La *heazlewoodite* [35, 36, 41, 42, 55, 56] è distribuita in individui di dimensioni massime di alcuni decimi di millimetro, isolati oppure associati al ferro-nichel ed agli altri solfuri, meno spesso alla magnetite oppure intimamente frammisti ai minerali litoidi (figg. 7, 8, 9). E' molto simile, nei caratteri morfologici, al ferro-nichel: da questo e dalla *pentlandite* si distingue — all'osservazione microscopica in luce riflessa — per il colore giallo crema pallido (meno carico della *pentlandite*, ma ben diverso dal ferro-nichel, che è bianco), per il potere riflettente (superiore a quello della *pentlandite*, ma inferiore a quello del ferro-nichel) e, soprattutto, per i deboli fenomeni di pleocroismo di riflessione e di biriflettenza e per la distinta anisotropia (a nicols incrociati) con colori nelle tonalità del rosa-violetto e del verde-bluastrò (mentre la *pentlandite* ed il ferro-nichel sono isotropi).

La *bravoite* è quasi sempre associata ai solfuri nicheliferi, specie

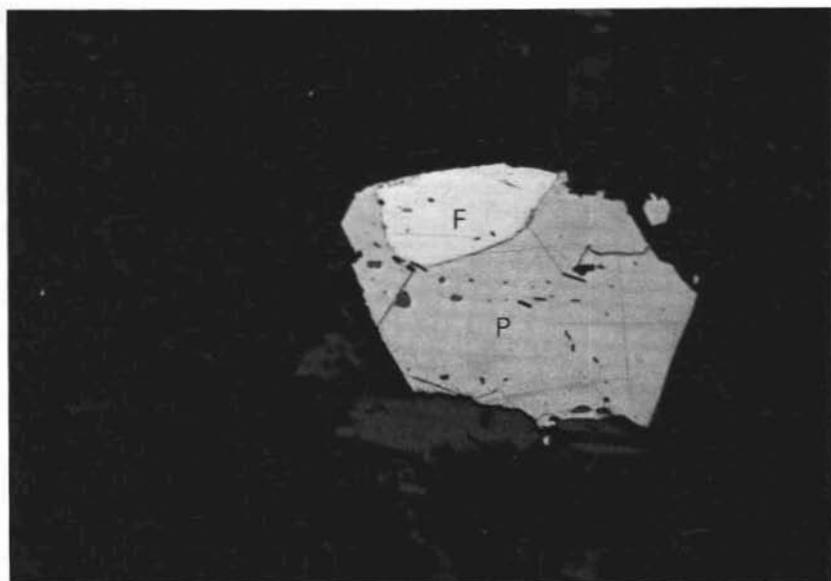


Fig. 5. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite del giacimento asbestifero di Sampeyre. Ferro-nichel nativo (F) associato a pentlandite (P).  
In basso, magnetite (grigia scura) (solo polarizzatore, ingr. 210 ×).

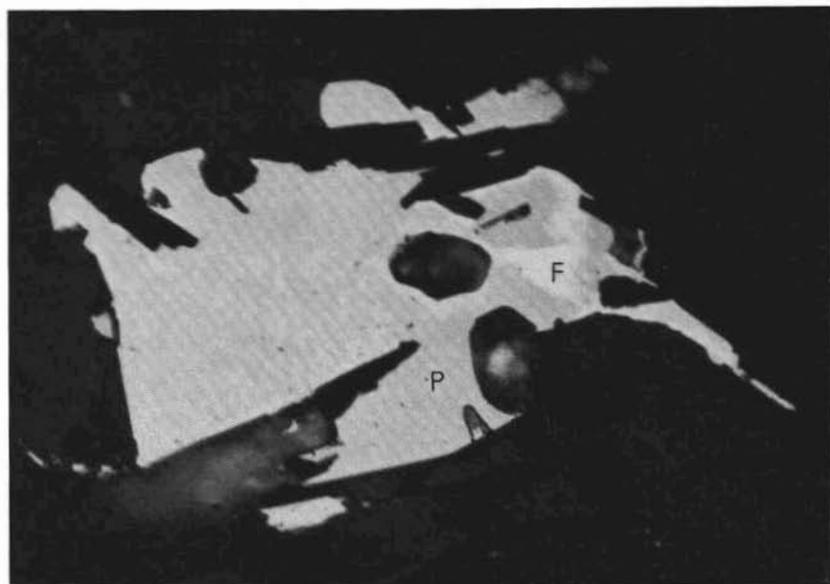


Fig. 6. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite della Valtournanche. Pentlandite (P) mista a ferro-nichel nativo (F): a sinistra, con struttura grafica di tipo « mirmechitico » (solo polarizzatore, ingr. 560 ×).

