

N O T E

MARIO BERTOLANI

STUDIO MICROSCOPICO A LUCE RIFLESSA SUI MINERALI DEI GIACIMENTI CUPRO-NICHELIFERI DELLA VALSESIA

Il fiume Sesia incide nel suo medio corso la potente formazione eruttiva basica, che si estende da Ivrea fino oltre il confine svizzero, conosciuta sotto il nome di dioritico-kinzigitica Ivrea-Verbanò, perchè verso est s'intercala con gli scisti cristallini indicati come essenzialmente kinzigitici.

Dalle ricerche dei petrografi e geologi che si sono occupati della zona, tra le quali fanno testo specialmente quelle di Gerlach (1), Artini e Melzi (2), Franchi (3), Novarese (4), sappiamo che predominano nella parte massiccia rocce melanocrate con o senza plagioclasio, che vanno dalle vere e proprie peridotiti (Balmuccia, M. Capiro), a pirosseniti, orneblenditi, noriti, gabbri, fino a passare, nella fascia periferica orientale, a dioriti (Sacro Monte). Proseguendo oltre, si tornano a incontrare verso est rocce eruttive basiche sotto forma di lenti gabbriche, anfiboliche o pirosseniche, a struttura più o meno orientata e a volte zonata, immerse negli scisti biotitici, spesso sillimanitici e in quelle rocce granatifere, di tipo gneissico granitoide, indicate da Artini e Melzi col nome di stronaliti.

NOTIZIE STORICHE SUI GIACIMENTI

Sia nel massiccio principale che in corrispondenza degli affioramenti negli scisti, sono note da tempo, lungo tutta la formazione basica, manifestazioni metallifere di solfuri, tra i quali predomina la pirrotina, spesso anche sfruttate per la percentuale di nichel, cobalto e rame in esse esistenti.

Il primo documento di concessione data, secondo A. Lotti (5), dal 18 settembre 1859 ed è relativo alla miniera di Sella Bassa (Scopello). Da notizie ricavate localmente o riportate da vari autori si sa che si svolsero in quegli anni febbrili ricerche e ben presto alcune miniere iniziarono la produzione. Nel 1870 il Re di Sassonia ricavava dalla miniera di "Alpe Laghetto" 800 tonnellate annue

di minerale; ma la massima attività si svolse dal 1872 al 1877. Nel 1875 lavoravano nelle miniere nichelifere della Valsesia, della Valle Strona e dell'Ossola 254 operai e la produzione era di 2487 tonn. di minerale all'1,25-1,50 % di Ni, che veniva lavorato nelle officine di Varallo e di Scopello. La scoperta dei giacimenti di garnierite della N.^{va} Caledonia fece cessare nel 1878 ogni attività. Sporadici tentativi di ripresa su piccola scala furono effettuati negli anni seguenti e in particolare nel 1897 e 1918, ma ben presto abortirono. Bisogna arrivare al periodo 1940-43 per veder riattivare, ad opera di grandi società industriali e anche di iniziativa locale, il complesso di miniere, che furono dotate, in parte, di moderni impianti e macchinari. Gli eventi bellici però provocarono il rapido abbandono dei lavori intrapresi e la completa distruzione di tutta l'attrezzatura.

Gli studi di carattere mineralogico e geologico cominciano, secondo quanto ho potuto vedere, dal 1865 con una nota di Perazzi (6), sul giacimento di Migliandone nella Val d'Ossola. Il primo lavoro sulle miniere valesiane è invece del 1866 e riguarda quella, ora scomparsa, di Locarno (7). Troviamo notizie nello Jervis (8) ed infine il lavoro dello Tschermak (9) sulle miniere della Valsesia uscito nel 1874, nel quale troviamo i primi dati di carattere generale. Ad esso seguì, a parte qualche citazione di carattere locale (10), un'altra nota sui giacimenti valesiani, dovuta a Priehäusser (11), nella quale figurano notizie specialmente di giacitura e produzione di Alpe Laghetto, Sella Bassa (Scopello), Castello di Gavala, Val di Mengo, Fei di Doccio. Riguardo alla genesi, pur propendendo in linea di massima per l'origine magmatica, l'autore pone anche l'interrogativo di una possibile azione secondaria.

Deciso assertore dell'origine da segregazione magmatica fu invece B. Lotti (12).

Nel 1933, coll'uscita del lavoro di Ehremberg sulle strutture orientate della pentlandite (13), abbiamo il primo saggio calcografico, limitato però a qualche campione di Migliandone. Maggiori notizie le ricaviamo invece da Huttenlocher (14). Questi, occupandosi dei giacimenti minerari delle Alpi Occidentali, prese in esame anche quelli a pirrotina e pubblicò lo studio di sette di essi, tre dei quali della Valsesia: Gula, M. Capio (Alpe Laghetto) e Campello Monti nelle rocce massicce, Cuzzago, Nibbio, Migliandone,

Val di Mengo nelle rocce kinzigitiche. Si hanno così notizie più precise sulla paragenesi. Inoltre Huttenlocher assegna ai giacimenti nelle kinzigiti, a differenza degli altri che egli ritiene sempre di origine magmatica, una genesi pneumatolitico-idrotermale.

Difese ancora la tesi della segregazione magmatica Novarese (15), Stella (16) e A. Lotti (5); semplici segnalazioni troviamo in Lorenzola (17), mentre Moretti (18), occupatosi nel 1942 dei giacimenti di Nibbio, Migliandone, Luzzogno e Val di Mengo, tutti collegati con piccole masse basiche nelle kinzigiti, basandosi sui dati calcografici di Huttenlocher, afferma di non essere alieno " dal riportare la metallogenesi dei giacimenti studiati a venute solfurate postcristalline „. Nota inoltre, facendo eco a Huttenlocher, la differenza dagli altri affioramenti nelle rocce massicce, più poveri di rame e contenenti pentlandite.

Dal 1942, per quanto io sappia, non si è più parlato dei giacimenti di pirrotina della Valsesia o delle vicine valli Strona e Ossola, ad eccezione di una breve nota di Fagnani su Nibbio e Migliandone (19).

NOTIZIE DI GIACITURA

E RISULTATI DELLE RICERCHE MICROSCOPICHE

Ho avuto occasione di visitare nel 1950 alcune manifestazioni metallifere della Valsesia, durante una mia permanenza nella zona per studi petrografici. Ho creduto opportuno raccogliere campioni di minerali per sottoporli ad attento esame microscopico a luce riflessa al fine di poter notare eventuali differenze tra i singoli giacimenti e possibilmente dare un giudizio sulla controversa genesi.

