

MARIA C. FIORENTINI

LA MICRORADIOGRAFIA ELETTRONICA
COME MEZZO COMPLEMENTARE DI INDAGINE
NELLO STUDIO DEI GIACIMENTI MINERARI (*)

Introduzione

Nel 1948 TRILLAT (1) ha descritto un procedimento per ottenere immagini radiografiche prodotte dai fotoelettroni strappati da un preparato ad opera dei raggi X.

Successivamente CLARK (2), nel 1955, facendo una rassegna delle moderne applicazioni dei raggi X, ha accennato all'esperienza di Trillat. Questa consiste nell'inviare un fascio di raggi X di alta energia sulla superficie di un preparato (monocristallo, lega, ...). Si verifica allora un « effetto fotoelettrico » in cui gli elettroni estratti, investendo l'emulsione di uno schermo fluorescente interposto tra la sorgente e il preparato, vi producono una immagine del grano o cristallo dal quale sono stati strappati.

Da ciò è nata l'idea, a chi scrive, di provare ad applicare una tecnica analoga ai campioni di roccia e segnatamente a quelli provenienti dai giacimenti di minerali metalliferi. Tenendo presente che ogni tipo di roccia è un aggregato di minerali costituiti da elementi di differente peso atomico e, soprattutto, di differente densità elettronica, si è pensato che ogni singolo minerale affiorante alla superficie di una sezione lucida avrebbe dovuto produrre, su di una emulsione sensibile a contatto della sezione, un annerimento di intensità proporzionale, tra l'altro, alla densità volumetrica di elettroni nel composto.

L'immagine dei cristalli o grani, così ottenuta su di una emulsione a grana finissima, deve consentire notevoli ingrandimenti, o fotografici o al microscopio. Clark ha ingrandito le emulsioni di Lippman fino a 150 volte.

(*) Lavoro eseguito sotto gli auspici del C.N.R.

(1) TRILLAT J. « *J. Appl. Physics* », vol. 19, 1948 (Electron Microradiography).

(2) CLARK L. G. « *Applied X-Rays* », pp. 244 e segg., Mc Graw-Hill N. Y., 1955.

Ora è noto che tra i vari minerali che costituiscono i giacimenti metalliferi si ha generalmente un forte divario di peso atomico ed anche di densità di elettroni, tra gli elementi costituenti il *minerale metallifero* e quelli costituenti la *ganga*.

Si può concludere in sede teorica, ed è stato confermato sperimentalmente, che raccogliendo l'immagine fotoelettronica dell'aggregato minerale, si ottiene una differenziazione di annerimento tra la *ganga* e il composto metallifero, tanto più nitida e ben risolta quanto maggiore è lo scarto tra la densità elettronica media molecolare del secondo rispetto alla prima.

Si è pensato di poter dedurre, dalla *microradiografia elettronica* così ottenuta, la percentuale volumetrica del minerale utile nella roccia ospite e quindi, eventualmente, la percentuale in peso, nota la densità.

Questo dato permette di valutare, conoscendo i pesi molecolari, la concentrazione ponderale o distribuzione dell'elemento.

Il modo alquanto semplice con cui si possono ottenere questi dati ed il costo relativamente basso del procedimento, lasciano supporre che lo si possa applicare a numerosi campioni significativi di un giacimento in studio ottenendo dei dati interessanti da aggiungere a quelli ottenuti con i metodi classici.

Considerazioni teoriche

Prima di esporre i dettagli della realizzazione sperimentale ritengo utile una semplice esposizione della teoria.

Per rendersi conto del processo mediante il quale si estraggono elettroni dal materiale in esame, occorre richiamare alcune nozioni sull'assorbimento dei raggi X, cioè dei quanti di alta energia, nella materia.

Un quanto X, che attraversa la materia, perde la sua energia cedendola agli elettroni con i quali interagisce.

Nel campo di energie che interessa il metodo di cui si parla, i quanti X cedono energia agli elettroni quasi solo per effetto fotoelettrico: l'effetto Compton è estremamente improbabile al confronto e non da comunque contributo apprezzabile.