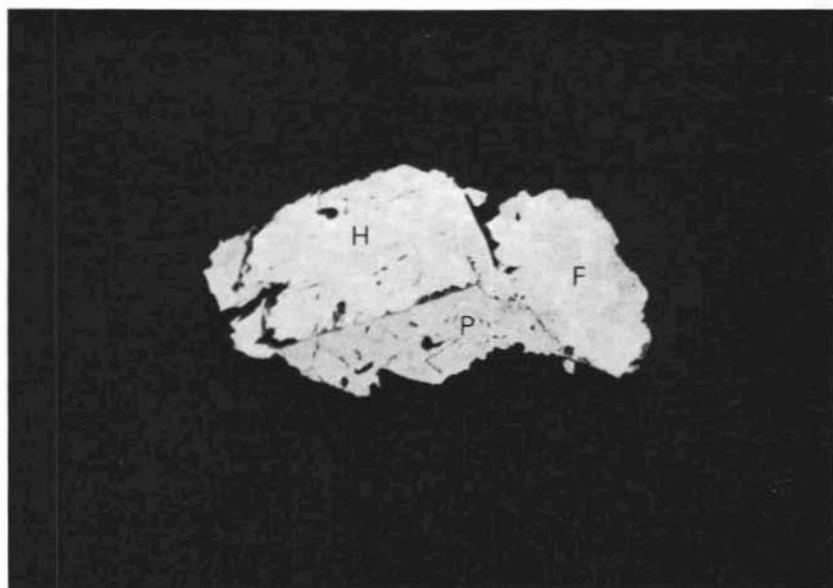


Fig. 7. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite del giacimento asbestifero di Balangero. Ferro-nichel nativo (F) associato a pentlandite (P) e heazlewoodite (H) (solo polarizzatore, ingr. 210  $\times$ ).

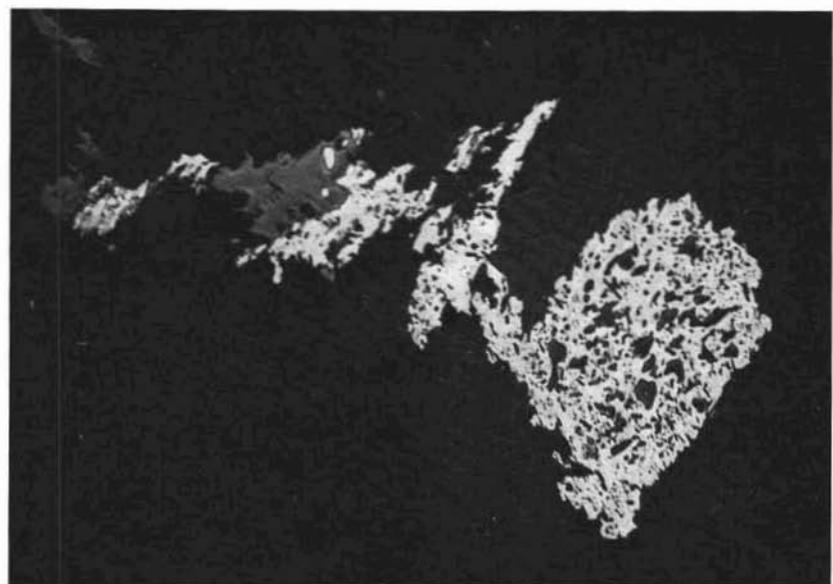


Fig. 8. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite del giacimento di Sampeyre. Heazlewoodite intimamente frammista al minerale litoide. Le plaghe grigie, in alto a sinistra, sono di magnetite (solo polarizzazione, ingr. 70  $\times$ ).

quale prodotto di alterazione della pentlandite, con essa intimamente frammista in varie proporzioni; talvolta associata al ferro-nichel (figure 9, 10).

La *mackinawite* <sup>(4)</sup> ricorre nella pentlandite, e soltanto in essa, come prodotto di sostituzione (e forse anche di smistamento), in minuti individui allungati od in plaghette ravvicinate, irregolari, a contorni spesso sfrangiati o ramificati, talvolta lungo le sfaldature della pentlandite (fig. 11).

E' facilmente riconoscibile al microscopio per i tipici caratteri: forte pleocroismo di riflessione, da giallo-crema (simile alla pentlandite) a grigio-rosato; biriflettenza ben evidente (il potere riflettente è di poco inferiore a quello della pentlandite nella posizione di minimo assorbimento e diminuisce notevolmente fino a quella di massimo); enorme anisotropia, con colori da bianco-grigiastro lucente a grigio scuro, a nicols incrociati, e da bluastro a bruno-terra, a nicols non perfettamente incrociati (quest'ultimo è un carattere diagnostico fondamentale, che consente fra l'altro di distinguere con sicurezza la mackinawite dalla valleriite, i cui colori di polarizzazione restano invariati al ruotare dell'analizzatore dalla posizione incrociata).