I giacimenti trattati nel presente studio sono otto, tutti nella Valsesia o nella vicina valle del Mastallone, suo affluente di sinistra. Sei di essi, e precisamente: Alpe Laghetto, Cravagliana, Balmuccia, Valmaggia, Meula, Gula, sono in piena formazione eruttiva basica, mentre due: Fei di Doccio e Val di Mengo giacciono in corrispondenza di lenti basiche tra gli scisti. Fra i primi sei, Gula e, in misura molto minore, Meula, si trovano in una zona di particolare, intenso disturbo tettonico.

Ho avuto la fortuna di poter eseguire il lavoro nell'Istituto di Mineralogia dell'Università di Friburgo i. Br., diretto dal Prof. H. Schneiderhöhn, che mi ha cortesemente ospitato e seguito per tutta la durata delle ricerche e al quale esprimo qui tutta la mia gratitudine.

Alpe Laghetto.

Il giacimento è situato in una regione impervia nella zona dello spartiacque tra Val Sesia e Valle Strona e passa subito al disotto della cima del Monte Capiò (2170 m.). La sua estensione è notevole, trattandosi di una fascia mineralizzata con andamento N-S congiungentesi, con tutta probabilità, con quella di Campello Mont in Val-Strona. Potrebbe sembrare a prima vista, osservando la carta geologica (¹), che si trattasse di un giacimento non situato in piena formazione eruttiva, ma presso una lente basica negli scisti, tuttavia dall'esame petrografico delle rocce e dalla continuità che il nostro affioramento presenta a nord e a sud con la massa principale gabbro-noritica, non v'è dubbio che siamo ancora nella formazione basica non metamorfosata, che in questo punto raggiunge la sua massima sottigliezza.

Dall'esame sul terreno e al microscopio tra le rocce che compaiono nell'area mineralizzata si notano: una peridotite ad orneblenda e pleonasto, passante in alcuni punti a serpentina nella quale Huttenlocher (14) ha riconosciuto la presenza di harzburgite, wehrlite e lherzolitite; una pirossenite priva o povera di plagioclasio; un gabbro ricco di orneblenda basaltica e contenente anche, fra i minerali essenziali, iperstene, augite e labradorite (²). Queste rocce sono in alternanza fra loro e si osservano spesso filoni di pirossenite e di gabbro nella peridotite. La mineralizzazione interessa specialmente la peridotite pirossenica. La zona sfruttata è in corrispondenza della casa chiamata "Alpe Laghetto"; si tratta di alcune gallerie orizzontali che seguono, a diversi livelli, la mineralizzazione, molto evidente all'esterno per l'abbondante brucione. Solo la più bassa entra nei gabbri, per raggiungere più avanti le peridotiti, nelle quali penetrano direttamente le altre quattro. Ora tutto è abbandonato e gli impianti distrutti, mentre molto minerale è ancora accumulato sui piazzali. Si tratta di rocce fortemente impregnate di minerale metallifero e di noccioli più o meno grandi di pirrotina quasi pura.

(¹) Tutti i giacimenti presi in esame sono compresi nel foglio 30 (Varallo) della Carta Geologica d'Italia al 100.000.

(²) Mi riservo di dare in altra sede notizie più particolareggiate su questo complesso eruttivo.

Huttenlocher segnala, per questo giacimento, la presenza di pirrotina, pentlandite, calcopirite, vallerite e bravoite. Priehäuser (11) riporta i seguenti dati analitici:

Sost. lit. 50 %, Ni 1,20 %, Co 1 %, S 28 %, Cu 0,50 %, Fe 20 %

Novarese (15) cita le seguenti determinazioni di Bardoureau e V. Cauda per quattro campioni

	1	2	3	4
Ni	3,01	3,98	2,75	3,69
Co	tr.	1,87	1,39	0,97
Cu	1,75	2,15	4,18	5,34

Ho esaminato al microscopio sia campioni di concentrazione pirrotinica, sia mineralizzazioni nella peridotite e nel gabbro.

Nei primi si scorge una massa fondamentale di *pirrotina* in cristalli per lo più grandi, scarsamente geminati, nella quale sono immerse isole tondeggianti di silicati. Numerosi sono i cristalli di *bravoite*, con nette tracce di piani di sfaldatura spesso racchiudenti lembi inalterati di *pentlandite*. La trasformazione avviene in corrispondenza di esili fratture ramificate e procede concentricamente verso l'interno (fig. 1). Associata a pirrotina e bravoite-pentlandite vi è *calcopirite* in numerosi cristalli irregolari, generalmente di piccole dimensioni. La pirrotina è inoltre interessata da una fitta rete di esili fratture, lungo le quali ha luogo una graduale trasformazione in pirite. Il minerale che si forma in un primo tempo e che si spinge spesso lungo i piani di sfaldatura della pirrotina è stato classificato come *marcasite*, perchè della marcasite ha, in generale, il colore, il tipo di anisotropia, il pleocroismo, mentre la durezza, pur essendo superiore a quella della pirrotina, non raggiunge quella della marcasite. Schneiderhöhn (20) e Ramdohr (21), mantengono questa denominazione, pur facendo notare la non perfetta identità con la marcasite, mentre Vighi parla di intima associazione molecolare di pirrotina e pirite (22). Non mancano nei campioni di Alpe Laghetto le note strutture a occhio d'uccello di pirite-marcasite.

Molto spesso nell'interno delle isole di silicati, ma anche inglobati nella pirrotina, compaiono cristalli di *ilmenite*, talvolta idiomorfi. Attraversano i campioni anche numerose vene di *limonite*.

Negli esemplari dove la peridotite predomina sul minerale opaco, quest'ultimo, ad eccezione dell'ilmenite, e di qualche cristallo di pirite, riempie gli spazi vuoti della roccia e s'insinua in essa anche in vene. La pirrotina presenta quelle lamelle chiare, che sono state oggetto di differenti, controverse e non sempre probanti interpretazioni. Esse si scorgono, senza attacco, solamente a nicol incrociati; hanno aspetto fusiforme, allungato, pressochè rettilineo e sono sempre parallele a (0001). Questa struttura, come ho accennato, è stata diversamente interpretata dagli autori che se ne sono occupati. Schneiderhöhn (20) pensa a una trasformazione a circa 136° e Ramdohr (21) precisa che si trasformerebbe solo la pirrotina con formula FeS. Van der Veen (23) e Scholtz (24) interpretano le lamelle come corpi di separazione (smescolamento) e quest'ultimo distingue le due parti scura e chiara, con α e β . Recentemente Kiskyras (25), per mezzo di misure di suscettività magnetica, avrebbe rilevato nei campioni in cui compaiono le lamelle chiare, la presenza di due tipi di pirrotina, diversamente magnetici, rimettendo perciò in discussione la vecchia ipotesi delle due modificazioni: esagonale e rombica.