Consideriamo un materiale omogeneo, composto di un solo elemento di numero atomico Z ; in esso, intorno ad ogni nucleo atomico, circolano gli Z elettroni distribuiti sulle orbite K, L, M, ecc.; in pratica si può supporre che tutti gli elettroni si trovino nello stato fondamentale, cioè quello in cui tutti gli elettroni occupano i livelli energetici più bassi, compatibilmente col principio di esclusione di Pauli. Un

quanto X di energia E, che attraversi il materiale in considerazione, può interagire con un elettrone estraendolo dall'atomo cui era legato.

Per fare ciò, il quanto spende l'energia I che dipende dal numero atomico Z dell'elemento considerato e dal livello energetico (orbita) sul quale si trova l'elettrone.

L'energia rimanente $E_c = E - I$ viene ceduta all'elettrone sotto forma di energia cinetica. Questo processo, mediante il quale il quanto muore ionizzando un atomo, si dice « effetto fotoelettrico ». Dopo l'e-

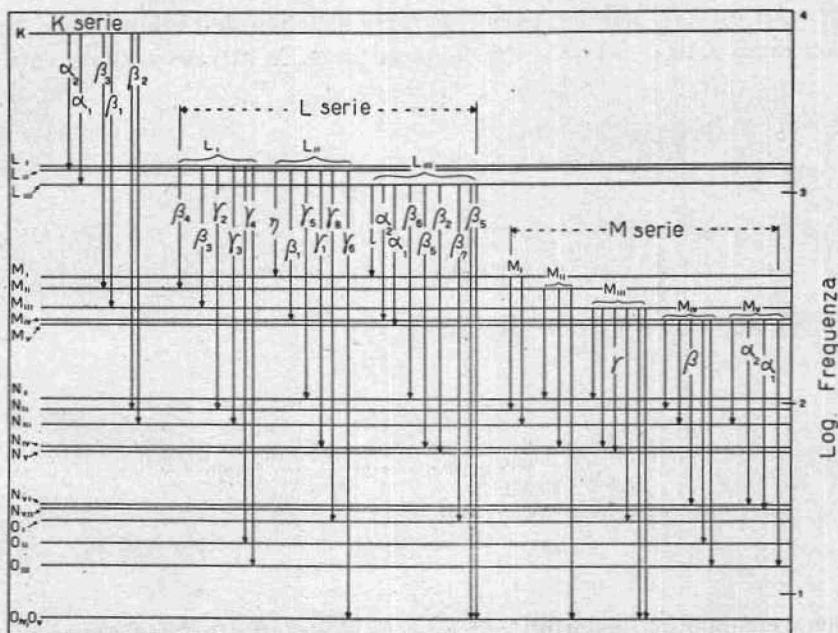


Fig. 1

strazione dell'elettrone un altro elettrone, proveniente per lo più dalle orbite superiori (più esterne), lo sostituisce emettendo un raggio X secondario con una frequenza caratteristica del livello ionizzato (vedi fig. 1).

Se il processo ora descritto avviene in profondità nel minerale in esame, l'elettrone estratto viene frenato dagli atomi circostanti e degrada la propria energia soprattutto in calore, ma se ha luogo ad una distanza dalla superficie di pochi strati atomici, l'elettrone può anche uscire dal campione superando il frenamento opposto dal materiale da

attraversare e da eventuali barriere di potenziale e venire rivelato, ad esempio, con una lastra fotografica.

Finora abbiamo descritto come avviene l'effetto fotoelettrico. Occorre ora sapere quali leggi regolino la probabilità che un certo quanto di frequenza ν , attraversando uno spessore di un elemento con un dato Z , venga assorbito per effetto fotoelettrico.

Innanzitutto è chiaro che se il quanto possiede l'energia $h\nu = E$ (h è la costante di Plank $= 6,61 \cdot 10^{-27}$ erg. sec) esso non potrà estrarre elettroni legati al nucleo con un'energia maggiore di E .