La *pirrotina*, concentrata in alcune zone ristrette e marginali del giacimento di Balangero [37], in una particolare facies della serpentinite (di colore verde nerastro, alquanto più oscuro della norma, ricca di magnetite e priva di crisotilo), assai rara altrove, è di solito associata alla pentlandite ed anche al ferro-nichel (fig. 12).

In alcune sezioni lucide, ricavate da campioni del giacimento di Sampeyre e delle Valli Sangone e di Susa, ho osservato un minerale metallico, incluso nel ferro-nichel in forma di minutissime plaghette, la cui diagnosi si è rivelata particolarmente difficile, e quindi dubbia, soprattutto a causa delle esigue dimensioni delle plaghette stesse (fig. 13). I caratteri che ho potuto rilevare sono: colore da brunastro a bruno-crema, simile a quelli della pirrotina e della cubanite, ma di

---

(4) Trattasi di un solfuro di ferro a struttura tetragonale [3, 8, 13, 25, 46], di composizione prossima a FeS, contenente subordinato nichel e tracce di cobalto [19], riconosciuto soltanto in questi ultimi anni ed in precedenza confuso con la valleriite, soprattutto a causa di una stretta analogia nei caratteri ottici [5, 31, 32]. Brevi cenni sulle località di ritrovamento ed altri dati sono riportati in [57].

questi un po' più cupo; potere riflettente prossimo a quello della pirrotina; anisotropia molto tenue, con effetti di colore debolissimi; durezza media. Sulla scorta di queste proprietà, ritengo che il minerale potrebbe essere riferito alla *calcopirrotina* (ritenuta una miscela cristallina di  $\text{CuFeS}_2\text{-FeS}$  in rapporti da circa 1:1 fino a 1:6) (5).

Infine, in alcuni campioni del giacimento di Balangero, ho individuato altri tre minerali metallici che, per l'insieme dei caratteri rilevati, ritengo di poter riferire rispettivamente alla *millerite*, alla *cobalto-pentlandite* ed alla *valleriite*.

La prima ricorre in plaghette ed in piccoli cristalli aghiformi, spesso curvi, aventi dimensioni da alcuni centesimi a pochi decimi di millimetro; è quasi sempre associata a qualcuno degli altri solfuri nicheliferi, specie alla pentlandite, ed anche al ferro-nichel, del quale include talvolta minutissimi individui.

La seconda (6) è presente nella particolare facies serpentinitica di colore verde nerastro, di cui è cenno in precedenza e nella quale è concentrata la pirrotina; è associata a questa, alla magnetite ed alla pentlandite in piccoli individui a contorni irregolari e talvolta è distribuita nella roccia in esili venule (fig. 14). Non essendo stato possibile eseguirne l'analisi chimica, è stata esaminata per via diffrattometrica: il relativo diagramma ha permesso di calcolare, per quanto concerne le principali riflessioni, valori di distanze interplanari ed intensità che corrispondono a quelli riportati in [4] da [18].

Minutissime, rare plaghe riferibili alla valleriite, associate sia alla pentlandite che alla pirrotina, ho infine avuto occasione di osservare negli stessi campioni di roccia in cui ricorre la mackinawite. I caratteri distintivi sono analoghi a quelli riportati in [8].

---

(5) In proposito, si ricorda che Ramdohr [43], nel ferro-nichel dell'Oregon, ha osservato un minerale analogo, formulando, come ipotesi più probabile, quella che si tratti di un «Chalkopyrrhotin Verwandt» (cioè di un «parente» della calcopirrotina), forse di un minerale con composizione  $(\text{Ni, Fe, Cu})\text{S}$ .

(6) Col nome di cobalto-pentlandite è stata indicata una varietà di pentlandite riccamente cobaltifera, reperita in alcuni giacimenti finlandesi della Carelia settentrionale, associata a solfuri di ferro, nichel e rame [18]. Essa ha proprietà ottiche analoghe a quelle della pentlandite, rispetto alla quale ha colore sensibilmente più giallo e splendore leggermente più vivo. Altre notizie su questo minerale sono riportate in [57].

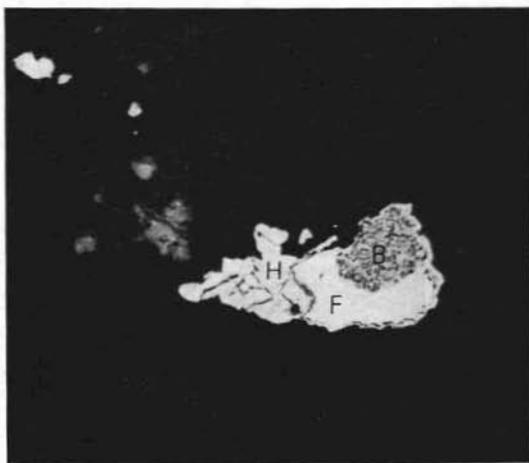


Fig. 9. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite non asbestifera di Balangero. Ferro-nichel nativo (F) associato a heazlewoodite (H) e bravoite (B) (solo polarizzatore, ingr. 210  $\times$ ).