Sono inoltre qui presenti cristalli inalterati e idiomorfi di pentlandite e poche fiamme della cosiddetta marcasite; per il resto la paragenesi è la stessa osservata negli altri campioni.

Gli esemplari gabbriici sono debolmente mineralizzati; oltre all'ilmenite, di evidente origine primaria, abbiamo qui unicamente cristalli assai frastagliati di pirrotina, allineati forse in corrispondenza di sottilissime fratture, e pochi granuli di pirite.

È chiara in questo giacimento l'età più antica dei silicati e dell'ilmenite, che hanno subito evidenti corrosioni da parte dei solfuri. Coeva alla pirrotina è la poca calcopirite e la pentlandite. Del tutto secondaria la marcasite, la bravoite e, in buona parte, la pirite. Sensibili, ma non troppo intense, le azioni dinamiche.

Ho misurato al tavolino integratore le percentuali di roccia e minerale sia nei campioni più ricchi che in quelli più comuni. Ho anche determinato le percentuali dei singoli minerali metalliferi.

Campioni ricchi: roccia 3,7 % minerale 96,3 %

Campioni a normale concentrazione: roccia 85,8 % minerale 14,2 %

Pirrotina 74,6, Pentlandite 1,3, Bravoite 5,9, Marcasite 17,8, Calcopirite 0,4.

Cravagliana.

Questo piccolo affioramento si trova poche centinaia di metri a E del paese di Cravagliana sulla sinistra del torrente Mastalone, alcune decine di metri più alto del corso d'acqua. È completamente immerso nella massa gabbrica, che in sezione sottile risulta formata da iperstone, augite, orneblenda e labradorite, passante localmente a forme melanocrate.

Si manifesta con una fascia verticale mineralizzata di circa un metro di potenza, che si suddivide a sua volta in filoncelli di pochi centimetri. Forse riaffiora anche sull'altra sponda del torrente. È stato oggetto di un modesto assaggio, eseguito, a detta degli abitanti del luogo, circa un centinaio di anni fa, del quale resta una breve piccola galleria.

I campioni esaminati contengono sempre notevoli quantità di roccia. In alcuni di essi il minerale opaco è separato dai silicati da una stretta zona brecciata, nella quale roccia e minerale sono intimamente frammisti, e in cui, specialmente per mezzo di osservazione con microscopio ultraopaco, si notano forti corrosioni e alterazioni fra i silicati. In alcuni altri il minerale opaco forma la sostanza cementante dei granuli rocciosi.

Predomina la *pirrotina*, la quale, in vaste zone, presenta una ricristallizzazione rivelata dalla struttura a mosaico. Dove esiste questa struttura, numerose vene di *marcasite* contornano i granuli determinando una fitta rete; dove la *pirrotina* è in grandi cristalli esse seguono i piani di sfaldatura, mettendo ancor meglio in evidenza le notevoli azioni dinamiche a cui è stato sottoposto il minerale. In alcuni punti la *marcasite* sostituisce completamente la *pirrotina* e non mancano aggregati di *pirite*.

Molto scarsa la *pentlandite* in piccole fiamme, molto simili a quelle raffigurate da Schneiderhöhn e Ramdohr, o in corpi lenticolari presenti in non tutte le sezioni. La *calcopirite* a volte si associa alla *pirrotina* con cristalli sparsi, ma più spesso costituisce vene. Molto probabilmente si tratta di due diverse generazioni. Relativamente abbondante l'*ilmenite* in cristalli anche grandi, anteriori geneticamente alla *pirrotina*, spesso geminati secondo una o due leggi e con lamine di geminazione contorte e fagliate. Associata e coeva all'*ilmenite* vi è anche *magnetite*. Non mancano poi le vene di limonite.

Anche questa mineralizzazione è secondaria rispetto ai silicati e all'ilmenite. La calcopirite poi è quasi tutta di generazione posteriore alla pirrotina. Inoltre, molto più dell'affioramento precedente, questo è disturbato da azioni tettoniche.

Le misure col tavolino integratore hanno dato:

Roccia: 70,2 % in volume, minerale: 29,8 %
Pirrotina 75,7 Marcasite 20,6 Calcopirite 2,8 Ilmenite 0,9

Balmuccia.

Questo affioramento è nella Val Grande, circa un chilometro a est di Balmuccia, poco lontano dalla strada Varallo-Alagna. Esso si trova in prossimità del contatto tra una peridotite lehrzolitica (26) e una pirossenite e interessa principalmente quest'ultima che, anche in questo caso, è fortemente melanocrata, e al microscopio poco si discosta dal tipo già osservato ad Alpe Laghetto. È presente pure un gabbro a iperstene, augite e labradorite, che determina con la pirossenite strutture zonate. Qui pure hanno lavorato durante l'ultima guerra, ma ora tutto è abbandonato e buona parte delle gallerie sono state chiuse.

Il minerale si trova per lo più frammisto alla roccia e solo raramente forma noduli e masse compatte. Al microscopio ultrapaco si nota una serie di granuli rocciosi arrotondati e fortemente alterati, specialmente nella zona periferica, da azioni autometamorfiche, che hanno provocato la formazione di una corona cloritico-anfibolica e la produzione di una serie concentrica di minerali opachi, specialmente magnetite.

Con la normale luce riflessa si scorge una *pirrotina* molto geminata che presenta in tutti i campioni, molto nette e marcate, le lamelle chiare. Esse si scorgono a volte anche col solo polarizzatore, senza bisogno di attacco ed hanno andamento spesso ondulato (fig. 2). Nella massima parte dei casi nei singoli cristalli predomina la parte scura, ma in alcuni può avere il sopravvento anche la parte chiara. La *pirrotina* è anche qui qualche volta attraversata, spesso secondo i piani di sfaldatura, dalla cosiddetta *marcasite* e, in alcuni campioni, unitamente alla calcopirite, s'insinua in vene nei silicati.

Abbondante la *pentlandite*, a volte idiomorfa, spesso attraversata da vene di *bravoite*, che possono sostituire anche tutto il cristallo. La *calcopirite*, oltre che in vene, compare anche in cristalli

associati alla pirrotina, ma è generalmente scarsa. A questi minerali si unisce spesso la *magnetite* in masserelle tondeggianti e, talvolta, l'*ilmenite*. Comune anche qui la *limonite* in vene. Sensibili le azioni dinamiche.

I rapporti tra silicati e solfuri sono come nei giacimenti precedenti. Esistono però qui intense azioni autometamorfiche che hanno determinato la formazione di numerosa magnetite secondaria, da non confondere con l'altra magnetite in granuli, più antica invece della pirrotina e della pentlandite.