Ad esempio non si possono estrarre elettroni dell'orbita K del Cu con raggi X di $\lambda > 1,38\text{\AA}$. Perciò questi raggi X, attraversando il rame,

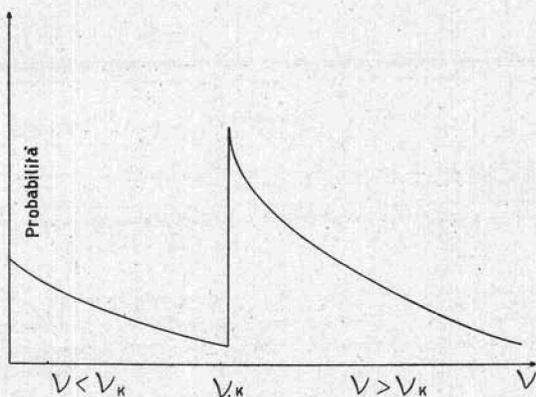


Fig. 2 — Curva del coefficiente di assorbimento.

non verranno mai assorbiti per aver prodotto effetto fotoelettrico nell'orbita K; quindi per una frequenza incidente minore di quella caratteristica dell'elemento dato e di quel dato livello, la probabilità di interazione è nulla.

Se ora aumentiamo la frequenza dei raggi incidenti, non appena essa superi la frequenza caratteristica, la probabilità di interazione passa improvvisamente da zero ad un valore finito. Se aumentiamo ancora la frequenza della radiazione incidente, la probabilità di interazione diminuisce con legge esponenziale, cioè la probabilità di assorbimento per effetto fotoelettrico (e quindi anche il coefficiente di assorbimento per effetto fotoelettrico) è massima per frequenza incidente = frequenza caratteristica, presenta cioè un massimo dissimmetrico (v. fig. 2).

Gli elettroni più legati, di un certo atomo, sono quelli dell'orbita K, quindi la ν K caratteristica di esso, o meglio, una ν poco maggiore, compete a raggi X capaci di estrarre fotoelettroni da qualunque orbita di quell'atomo: K, L, M, ecc. Ma l'energia di legame dell'orbita K è alquanto superiore a quella degli elettroni delle orbite K, L, quindi la ν considerata estrae di preferenza elettroni K.

E' facile ora comprendere che, irradiando superfici piane di una roccia la quale risulta composta di tanti elementi mineralogici giustapposti (a guisa di un mosaico) alcuni dei quali contengono un'alta percentuale di un dato elemento, con raggi X di ν appena superiore alla ν caratteristica di questo elemento, usciranno più fotoelettroni dalla superficie di quel o quei minerali che contengono l'elemento ricercato, invece che dagli altri. Così variando la frequenza dei raggi X incidenti, si possono via via rivelare, da uno stesso campione, i vari elementi in rapporto alle varie frequenze.

Parte sperimentale

Perchè la dimostrazione riesca efficace sono stati scelti fra tanti, in questa prima nota, alcuni campioni che presentano condizioni quasi ideali agli effetti dell'evidenza dell'emissione fotoelettronica.

I campioni scelti sono i seguenti (*):

1) porfiroide rosso, con venature di pechblenda, bordate dalla caratteristica alterazione rossastra (Rio Freddo-Peveragno, Cuneo);

2) Scisto sericitico porfirico verde scuro, con mica gialla (ferro-fengite), mineralizzato a pechblenda;

3) Galena, blenda, pirite su ganga dolomitica proveniente dalla mineralizzazione di Raibl (Cave del Predil, Udine).

Per la descrizione mineralogica microscopica dettagliata di queste rocce rimando ai noti studi di Ippolito-Nicotera (1), di Colbertaldo (2) e Cevalas (3).

(*) Il primo campione è stato cortesemente fornito dal Prof. Ing. Ippolito; il secondo dall'Ing. Marullo della Soc. Montecatini; il terzo è stato raccolto in loco da chi scrive.