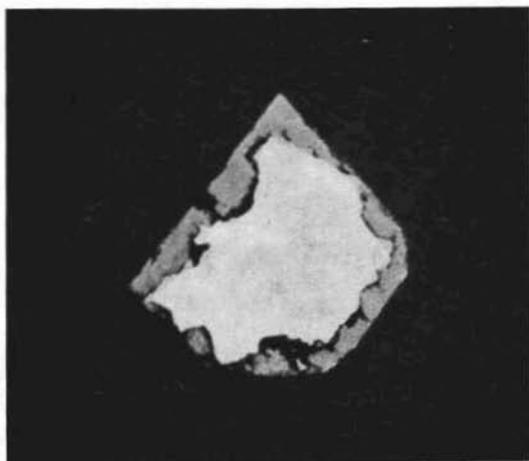


Fig. 10. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite della Val Sangone. Ferro-nichel nativo (bianco) associato a bravoite (grigia chiara) (solo polarizzatore, ingr. 560  $\times$ ).

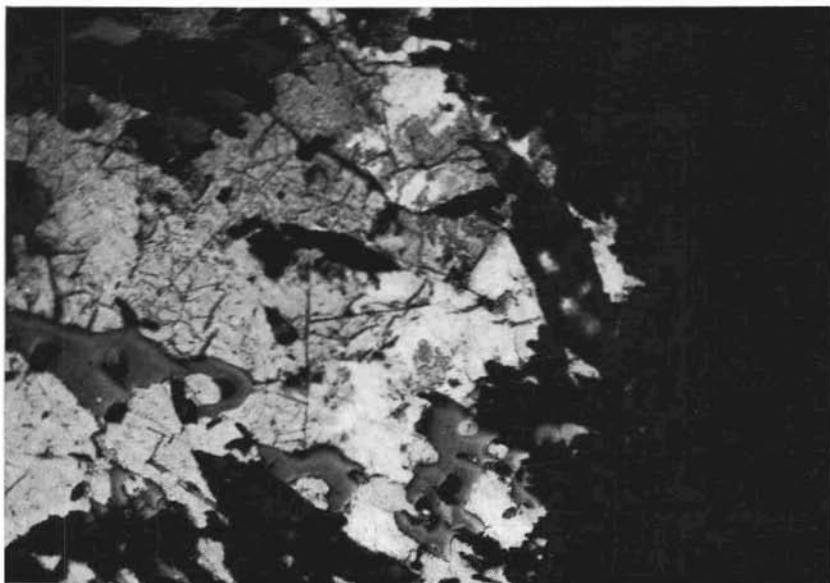


Fig. 11. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite non asbestifera e ricca di magnetite di Balangero. Mackinawite (bianca, in centro) associata a pentlandite (grigia chiara, con tracce di sfaldatura) ed a magnetite (grigia, in rilievo) (Nicols non perfettamente incrociati, ingr. 200  $\times$ ).

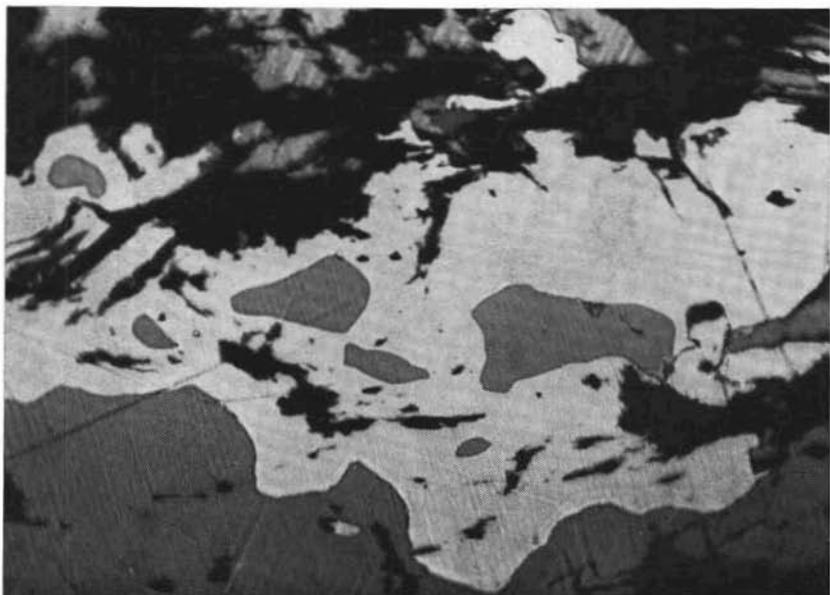


Fig. 12. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite non asbestifera e ricca di magnetite di Balangero. Ferro-nichel nativo (bianco) associato a pirrotina (grigia), di cui include alcune plaghe residue (solo polarizzatore, ingr. 210  $\times$ ).