Risultati delle misure col tavolino integratore:

Roccia: 59,1 % in volume; Minerali opachi 40,9 %

Pirrotina 83,1 Pentlandite 6,4 Calcopirite 0,8 Magnetite 9,7

Valmaggia.

Anche questo affioramento è nella Val Grande, sulla sponda sinistra della Sesia, tra le rocce basiche che si ergono alle spalle del paese di Valmaggia. Non vi sono sostanziali differenze di giacitura tra questo e gli altri affioramenti già considerati; dai gabbri ad iperstene con plagioclasio si passa a pirosseniti senza o con poco plagioclasio e con pleonasto, che al microscopio sono risultate identiche a quelle di Balmuccia.

La mineralizzazione, che è scarsa e diffusa nel primo tipo di roccia, aumenta e si concentra man mano che si passa nel secondo. Questo giacimento era sfruttato in due livelli differenti; ora è abbandonato e le gallerie sono fortemente danneggiate.

Ho esaminato al microscopio campioni delle parti a maggior concentrazione di minerale metallifero, che tuttavia racchiudono sempre notevoli quantità di roccia, sia campioni di roccia, con plagioclasio e senza plagioclasio, impregnata di minerale opaco. I primi sono costituiti da isole sfrangiate di roccia immerse nel minerale (fig. 3). Al microscopio ultraopaco si vede che le parti litoidi sono costituite da un nucleo poco alterato, con qualche cristallo di minerale opaco (*magnetite*) e da un'aureola assai alterata e trasformata.

Siamo qui in presenza di condizioni molto simili a quelle già osservate a Balmuccia ed anche la paragenesi è uguale. Il minerale principale è la *pirrotina* irregolarmente cristallizzata; spesso nello stesso campione vi sono zone fortemente geminate, che si alternano con zone senza geminazione. Non ha lamelle chiare ed è pochissimo

attaccata dall'alterazione marcasitica. Abbondante è anche la *pentlandite* irregolarmente sparsa nella pirrotina e presentante, solo eccezionalmente, strutture orientate, già segnalate da Ehreberg (13) per il vicino giacimento di Migliandone e interpretate come prodotto di separazione tra i due minerali. Assai limitata l'alterazione in *bravoite*. Poca la *calcopirite* associata ai citati minerali e a volte in vene nei silicati. Abbondante la *magnetite*, legata alla roccia, e di formazione più antica dei solfuri, tranne quando compare in vene come prodotto di autometamorfismo. Rara la *pirite*, anch'essa da attribuire ai primitivi minerali opachi della roccia. La mancanza di limonite denota l'assenza di alterazione subaerea di questi esemplari.

I campioni di roccia quasi priva di plagioclasio, impregnati di sostanza minerale, sono quelli della parte più interna del giacimento. Essi presentano isole di minerale opaco molto frastagliate e costituite da pirrotina, calcopirite, pentlandite, magnetite, spesso frammiste. La magnetite e, a volte, anche la pirrotina, si trovano anche in vene, che attraversano numerose tutta la roccia.

Questi campioni in sezione sottile mostrano un forte autometamorfismo dei silicati con conseguente produzione di minerali opachi.

I gabbri con plagioclasio, attraversati dal primo tratto della galleria inferiore, contengono anch'essi cristalli irregolari per grandezza e forma di pirrotina, pentlandite e calcopirite. Dove la roccia è più alterata e fratturata i tre minerali sopra indicati s'insinuano in vene, intersecandosi in varie direzioni e costituendo, a volte, un intreccio regolare.

Le percentuali in volume determinate col tavolino integratore nei campioni più ricchi sono le seguenti:

Roccia 49,2 %, Minerali opachi 50,8 %
Pirrotina 81,4 % Pentlandite 10,2 Calcopirite 0,7 Magnetite 7,7.

Meula.

Il paese di Meula si trova in un vallone laterale sulla destra del torrente Mastallone; l'affioramento è situato a monte del gruppo di case in località detta Cascinaccia. Il minerale si presenta anche in noccioli abbastanza concentrati, ma, nella maggior parte dei casi, è sparso in una massa rocciosa verde cupo, del tutto simile a quella già trovata in molti altri giacimenti. Sono ancora visibili e

transitabili 2 gallerie orizzontali lunghe 6-7 metri, fra loro perpendicolari e a livelli di poco differenti, che entrano nel gabbro arrossato da un evidente brucione. Si tratta di assaggi eseguiti un centinaio di anni fa e mai più proseguiti. L'affioramento è assai vicino al contatto occidentale della formazione gabbbrica con quella metamorfica, contraddistinta da vari autori col nome di Scisti di Fobello e Rimella, in una zona dove si sono verificati forti disturbi tettonici.

I campioni esaminati formano una serie di passaggi da una struttura costituita da poche isole di silicati cementate da molto minerale opaco, a un'altra nella quale la roccia predomina di gran lunga e scarso è il cemento mineralizzato.

La caratteristica di tutti i campioni è quella di un'avanzatissima trasformazione della *pirrotina* nel minerale di tipo *marcasite*. La trasformazione avviene lungo i piani di sfaldatura della *pirrotina* e genera una struttura a cancellata, con sbarre più o meno grosse, a seconda del grado di alterazione. Queste sbarre sono spesso assai incurvate e contorte, dimostrando così di essere state soggette a notevoli azioni dinamiche (fig. 4). Quando è inalterata la *pirrotina* mostra la presenza di lamelle chiare, però assai meno evidenti e numerose di quelle segnalate per Balmuccia. Non mancano in alcuni campioni le strutture a occhio d'uccello formate da *pirite-marcasite*. In altri però la trasformazione è totale senza che compaia *pirite*. In tali parti non zonate e senza strutture di transizione, le proprietà fisiche del minerale, durezza compresa, coincidono assai bene con quelle della *marcasite* microgranulare, così che è lecito pensare che il minerale pseudomorfo da *pirrotina*, nei campioni esaminati, sia realmente *marcasite*. La trasformazione in *pirite* avverrebbe qui eventualmente in un secondo tempo.

E' frequente la *bravoite* in cristalli per lo più piccoli e ben sfaldati, rara invece la *pentlandite*. Anche la *calcopirite* è generalmente scarsa e, con tutta probabilità, di venuta posteriore alla *pirrotina*. Eccezionalmente numerose le vene di *limonite*, che spesso ha invaso anche gli spazi tra i piani di sfaldatura degli anfibioli determinando una caratteristica struttura a grata. In corrispondenza della roccia, o idiomorfa nel minerale opaco, vi è *ilmenite*. In una sezione compaiono anche, piuttosto rare, addossate a *pirite* e *marcasite*, alcune laminette di *grafite*.