(1) « *Contributo alla conoscenza del giacimento del Monte Besimauda* ». Rend. Soc. Min. It., anno IX, pp. 1-9, Pavia, 1953.

(2) « *Il giacimento piombo-zincifero di Raibl in Friuli* », pp. 1-49, ed. Longo e Zoppelli, Roma, 1948.

(3) « *Il giacimento a pechblenda e solfuri di Rio Freddo, Peveragno (Cuneo)* » Boll. Soc. Geol. Italia., vol. 73, Roma, 1954.

In questi campioni si pone ovviamente il problema di rivelare qualitativamente due elementi a peso atomico (e quindi anche a Z) molto elevato: Pb e U. Le condizioni in questi campioni sono particolarmente favorevoli, perchè la pechblenda e la galena sono contenute in una ganga la cui associazione mineralogica essenziale annovera silicati o carbonati di Al, K, Ca, Na, Fe, Mg, Zn. Il dislivello di peso atomico fra questi elementi e i precedenti è forte; quindi la differenza di densità media di elettroni tra i costituenti mineralogici essenziali della roccia e quella dei minerali di U e Pb è anche molto elevata.

Scegliendo opportunamente l'energia del fascio di raggi X leggermente superiore all'energia propria della transizione K-L dell'U e del Pb, si devono mettere in netta evidenza (annerimento) i corrispondenti minerali pechblenda e galena.

Si osservi la tabella seguente: in essa sono riportati alcuni elementi metallici (colonna 2) e i corrispondenti valori delle lunghezze d'onda delle K_α e K_β (colonna 3 e 4);

nella colonna 5 compaiono alcuni filtri usati normalmente per eliminare la radiazione continua.

Ricordando quanto è stato detto in sede teorica qualche pagina addietro (fig. 2), si ricava dalla tabella che per rivelare l'Uranio ci vorrebbe un anticatodo di un elemento transuranico; per rivelare il Piombo un anticatodo di U (per es.) potrebbe invece andar bene.

TABELLA

Z	Elem.	K_α (K — L) _(Å)	K_β (K — M) _(Å)	Filtri
11	Na	11,885	11,584	
12	Mg	9,869	9,539	
13	Al	8,3205	7,965	
14	Si	7,11106	6,7545	
19	K	3,73368	3,4468	
20	Ca	3,35169	3,0834	
26	Fe	1,932076	1,75301	Al
27	Co	1,78529	1,61744	Fe
28	Ni	1,65784	1,49705	Co
29	Cu	1,53739	1,38935	Ni
42	Mo	0,7093	0,63281	Zr
74	W	0,20856	0,18475	Cu
82	Pb	0,16516	0,14606	
83	Bi	0,15041	0,14206	
92	U	0,12640	0,11187	

Poichè non vi sono in commercio normali tubi con simili anticatodi si è scelto il Tungsteno (W) che, come si vede in tabella, ha una λ maggiore, quindi una ν minore, di quella teoricamente necessaria; tuttavia questo anticatodo è quello che possiede la K_{α} più energetica fra quelli esistenti in commercio.

Usando dunque la radiazione filtrata uscente da un anticatodo di W è impossibile estrarre elettroni K sia dall'U che dal Pb;

ma questa radiazione è sufficiente ad estrarre, sia dall'U che dal Pb, elettroni dalle orbite più esterne (quindi legati con minore energia) e produrre una immagine fotografica elettronica.

Quando si vogliono dosare singolarmente questi elementi nei loro composti rispetto alla ganga, si ha sempre la possibilità di ottenere un sufficiente contrasto (anche assai elevato come risulta dalle foto fuori testo) tra l'immagine del minerale interessante e le immagini dei rimanenti minerali, sia metalliferi sia della ganga; quando si voglia invece dosare contemporaneamente più minerali pesanti occorre maggior cura nello scegliere i tempi di esposizione.