### Considerazioni genetiche e conclusive.

Le osservazioni effettuate sulle serpentiniti dei giacimenti asbestiferi di Balangero e Sampeyre e sulle numerose altre alpine studiate, consentono di trarre alcune conclusioni di carattere generale sulla presenza e distribuzione e sul significato dei minerali nicheliferi nelle serpentiniti stesse, nonchè sulla loro genesi.

Una prima constatazione, definitivamente acquisita — di indubbia utilità, in particolare, per le ricerche sulla possibilità di ricupero del nichel — riguarda la natura dei minerali, cui è dovuta la presenza del metallo ed il cui quadro si è rivelato ovunque notevolmente uniforme: il nichel è legato non già esclusivamente o quasi ai minerali silicatici, come ritenuto in passato [14, 15, 23], ma, almeno parzialmente, ai numerosi minerali metallici identificati e descritti.

Il ferro-nichel nativo e, fra i solfuri, la pentlandite ricorrono infatti in tutti i campioni di tutte le zone studiate e sono quindi da considerarsi quali normali minerali accessori delle serpentiniti, siano esse asbestifere o meno. Inoltre, la heazlewoodite e la bravoite sono risultate presenti, talora con una certa frequenza, in gran parte delle rocce esaminate. E' anche ampiamente confermato che la presenza di questi minerali nicheliferi è indipendente da quella del erisotilo.

Circa la genesi del ferro-nichel, essa è finora controversa.

Nickel [27], ad esempio, a conclusione di uno studio sul ferro-nichel reperito nelle serpentiniti asbestifere dei giacimenti canadesi di Asbestos e Thetford, avanza l'ipotesi che il minerale si sia formato contemporaneamente alla serpentinnizzazione di originarie peridotiti, ma esclusivamente mediante l'utilizzazione di una parte del nichel contenuto, come elemento vicariante del magnesio, nei silicati primari e mobilizzato nel processo metamorfico.

Tale ipotesi non può essere accettata per il ferro-nichel delle diverse serpentiniti studiate: ciò per la rilevata, frequente associazione coi solfuri, in ispecie con la pentlandite, che talora ne viene sostituita, inclusa in forma di veri e propri relitti; in taluni casi, anzi, si tratta di una vera e propria pseudomorfosi (analogo fenomeno è stato, ad esempio, osservato [20] a Wheaton Creek, nella Columbia Britannica). Per cui si deve ammettere che almeno una parte di esso si sia generata per trasformazione di solfuri.

D'altronde, relazioni di interdipendenza fra ferro-nichel nativo e solfuri nicheliferi nelle serpentiniti già sono state rilevate da De Quervain [40, 41], Avias e Caillère [1], Picot [38], Krishnarao [20] e Ramdohr [43]. Questi, in particolare, sulla scorta delle osservazioni effettuate sulla josephinite dell'Oregon (masse botrioidali, aggregati muschiformi, deposizione ritmica con rame nativo, rapporti coi litoidi, ecc.) ha escluso che la deposizione del minerale sia avvenuta ad elevata temperatura, tanto meno quale prodotto di segregazione magmatica, come ipotizzato in passato.

In accordo con tali risultanze, anche per il ferro-nichel in oggetto si può ragionevolmente pensare ad una sua deposizione tardiva rispetto alla formazione delle serpentiniti, come d'altronde testimoniano le sue relazioni sia coi minerali metallici che con quelli litoidi: deposizione da ascrivere ad una fenomenologia non già di ambiente supergenico, ma piuttosto di tipo epitermale, quale fase postuma del più ampio processo da cui presero origine le serpentiniti stesse.

In siffatto contesto genetico bene si inquadra, verisimilmente, anche la presenza della mackinawite. E' pur vero che ad essa non si può assegnare un preciso significato geotermometrico, in quanto non ne è stata ancora indicata un'esatta temperatura di formazione; ma è da sottolineare il fatto che Berner [3] sia riuscito a preparare artificialmente il minerale in ambiente fortemente riducente, da soluzione acquosa, a temperatura ambiente e pressione atmosferica. Ad analoghe conclusioni giungono anche Chamberlain e Delabio [8], i quali ritengono che la mackinawite, ed anche la valleriite, da essi reperite in serpentiniti comprese nel massiccio ultrabasico di Muskox, nel Canada, si siano formate come minerali di sostituzione a temperature submagmatiche, durante il processo di formazione delle serpentiniti.