La differenza tra questo giacimento e i precedenti è data so-

prattutto dalla forte alterazione chimica. Anche le azioni dinamiche hanno contribuito a modificare il primitivo aspetto, ma nelle parti meno alterate si può vedere che non vi sono sostanziali differenze dagli altri per quel che riguarda paragenesi e azioni mineralizzatrici.

Col tavolino integratore ho misurato le seguenti quantità in volume di minerali opachi e roccia

Roccia 39,2 %, Minerali opachi 60,8 %

I minerali opachi sono così suddivisi :

Pirrotina 35,5 Marcasite 62,7 Bravoite 1,1 Calcopirite 0,6
Ilmenite 0,1.

Gula.

La strada che da Cravagliana porta a Rimella, poco dopo il bivio per Fobello entra in una stretta e profonda gola scavata dal Landwasser, affluente di sinistra del Mastallone. Specialmente sulla parete occidentale di questa forra, chiamata localmente Gula, si aprono numerosi ingressi di gallerie a diversi livelli, fra loro collegati internamente da pozzi e fornelli verticali, che attraversano e seguono la fascia mineralizzata, che, anche qui, come nei giacimenti precedentemente considerati, ha un andamento quasi nord-sud, ossia parallelo all'allungamento della formazione basica.

Questa miniera che, per iniziativa locale, aveva durante l'ultima guerra, uno sviluppo notevole, è ora abbandonata e i moderni impianti di cui era dotata, sono andati completamente distrutti. Molto minerale è ancora ammonticchiato nei piazzali.

Siamo qui vicinissimi al contatto occidentale della formazione eruttiva basica con gli scisti (Scisti di Fobello e Rimella) e il modo di presentarsi delle rocce interessanti l'affioramento non è così semplice come negli altri giacimenti. Oltre a pirosseniti e orneblenditi di tipo noritico e a gabbri, a volte assai ricchi di plagioclasio, compaiono anche scisti in contatto anomalo e quarziti. Molto spesso le rocce basiche contengono granato e grafite.

Il minerale pirrotinico è anche qui, nella massima parte, concentrato nelle rocce melanocrate intrusive, ma si sposta anche ai contatti con quelle metamorfosate.

Huttenlocher (14) descrive alcune rocce della zona e dà la seguente composizione mineralogica di un'anortosite contenente minerali opachi:

Plagioclasio (70 % An)	50 %
Granato	30 "
Pirrotina	} 15 "
Calcopirite	
Ilmenite	
Grafite	
Enstatite + poco spinello	5 "

I minerali opachi sarebbero costituiti per 1/3 da grafite.

Tra i minerali metalliferi segnala: pirrotina, pentlandite, calcopirite, ilmenite, rutilo.

Ho preso in esame sia noduli di minerale concentrato, sia campioni di roccia basica impregnati di solfuri. Tra i primi occorre eseguire una suddivisione tra quelli privi di grafite e quelli che ne contengono. I campioni senza grafite sono essenzialmente costituiti da *pirrotina* con deboli lamelle chiare. Essa è fittamente geminata e in parte ricristallizzata. Sensibile l'alterazione in marcasite. Inglobati nella pirrotina, sotto forma di isole molto tondeggianti, vi sono i soliti silicati. La *pentlandite* è abbondante, sia in cristalli abbastanza grandi che in frammenti irregolari forse derivati dalla frantumazione di individui maggiori. Appena accennata la trasformazione in *bravoite*. Poca la *calcopirite*. Secondaria la *limonite*.

I campioni ricchi di grafite sono anch'essi in buona parte costituiti da *pirrotina*, ma qui il solfuro di ferro non presenta nè geminazione, nè lamelle chiare, ma cristalli assai grandi, raramente alterati in marcasite. La pirrotina è secondaria rispetto alla *grafite*; infatti le lamine, spesso contorte, di quest'ultimo minerale sono frequentemente immerse nel solfuro di ferro, che s'insinua anche lungo i piani di sfaldatura della grafite stessa (fig. 5). Scarsa è la calcopirite e manca la pentlandite. E' viceversa molto abbondante l'*ilmenite*, alla quale si associa spesso l'*ematite*. Anche questi campioni sono attraversati da vene di limonite e abbondano in essi i granati, che inglobano a volte lunghi aghi di *rutilo*.

I campioni di roccia impregnata di minerale opaco mostrano numerose lamine di grafite e pirrotina, sia in isole abbastanza grandi che sotto forma di fitta granulazione. Numerosi sono anche i cristalli nei quali ilmenite ed ematite danno luogo a prodotti di separazione, tra essi è possibile scorgere, a forte ingrandimento, anche minute vermiculazioni di calcopirite e di pirrotina.

Il diverso modo di presentarsi della pirrotina, specialmente in relazione ai silicati di origine metamorfica, lascia pensare che la mineralizzazione sia iniziata prima o durante le azioni metamorfiche e terminata a metamorfismo avvenuto. Non sarebbero quindi estranee alla formazione del giacimento della Gula azioni post-magmatiche, verosimilmente di tipo pneumatolitico fino ad idrotermale.

Le rocce anfiboliche e pirosseniche, poste alla base del giacimento e non interessate dalla mineralizzazione a solfuri, presentano invece solo cristalli di ilmenite, spesso a struttura mirmechitica.

Ecco i dati volumetrici ottenuti con le misure del tavolino integratore:

Campioni senza grafite: roccia 25,5 %, minerali opachi 74,5 %
Pirrotina: 85,5, Marcasite 12,2, Pentlandite 1,9, Calcopirite 0,2,
Ilmenite 0,2.
Campioni con grafite: roccia 36,7, grafite 43,2, pirrotina 18,7,
ilmenite 1,4.

Fei di Doccio.

Questo giacimento, a differenza dei precedenti, è in corrispondenza di una lente eruttiva basica tra gli scisti della formazione indicata da Artini e Melzi (2) col nome di Gneiss Strona occidentale e chiamata da Franchi (3) e Novarese (4) formazione Kinzigitica. La massa gabbro-noritica principale dista infatti da questo affioramento oltre due chilometri in linea d'aria.

La vecchia miniera è situata a monte del gruppo di case di Fei frazione di Doccio, nella valle della Sesia. Le gallerie, dello sviluppo di circa 300 m., si aprivano negli scisti biotitici, granatiferi o nel morenico, attraversavano un banco di calcefiri, quasi sterile e raggiungevano una roccia gabbrica, povera di elementi sialici, del tipo già incontrato in molti altri giacimenti. Il minerale si trova appunto in questa roccia e in vene quarzoso calcitiche che l'attraversano.