Riassumiamo le condizioni strumentali in cui si è operato, per le figure delle tavole:

per l'U

anticatodo di W	(W K_{α} e K_{β})
tens. di accel.	170 KV
intens. filamento	18 mA
filtro	Cu 2 mm
esposizione	9'

per il Pb

anticatodo di W	(come sopra)
tens. di accel.	170 KV
intens. filamento	18 mA
filtro	Cu 2 mm
esposizione	4'

Preparazione del campione. E' necessario che la superficie del preparato su cui va adattata la lastra sensibile sia:

a) il più possibile piana per consentire ai fotoelettroni di percorrere il minimo tragitto tra il preparato e la lastra, tanto da produrre un'immagine il più possibile netta; b) sia trattata in modo da favorire l'emissione elettronica. Nel nostro caso la superficie è stata trattata col metodo usato per preparare i piani ottici.

Scelta delle emulsioni sensibili. Come è già stato detto, le emulsioni devono essere poco sensibili, avere grana finissima ed essere spalmate da una sola parte del vetro portante, cosicchè gli eventuali fotoelettroni emessi dal filtro di rame vengano assorbiti dal vetro. Sono state sperimentate a tal fine le lastre Gevaert 11 C 50, le Kodak Maximum Resolution e le Gevaert Lippman tutte con emulsione da una parte sola.

Queste emulsioni hanno dato risultati soddisfacenti, ma le Lippman, che esigono esposizioni più lunghe, permettono di essere osservate direttamente al microscopio con ingrandimenti (70-80 X) più forti di quelli consentiti dalle altre emulsioni citate.

Sviluppo e stampa. Lo sviluppo non comporta alcuna operazione particolare. Una volta sviluppata la lastra può essere osservata direttamente al microscopio e confrontata con la sezione sottile o lucida del campione stesso; oppure può essere ingrandita e stampata fotograficamente (10-20 X). Col secondo procedimento si può fare l'analisi quantitativa approssimata.

Potere separatore. Le dimensioni minime di un granello di minerale rivelabile distintamente in radiografia sono dell'ordine del centesimo di mm, infatti sulle tavole fuori testo, che sono ingrandite 10-12 volte, si possono distintamente vedere i contorni di macchioline dell'ordine del decimo di mm, che corrispondono perciò a granuli dieci volte più piccoli.

Risultati e conclusioni preliminari

Descriviamo ora, a titolo dimostrativo, alcuni elementi interessanti che la microradiografia elettronica ha messo in evidenza nei campioni irradiati. Consideriamo il campione di blenda e galena: si osservi (foto 1) l'idiomorfismo della galena prevalentemente in forme esaedriche: nella fotografia (ottenuta, come quelle che seguono, stampando e ingrandendo la lastra impressionata dai fotoelettroni) i cristalli di galena sono quelli di colore bianco splendente, poichè il Pb è l'elemento a peso atomico più elevato fra quelli presenti. Il grigio quasi bianco, che come si vede ha una posizione più tardiva rispetto agli altri minerali rappresenta la cerussite. Le macchie e punteggiature grigio cenere in campo grigio topo rappresentano residui di sostituzione di scheletri di galena da parte della blenda; in tali residui non è ancora ben noto sotto quale specie minerale sia rimasto il Pb residuo. Il colore grigio topo corrisponde alla blenda. Il colore grigio scuro corrisponde alla pirite che

appare bene sia in cristalli isolati che in aggregati cristallini. Il nero corrisponde alla dolomite con evidente funzione cementante; la dolomite è infatti il minerale a più bassa densità di elettroni. Vistosi infine i fenomeni di pseudomorfo di blenda sui cristalli di galena, dei quali al microscopio si può studiare il particolare dettagliato, mentre nella microradiografia si può osservare il fenomeno nel suo sviluppo completo e nel suo ripetersi: cioè si ha una visione panoramica della struttura della roccia in esame e dei reciproci rapporti di diffusione dei vari minerali componenti.