Meno chiare sono, invece, le relazioni della heazlewoodite con gli altri minerali nicheliferi. Non mi pare, in base ai dati di osservazione, che essa possa considerarsi un prodotto di derivazione dalla pentlandite, come ad esempio si è riscontrato nelle serpentiniti di Selva di Poschiavo, in Svizzera [20, 41], dove è stata appunto osservata una graduale trasformazione della pentlandite in heazlewoodite e di questa in ferro-nichel. Io ritengo, invece, che la formazione di questo solfuro nichelifero sia dovuta, al pari della pentlandite, a deposizione diretta e non già a fenomeni di trasformazione di minerali preesistenti.

Minerale secondario è invece la bravoite, che io ho quasi sempre osservata in associazione ed in sostituzione della pentlandite. Essa viene

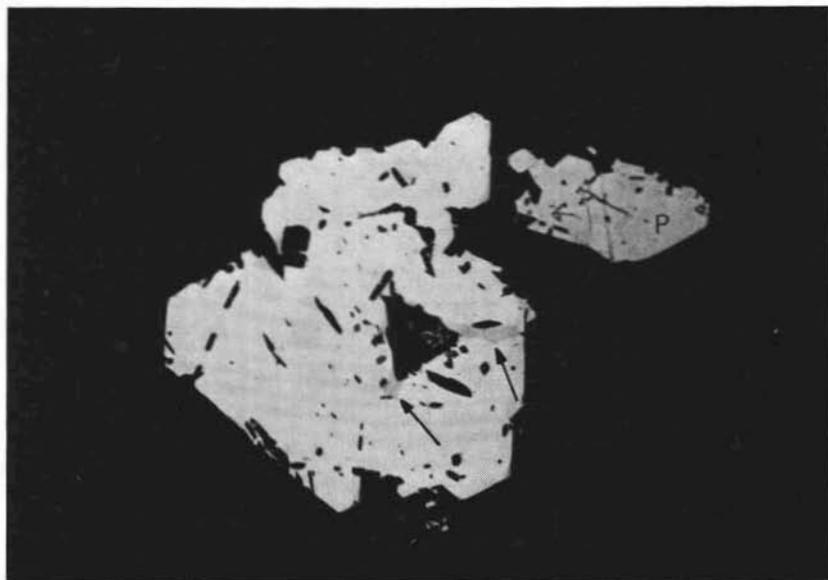


Fig. 13. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite del giacimento asbestifero di Sampeyre. Ferro-nichel nativo con incluse due minutissime plaghe di probabile calcopirrotina (indicate dalle due frecce). P = pentlandite (solo polarizzatore, ingr. 210 ×).



Fig. 14. — Microfotografia di sezione lucida di serpentinite non asbestifera e ricca di magnetite di Balangero. Venula a prevalente cobalto-pentlandite (bianca) (solo polarizzatore, ingr. 200 ×).

considerata quale tipico minerale di bassa temperatura, deposto in presenza di acque di circolazione superficiale [44] e comunque sempre al di sotto di 137°C [9], per alterazione della pentlandite e, talora, anche della linneite.

Interessante è la sua associazione col ferro-nichel, che ho avuto occasione di osservare in alcuni campioni della Val Sangone: in questo caso particolare si potrebbe forse pensare ad una deposizione diretta più che non ad una trasformazione della pentlandite in bravoite e ferro-nichel [2].

Infine, mi pare opportuno sottolineare l'interesse anche pratico del presente studio, nei riguardi del problema del ricupero del nichel dalle serpentiniti e, in generale, di quello più vasto della valorizzazione dei minerali poveri. Infatti il reperto del ferro-nichel nativo e degli altri minerali nicheliferi e la precisazione delle loro caratteristiche generali e di giacitura, non soltanto rappresentano un contributo alla migliore conoscenza della distribuzione del nichel nelle serpentiniti e della sua giacimentologia in generale, ma hanno fornito utili indicazioni nel corso delle ricerche [29] intese a ricuperare economicamente almeno una parte del nichel presente, pur se in bassi tenori, nel giacimento di serpentinite asbestifera di Balangero.

Torino, Istituto di Geologia e Giacimenti Minerari del Politecnico, settembre 1969.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] AVIAS J. e CAILLERE S., *Sur la présence en Corse d'un fer nickelé du groupe de la joséphinite*. C. R. Ac. Sci., 248, 118 (1959).
- [2] BARNES H. L., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. Holt, Rinehart e Winston, New York (1967).
- [3] BERNER R. A., *Tetragonal FeS, a new iron sulfide*. Science, 137, 669 (1962).
- [4] BERRY L. G. e THOMPSON R. M., *X-ray powder data for ore minerals: the Peacock atlas*. Geol. Soc. Amer., New York (1962).
- [5] BIRKS L. S., BROOKS E. J., ADLER I. e MILTON C., *Electron probe analysis of minute inclusions of a copper-iron mineral*. Amer. Mineral, 44, 974 (1959).
- [6] BRADLEY A. J., JAY A. H. e TAYLOR A., *The lattice spacing of iron-nickel alloys*. Phil. Mag., 23, 545 (1937).
- [7] BRANDERBERGER E., *Die Kristallstruktur des Awaruit*. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 19, 285 (1939).
- [8] CHAMBERLAIN J. A. e DELABIO R. N., *Mackinawite and valleriite in the Muskox intrusion*. Amer. Mineral, 50, 682 (1965).