Secondo i dati riportati da Novarese (15) si avrebbe qui una percentuale di 1,49 di Ni e di 1,18 di Cu.

Al microscopio si nota una *pirrotina* senza lamelle chiare, spesso assai frantumata ed isorientata; non è alterata in marcasite. Inglobati nella pirrotina vi sono i lembi sfrangiati e corrosi di roccia, tra mezzo i quali s'insinua abbondantemente il minerale

opaco. Abbondante la *pentlandite*, sia in grandi cristalli irregolari, qualche volta attraversati da vene di *bravoite*, che in granuli sparsi nella massa pirrotinica. La quantità di *calcopirite* è variabile da campione a campione; in alcuni si limita a vene, che attraversano la parte rocciosa, in altri si associa, in cristalli abbastanza grandi, alla pirrotina.

Sono presenti anche granuli di *pirite*, non secondaria da pirrotina, e, nei campioni dove abbonda la parte rocciosa, numerosi sono i cristalli di *ilmenite*. Come al solito qualche vena di *limonite* attraversa i minerali opachi.

Vi sono anche campioni costituiti da un vero e proprio impasto di minerale metallifero e roccia, dovuto, con tutta probabilità, ad azioni dinamiche. Qui la pirrotina è attraversata da vene di *marcasite*, che mettono in evidenza, lungo i piani di sfaldatura, le forti contorsioni che ha subito il minerale. Associata alla pirrotina vi è calcopirite, spesso in vene, e poca pentlandite, molto fratturata.

Pur apparendo, nella maggior parte dei campioni, per quel che riguarda paragenesi, giacitura e andamento, non dissimile ai giacimenti prima descritti, questo di Fei di Doccio presenta qualche particolare diverso, tra cui la pirite non derivata da alterazione della pirrotina e alcuni filoncelli a ganga quarzosa e calcitica.

Le misure al tavolino integratore hanno dato:

Campioni ricchi: Roccia 8,7 %, Minerali opachi 91,3 %

Pirrotina 95,0, Pentlandite 3,7 Pirite 1,1 Calcopirite 0,2

Campioni a media concentrazione: roccia 71,3, minerali opachi 28,7.

Val di Mengo.

Sempre in piena formazione metamorfica è anche il giacimento di Val di Mengo. Vi si accede da Cervarolo con un sentiero che sale lungo il ramo settentrionale del torrente Bagnola, affluente di sinistra del Mastallone. All'altezza del gruppo di capanne, che porta appunto il nome di Val di Mengo, si ergono dalla massa degli scisti alcune rupi costituite da roccia eruttiva basica. Si tratta di un gabbro che in sezione sottile risulta ricco di orneblenda verde, labradorite e ilmenite primaria; è assai ben conservato, anche se presenta una struttura marcatamente orientata. E' appunto in questo gabbro che si trova la mineralizzazione, la quale si presenta spesso in sferoidi di notevoli dimensioni.

Questo è uno degli affioramenti che più frequentemente troviamo citati nei precedenti studi. Ne parla Priehäusser (11), il quale classifica la roccia madre come gabbro ad orneblenda, passante a diallagico nei pressi del minerale. Egli nota anche la presenza di quarzo secondario e di granato, intorno al quale è spesso localizzato il minerale. Huttenlocher (14) cita una pegmatite feldspatico-apatitica con plagioclasio al 28 % di An, interessata dalla mineralizzazione, e, come minerali opachi, segnala: pirrotina, calcopirite, blenda, vallerite, cubanite. Moretti (19) indica come gneiss anfibolico la lente di roccia basica, riporta molti dati di Huttenlocher e parla di una percentuale di rame inferiore all'1,5 %.

Al microscopio in sezione lucida ho potuto osservare una *pirrotina* minutamente geminata, con lamelle fusiformi e contorte, assolutamente priva di corpi chiari. Numerosi i silicati inclusi, a forma sempre tondeggianti e, a volte, attraversati da vene mineralizzate: piuttosto rari gli inclusi di *grafite*. La pirrotina è attraversata da una rete di vene microscopiche e frastagliate di marcasite e da qualche vena più grande di pirite, che presenta agli orli la classica struttura zonata, intercalata con un minerale a basso potere riflettente, isotropo, tenero, di natura limonitica. Manca ogni traccia di pentlandite o bravoite; è invece abbondante, molto più che negli altri giacimenti sopra considerati, la *calcopirite*. Associata alla calcopirite vi è anche parecchia *blenda*. E' possibile, a volte, osservare strutture di separazione dei due minerali. La posizione di calcopirite e blenda lungo fratture o a ridosso delle isole di roccia indicano che esse sono di generazione posteriore alla pirrotina (fig. 6). Frequenti le vene di *limonite*.

In questo giacimento notiamo sensibili differenze di paragenesi rispetto a tutti gli altri. I solfuri sono sempre posteriori ai silicati, che anche qui sono corrosi e arrotondati, ma la mancanza di pentlandite e la presenza di blenda denotano azioni mineralizzatrici non identiche a quelle che hanno operato nella generalità degli affioramenti.

Col tavolino integratore ho determinato una percentuale in volume di silicati dell'11,8 %. I minerali opachi (88,2 %) sono così suddivisi:

Pirrotina 83,4 Calcopirite 4,2 Blenda 2,9 Marcasite 9,1.

CONCLUSIONI

Negli otto giacimenti studiati la distribuzione dei minerali opachi risulta dalla seguente tabella:

TABELLA 1.

	Alpe Laghetto	Cravagliana	Balmuccia	Valmaggia	Meula	Gula	Fei di Doccio	Val di Mengo
Pirrotina	4	4	4	4	4	4	4	4
Pentlandite	2	1	3	3	1	2	2	-
Bravoite	3	-	2	1	2	1	1	-
Calcopirite	1	2	1	1	1	1	1	2
Blenda	-	-	-	-	-	-	-	2
Marcasite	3	4	1	1	4	3	1	3
Pirite	1	1	-	1	1	-	2	1
Magnetite	-	1	3	3	-	-	-	-
Ilmenite	1	2	1	1	1	2	1	1
Ematite	-	-	-	-	-	1	-	-
Grafite	-	-	-	-	1	4	-	1
Limonite	1	2	1	-	2	1	1	1

4 = sup 20 %, 3 = 5-20 %, 2 = 1-5 %, 1 = inf. 1 %.