Ha interesse anche la microradiografia ottenuta dallo scisto sericitico verde mineralizzato a pechblenda. La foto 2 infatti fornisce una visione panoramica della giacitura del minerale uranifero nella roccia incassante. La pechblenda è disposta lungo i piani di scistosità (in foto la pechblenda ha colore bianco splendente) e sembra costituita da un aggregato finissimo di masserelle, poichè non si notano forme con parvenza di cristallizzazione. Si osservi ancora come i filoncelli e le liste di pechblenda seguano anche le intime pieghettature e ondulazioni della roccia metamorfica incassante. Nella stessa radiografia si notino inoltre i grossi granuli grigio cenere, idiomorfi di pirite: questi evidentemente non sono stati interessati dall'azione dinamica e sono perciò presumibilmente post o sinmetamorfici. Infine si osservi come la differenziazione degli annerimenti rispetti anche la composizione della roccia ospite: nella tessitura ghiandolare e ondulata le liste grigio scuro corrispondono ai pacchetti di sericite o ferrofengite — invece le lenticelle nere sono quelle quarzose.

La foto 3 rappresenta la microradiografia elettronica del porfiroide rosso. Si può osservare innanzitutto l'omogeneità di composizione mineralogica della roccia incassante: quasi tutto quarzo; le venature di pechblenda sono evidentissime, ed il minerale non appare con forme ben definite.

Applicazioni

Date le scarse conoscenze attuali sulle possibilità della nuova tecnica, una delle applicazioni più immediate e utili è forse l'analisi quantitativa eseguita integrando sulla microradiografia stampata e ingrandita.

Consideriamo la seconda microradiografia (foto 2): essa è ingrandita 12 volte; in pratica si possono ingrandire 10-20 volte.

Misurata mediante carta millimetrata di precisione o mediante un integrimetro l'area totale s dei granuli del minerale che interessa, affiorante nella sezione di area S , si può passare (nell'ipotesi che i granuli siano distribuiti in modo mediamente omogeneo nel campione) alla concentrazione volumetrica C del minerale, data dalla formula:

$$C = \frac{s}{S} \quad (1)$$

ed alla percentuale in peso P del minerale nel campione:

$$P = \frac{p_m}{p_{mm}} \cdot 100 \cdot C \quad (2)$$

in cui p_m è il peso specifico noto del minerale cercato, p_{mm} è il peso specifico del campione mineralizzato. Questo coincide con buona approssimazione con quello, pure noto, della ganga, per basse percentuali del minerale cercato (minerali poveri); altrimenti dipende fortemente dal tenore di quest'ultimo ed è calcolabile mediante la formula:

$$p_{mm} = p_m \cdot C + p_g \cdot (1 - C) \quad (3)$$

p_g è il peso specifico della ganga. Questa formula è di immediata comprensione, dovendo essere p_{mm} la media pesata secondo le concentrazioni e i pesi specifici della roccia mineralizzata e della ganga. Tale formula evita così di misurare il peso specifico dei singoli campioni di minerale. Dato che C è affetto da una certa percentuale di errore (inferiore tuttavia a quello che si avrebbe con le misure dirette al tavolino integratore) p_{mm} e p_g ammettono anch'essi ampie tolleranze ed ha quasi sempre senso far uso del loro valore medio su tutto il giacimento.

Dunque la valutazione di P esige solo la misura di s e S sulle fotografie ed il calcolo di p_{mm} che è estremamente più rapido a compiersi di una misura di densità, specialmente per un'ampia serie di campioni.

Per passare al contenuto in elemento metallico, conoscendo la formula del minerale, si ricorre ovviamente al calcolo stechiometrico.

Quindi sulla nostra radiografia in esame, per esempio, (sia P la percentuale in peso della pechblenda):

$$S. = 13.521 \text{ mm}^2$$

$$s = 337 \text{ mm}^2$$

$$\frac{s}{S} = C = 0,0249$$

$$P = \frac{9}{2,82} \cdot 100 \cdot 0,0249 = 7,94\%$$

(9 = p.s. pechblenda)

(2,8 = p.s. scisto seric.)