- [9] CLARK L. A. e KULLERUD G., *The sulfur-rich portion of the Fe-Ni-S system*. Econ. Geol., 58, 853 (1963).
- [10] CONTI S., *Serpentine nichelifere in Liguria*. La Ric. Sci., 12, 448 (1941).
- [11] DEER W. A., HOWIE R. A. e ZUSSMAN J., *Rock-forming minerals*. Longmans, London (1962).
- [12] EDWARDS A. B., *Texture of the ore minerals*. Austr. Inst. Min. Met., Melbourne (1960).
- [13] EVANS H. T., MILTON C., CHAO E. C. T., ADLER I., MEAD C., INGRAM B. e BERNER R. A., *Valleriite and the new iron sulphide, mackinawite*. U. S. Geol. Surv., 475-D, 133 (1964).
- [14] FENOGGLIO M., *Osservazioni geochimiche sul nichelio presente nelle masse peridotitico-serpentinose delle Alpi piemontesi*. Rend. Acc. Naz. Lincei, 8, 282 (1950).
- [15] FENOGGLIO M., *Sulla presenza e diffusione del nichelio nelle rocce costituenti le masse peridotitico-serpentinose delle Alpi piemontesi*. Ann. Acc. Agric. Torino, 95, 113 (1953).
- [16] FOLINSBEE R. E., *Determination of reflectivity of the ore minerals*. Econ. Geol., 44, 425 (1949).
- [17] JOHNSTON R. A. A., *Awaruite, almandine und magnetite*. Summ. Rep. Geol. Surv. Dep. Min., Canada, 37, 256 (1910-11).
- [18] KOUVO O., HUUMA M. e VUORELAINEN Y., *A natural cobalt analogue of pentlandite*. Amer. Mineral., 44, 897 (1959).
- [19] KOUVO O., VUORELAINEN Y. e LONG J. V. P., *A tetragonal iron sulfide*. Amer. Mineral., 48, 511 (1963).
- [20] KRISHNARAO J. S. R., *Native nickel-iron alloy, its mode of occurrence, distribution and origin*. Econ. Geol., 59, 443 (1964).
- [21] KUBASCHEWSKI O. K. e VON GOLDBECK O., *The thermodynamics of the iron-nickel alloys*. Trans. Farad. Soc., 45, 948 (1949).
- [22] LEECH P. e SYKES C., *The evidence for a superlattice in the nickel-iron alloy Ni<sub>2</sub>Fe*. Phil. Mag., 27, 742 (1939).
- [23] MARIOTTI E., *Studio per un metodo di estrazione del nichelio dalle serpentine*. Lab. Ric. Cave S. Vittore, Torino (1943).
- [24] MICHARD A., *Etudes géologiques dans les zones internes des Alpes Cottiennes*. Cent. Nat. Rech. Sci., Paris (1967).
- [25] MILTON C. e MILTON D. J., *Nickel-gold ore of the Mackinaw mine, Snohomish County, Washington*. Econ. Geol., 53, 426 (1958).
- [26] MORLEY R. E., *The mineralogy and origin of josephinite*. Pop. Astron., 57, 93 (1949).
- [27] NICKEL E. H., *The occurrence of native nickel-iron in the serpentine rock of the eastern townships of Quebec province*. Can. Mineral., 6(3), 307 (1959).
- [28] OCCELLA E., ZUCCHETTI S. e MARTINI E., *Ricerche sulla possibilità di ricupero del nichel dalla serpentina asbestifera di Balangero. Nota I: Identificazione di un minerale nichelifero ferromagnetico*. Boll. Ass. Min. Subalp., 3, 347 (1966).