In essa si notano bene le già segnalate differenze di Val di Mengo rispetto agli altri giacimenti: presenza di blenda, assoluta mancanza di pentlandite e bravoite e notevole quantità di calcopirite. Questa paragenesi non sembra però specifica, come affermano Huttenlocher (14) e Moretti (18) degli affioramenti collegati con lenti basiche negli scisti, dato che a Fei di Doccio, che presenta condizioni di giacitura analoghe a quelle di Val di Mengo, esiste, e anche notevolmente abbondante, la pentlandite e manca del tutto la blenda.

Anche l'ordine di cristallizzazione di Val di Mengo si scosta

dagli altri. Possiamo infatti così riassumere le varie venute e trasformazioni:

1. silicati, grafite
2. pirrotina
3. calcopirite, blenda
4. marcasite, pirite, limonite.

Invece l'ordine di cristallizzazione dei giacimenti di Alpe Laghetto, Cravagliana, Meula, Balmuccia, Valmaggia, Doccio, si può comprendere in un solo schema:

1. silicati, ilmenite 1^a, magnetite 1^a, (pirite)
2. pentlandite, pirrotina 1^a, calcopirite 1^a
3. pirrotina 2^a, calcopirite 2^a
4. magnetite 2^a, ilmenite 2^a, bravoite, marcasite, pirite, limonite.

Esiste qualche differenza tra i sei affioramenti sopra elencati, ma, il più delle volte, è dovuta o ad alterazione (Meula) o a ricristallizzazioni per azioni dinamiche (Cravagliana).

Il giacimento della Gula potrebbe comparire, almeno in parte, unitamente a quelli che presentano l'ordine di cristallizzazione più comune, ma esistono anche zone dello stesso giacimento con diversa paragenesi e giacitura. La pirrotina in alcuni campioni è assai geminata e ricca di lamelle chiare, in altri è in grandi cristalli non geminati, privi di disturbi tettonici e senza lamelle chiare. Nei secondi campioni manca inoltre la pentlandite. Interessante è anche il fatto che la seconda pirrotina, per nulla sollecitata, inglobi lamine assai contorte di grafite e granati molto fratturati, ciò che fa ritenere trattarsi di una pirrotina di genesi posteriore all'altra, che è dinamicamente assai disturbata.

Ammettendo due diverse generazioni di pirrotina, così risulterebbe lo schema dell'ordine di cristallizzazione:

1. silicati 1, ilmenite
2. Silicati 2, grafite, pirrotina 1, pentlandite, calcopirite 1
3. Pirrotina 2, calcopirite 2.
4. Ematite, bravoite, marcasite, limonite.

Non è detto però che questi tre gruppi rappresentino genesi nettamente diverse. Depongono per una comune origine:

1) - La generale prerogativa di localizzarsi in quelle rocce della formazione gabbro-noritica, siano esse della parte massiccia o lembi più o meno isolati, che rappresentano una differenziazione basica dei pur già notevolmente basici gabbri.

2) - La quasi identica orientazione delle lenti mineralizzate.

3) - La mancanza o per lo meno la trascurabile azione di metamorfismo provocata dal minerale opaco nelle rocce al contatto.

4) - La costante più giovane generazione dei solfuri rispetto ai minerali delle rocce incassanti da essi inglobati e corrosi, e le strutture riferibili, salvo particolari variazioni, a uno schema unico.

Sta di fatto però che nella formazione dei giacimenti della Valsesia non vi è stata una sola e ben individuabile azione. Al primitivo apporto magmatico, del resto assai tardivo, sono subentrate azioni pneumatolitiche e soprattutto idrotermali, come dimostrano il diverso modo di presentarsi dei solfuri, a volte anche in uno stesso campione, e la presenza, sia pur eccezionale, di ganghe quarzoso calcitiche (*). Così che risulta difficile stabilire quando ha avuto termine l'azione magmatica e quando si è iniziata quella pneumatolitico-idrotermale.

È possibile quindi che nei singoli giacimenti abbiano contribuito alla mineralizzazione con maggiore intensità o l'uno o l'altro agente, provocando quelle non grandi differenze che permettono di scindere Val di Mengo (forte apporto idrotermale), dalla Gula (azioni pneumatolitiche) e dal gruppo degli altri giacimenti nei quali la primitiva cristallizzazione magmatica predomina su quelle successive.

Lavoro eseguito nell'Istituto di Mineralogia dell'Università di Friburgo i. Br. in seguito a borsa di Studio del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

BIBLIOGRAFIA

- (1) H. GERLACH, *Die penninischen Alpen*. « Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz », XXVII, Bern, 1883.
- (2) E. ARTINI, G. MELZI, *Ricerche petrografiche e geologiche sulla Valsesia*. Milano, 1900.

(*) Tra le rocce metamorfiche della val Sabbiola, presso il crinale con la val Bagnola, ho trovato un filone di calcite interessato da mineralizzazioni di pirrotina.