- [29] OCCELLA E., MANCINI R. e CLERICI C., *Ricerche sulla possibilità di recupero del nichel dalla serpentina asbestifera di Balangero. Nota II: Distribuzione e concentrazione dei minerali nicheliferi*. Boll. Ass. Min. Subalp., 5, 39 (1968).
- [30] ÖDMAN O. H., *Ore-microscopic study of the sulfide ores of Kaveltorp*. Geol. Fören. Förhandl., 55, 563 (1933).
- [31] OGNIBEN G., REVELLO G. e VALENTI R., *I minerali costituenti gli inclusi di smistamento nella blenda del giacimento di Gadoni (Funtana Raminosa - Sardegna)*. Rend. Acc. Naz. Lincei, 32, 965 (1962).
- [32] OGNIBEN G. e OMENETTO P., *Sulla «valleriite» del giacimento di Gadoni (Funtana Raminosa - Sardegna)*. Rend. Acc. Naz. Lincei, 36, 534 (1964).
- [33] ORIANI R. A., *Thermodynamic activities in iron-nickel alloys*. Acta Met., 1, 488 (1953).
- [34] PALACHE C., BERMAN H. e FRONDEL C., *Dana's system of mineralogy*. Wiley, New York (1962).
- [35] PAPEZIK S., *Heazlewoodite from Miles Ridge, Yukon Territory*. Amer. Mineral., 40, 692 (1955).
- [36] PEACOCK M. A., *On heazlewoodite and the artificial compound Ni<sub>2</sub>S<sub>2</sub>*. Univ. Toronto Studies, Geol. Ser., 51, 59 (1947).
- [37] PERETTI L. e ZUCCHETTI S., *Mineralizzazioni a solfuri nel giacimento asbestifero di Balangero (Torino)*. Atti Symp. Intern. Giac. Min. Alpi, Trento, 3, 929 (1966).
- [38] PICOT P., *Sur la présence de minerais métalliques nickélicifères dans les serpentines*. Bull. Soc. Franc. Min. Crist., 82, 329 (1959).
- [39] QUERVAIN DE F., *Chalkographische Beobachtungen am Lherzolith-serpentin von Selva (Poschiavo)*. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 16, 404 (1936).
- [40] QUERVAIN DE F., *Awaruit und Pentlandit im Serpentin von Selva bei Poschiavo*. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 25, 305 (1945).
- [41] QUERVAIN DE F., *Die Erzminerale des Serpentins von Selva-Quadrada (Puschlav)*. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 43, 295 (1963).
- [42] RAMDOHR P., *Über das Vorkommen von Heazlewoodit Ni<sub>2</sub>S<sub>2</sub> und über ein neues ihm begleitendes Mineral: Shandit Ni<sub>2</sub>Pb<sub>2</sub>S<sub>2</sub>*. Sitzungsber. Deutsch. Akad. Wiss. Berlin. Math. Naturw. Klasse, Jahrg. 1949, 6 (1950).
- [43] RAMDOHR P., *Über Josephinit, Awaruit, Souesit, ihre Eigenschaften, Entstehung und Paragenesis*. Mineral. Mag., 29, 374 (1950-52).
- [44] RAMDOHR P., *Die Erzminerale und ihre Verwachsungen*. Akademie Verl., Berlin (1960).
- [45] RAMDOHR P. e ÖDMAN O. H., *Valleriit*. Geol. Fören. Förhandl., 54, 89 (1932).
- [46] RAO N. K. e RAO G. V. U., *Ore microscopic study of copper ore from Kohlihan, Rajasthan, India*. Econ. Geol., 63, 277 (1968).
- [47] ROUTHIER P., *Les gisements métallifères*. Masson, Paris (1963).
- [48] SCHNEIDERHÖHN H., *Erzmikroskopische und spektrographische Untersuchung von Platinführenden Nickel-Magnetkiesgesteinen des Bushveld Igneous Complex, Transvaal*. Chemie Erde, 4, 252 (1929).
- [49] SCHNEIDERHÖHN H. e RAMDOHR P., *Lehrbuch der Erzmikroskopie*. Borntraeger, Berlin (1931).

- [50] SCHOOUTEN C., *Determination tables for ore microscopy*. Elsevier, New York (1962).
- [51] ULRICH G. H. F., *On the discovery, mode of occurrence and distribution of nickel-iron alloy awaruite on the west coast of South Island, New Zealand*. Quart. Jour. Geol. Soc. London, 46, 619 (1890).
- [52] VIALON P., *Etude géologique du massif cristallin Dora-Maira, Alpes Cottiennes internes, Italie*. Lab. Géol. Fac. Sci., Grenoble (1966).
- [53] VOGT J. H. L., *Nickel in igneous rocks*. Econ. Geol., 18, 307 (1923).
- [54] WILLIAMS K. L., *Nickel mineralization in western Tasmania*. Amer. Inst. Min. Met., Stillwell Anniv. Vol. (1958).
- [55] WILLIAMS K. L., *An association of awaruite with heazlewoodite*. Amer. Mineral., 45, 450 (1960).
- [56] ZUCCHETTI S., *Presenza e distribuzione di un ferro-nichel nativo del tipo della josephinite nel giacimento asbestifero di Balangero*. Rend. Acc. Naz. Lincei, 43, 233 (1967).
- [57] ZUCCHETTI S., *Nuove osservazioni sui minerali di nichel e cobalto nel giacimento asbestifero di Balangero (Torino)*. Boll. Ass. Min. Subalp., 5, 95 (1968).
- [58] ZUCCHETTI S., *Mineralizzazioni nichelifere a ferro-nichel nativo e solfuri nel giacimento asbestifero di Sampeyre (Cuneo) ed in altre serpentiniti alpine*. Boll. Ass. Min. Subalp., 5, 106 (1968).