- (3) S. FRANCHI, *Appunti geologici sulla zona diorito-kinzigitica Ivrea-Verbano e sulle formazioni adiacenti*. « Boll. R. Com. Geol. d'Italia », XXXVI, 1905.
- (4) V. NOVARESE, *La formazione diorito-kinzigitica in Italia*. « Roll. R. Uff. Geol. d'Italia », LVI, 1936.
- (5) A. LOTTI, *L'utilizzazione di minerali cupro-nicheliferi delle Alpi Occidentali*. « L'Ind. Miner. », X, 1936.
- (6) G. PERAZZI, *Sul concentramento della calcopirite nel giacimento di pirrotina nichelifera di Migliandone*. « Mem. R. Acc. Scienze di Torino », XXI, 1865.
- (7) MONTEFIORI, LEVI, *Di una miniera di pirrotina nichelifera di Locarno (Val Sesia)*. « Atti Soc. Ital. di Scienze Nat. », IX, 1866.
- (8) G. JERVIS, *I tesori sotterranei d'Italia*. I, Torino, 1873.
- (9) G. TSCHERMAK, *Eisennickelkies aus dem Sesia-Tale*. « Tscherm. Min. Petr. Mitt. », 1874.
- (10) A. COSSA, *Sulla natura delle rocce che racchiudono depositi di pirrotina nichelifera di Campello Monti*. « Trans. R. Acc. Lincei », [III], 1877.
- (11) M. PRIEHEUSSER, *Die Nickelmagnetkieslagerstätten von Varallo Sesia*. « Zeit. f. pr. Geol. », XVIII, 1909.
- (12) B. LOTTI, *I depositi dei minerali metalliferi*. Roma, 1928.
- (13) H. EHRENBURG, *Orientierte Verwachsungen von Magnetkies und Pentlandit*. « Zeit. f. Kryst. », LXXXII, 1932.
- (14) H. F. HUTTENLOCHER, *Die Erzlagerstättenzonen der Westalpen*. « Schw. Min. u. Petr. Mitt. », XIV, 1934.
- (15) V. NOVARESE, *Le Miniere di nichelio italiane*. « L'Ind. Miner. », IX, 1935.
- (16) A. STELLA, *Caratteristiche dei giacimenti metalliferi italiani in rocce basiche*. « Rend. R. Acc. Lincei », XXIII, 1936.
- (17) F. LORENZOLA, *Minerali e rocce utili della provincia di Vercelli*. Vercelli, 1936.
- (18) A. MORETTI, *Su alcuni giacimenti cupriferi dell'Ossola, della Valle Strona e della Val Sesia*. « L'Ind. Mineraria », XVI, 1942.
- (19) G. FAGNANI, *Nota petrografica sulle rocce di Nibbio e Migliandone (Val d'Ossola)*. « Boll. Soc. Ticin. di Scienze Nat. », XLII, 1947.
- (20) H. SCHNEIDERHÖHN, P. RAMDOHR, *Lehrbuch der Erzmikroskopie*. Berlin 1931.
- (21) P. RAMDOHR, *Die Erzminerale und ihre Verwachsungen*. Berlin 1950.
- (22) L. VIGHI, *Su un filone a pirrotina e blenda in comune di S. Roberto d'Aspromonte (Calabria) e sulla trasformazione pirrotina-pirite*. « Atti Acc. Pontaniana », N. S., III, 1950.
- (23) R. W. VAN DER VEEN, *Mineragraphy and ore deposition*. I, The Hague 1925.
- (24) D. L. SCHOLTZ, *The magmatic nickeliferous ore deposits of East Griqualand and Pondoland*. « Trans. Geol. Soc. S. Africa ». XXXIX, 1936.
- (25) D. A. KISKYRAS, *Untersuchungen der magnetischen Eigenschaften des Magnetkieses bei verschiedenen Temperaturen in besonderem Hinblick auf seine Entstehung*. « Neues Jahrb. f. Miner. », LXXX, 1950.
- (26) E. ARTINI, G. MELZI, *Sulla tberzolite di Balmuccia in Val Sesia*. « Rend. Acc. Lincei », 1895.

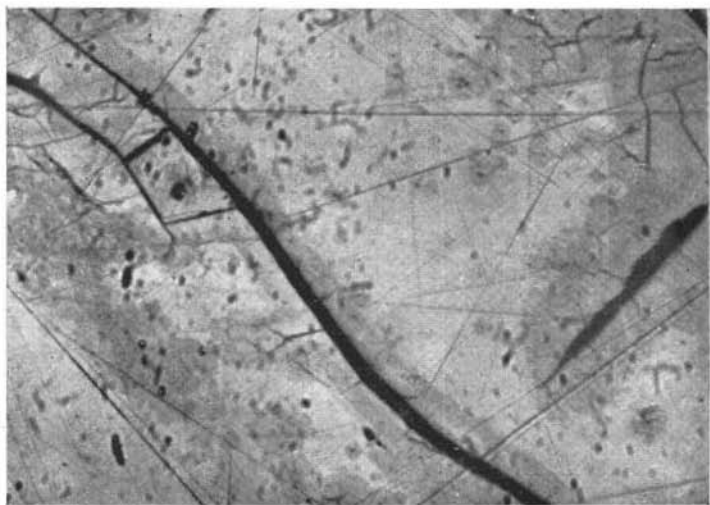


Fig. 1 — Alpe Laghetto. Pentlandite (grigio chiara) in via di trasformazione in bravoite (grigio scura). 250 x

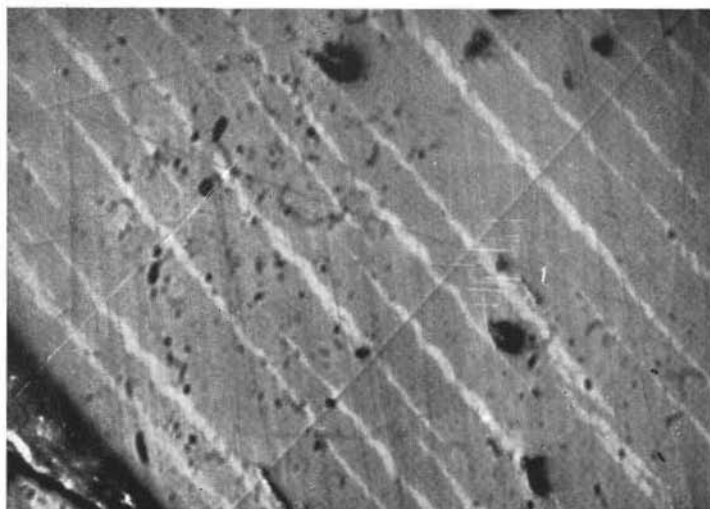


Fig. 2 — Balmuccia. Lamelle chiare nella pirrotina. Nicol +, 250 x



Fig. 3 — Valmaggia. Pentlandite (bianca), pirrotina (grigio chiara), magnetite (grigio scura), tra isole sfrangiate di silicati (quasi nere). 70 x



Fig. 4 — Menla. Marcasite tra le fratture e i piani di sfaldatura della pirrotina. A sinistra in basso un piccolo cristallo di bravoite. 130 x

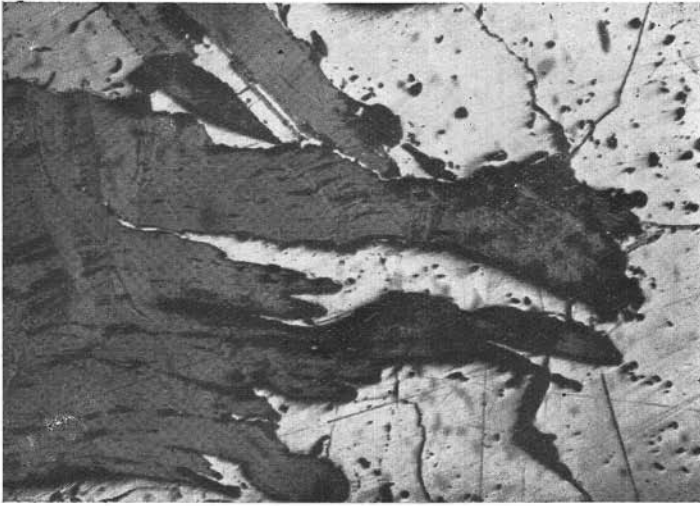


Fig. 5 -- Gula. Grafite (grigio scura) nella pirrotina (grigio chiara). 130 x



Fig. 6 — Val di Mengo. Calcopirite (grigio luminoso), blenda (grigio scuro), pirrotina (grigia con vene di marcasite); quasi neri i silicati. 70 x