Quindi 7,94% è la percentuale in peso di pechblenda nel campione; poichè nella pechblenda si ha circa l'88% in peso di Uranio, l'88% del 7,94% di minerale è uguale al 6,98% di Uranio nel campione di roccia che nel nostro caso era di 3 cm³ circa.

Naturalmente il significato giacimentologico del valore così ottenuto dipende dal criterio con cui è stato scelto il campione.

Si può eseguire la radiografia su di un campione anche più grande, compatibilmente col diametro del fascio di raggi X a disposizione e delle dimensioni della lastra.

Ripetendo questa analisi su molti campioni opportunamente scelti da un giacimento si può ottenere una concentrazione reale media che dal punto di vista scientifico è più significativa del tenore teorico medio. Questo infatti si ottiene eseguendo l'analisi chimica quantitativa su di un grammo di polvere prelevato da un miscuglio mediato di un certo numero di carrelli di toutvenant. Nella media fornita dal miscuglio di n campioni, prelevati a caso, si ha naturalmente una media aritmetica che industrialmente ha un significato più interessante. Invece operando una singola analisi su molti campioni, si ottiene la curva di distribuzione delle concentrazioni, molto più rappresentativa della media aritmetica quando si debbano studiare le cause e le modalità dell'arricchimento che ha dato luogo al giacimento.

L'esecuzione di una microradiografia è molto rapida: due o tre ore in tutto.

Si può pensare di introdurre di consueto l'applicazione della microradiografia sulle sezioni lucide irradiando la sezione prima della rifinitura con allumina ecc. . . e sulle sezioni sottili prima di coprirle.

Così la microradiografia penso possa accompagnare utilmente lo studio in luce riflessa (o trasmessa in casi particolari) sostituendosi vantaggiosamente al metodo delle impronte che ha un potere separatore assai inferiore.

Tutte le radiografie delle tavole e quelle da noi fatte per la messa a punto preliminare della tecnica sono state eseguite all'Istituto di Radiologia dell'Università di Milano che ci ha gentilmente messo a disposizione una nuovissima attrezzatura da terapia Philips modello RT 250 n. 11.465/08.

Vantaggi rispetto all'autoradiografia: 1) con la microradiografia elettronica si ottiene l'immagine reale e sufficientemente nitida dei singoli minerali; 2) il tempo di esposizione non supera i 30 minuti circa,

contro i 30 giorni necessari alle lastre nucleari; 3) il metodo non è limitato, come l'autoradiografia ai minerali o elementi radioattivi.

Altre applicazioni: 1) Nella determinazione di Au, Pt e Sn nei giacimenti alluvionali. 2) Può riuscire utile nella diagnostica, nei casi in cui il riconoscimento in luce riflessa, o con altri metodi, riesca difficile per analogia di proprietà fisiche e chimiche del minerale in osservazione. 3) si possono in alcuni casi ottenere elementi aggiuntivi sulle paragenesi. 4) E' pensabile che si possano rivelare elementi in sostituzione isomorfa in un determinato minerale, eseguendo prima, naturalmente, la taratura con termini di composizione nota della serie. Quest'ultima applicazione sarebbe comunque limitata al caso che l'elemento in sostituzione isomorfa avesse peso atomico sufficientemente differente, in modo da influire sensibilmente e positivamente sulla densità elettronica media del composto.

Nel chiudere l'esposizione di questi esperimenti preliminari desidero ricordare l'appoggio che ho avuto dal Prof. Desio e dal Prof. Ippolito; la mia gratitudine va inoltre al Prof. Schiavinato per la guida preziosa che mi ha dato in queste ricerche.

(Milano, Istituti di Mineralogia e di Geologia dell'Università, Laboratori CISE - settembre 1956).

DESCRIZIONE DELLA TAVOLA I

Foto 1 — Microradiografia, del campione di galena, blenda, pirite, proveniente dalla miniera di Raibl (Udine). $W K_{\alpha}$; 170 K V; 4'; Cu = 2 mm; ingrandimenti 13; descrizione pag. 258.

- G = *Galena*, bianco brillante.
- e = *Cerussite*, bianco tendente al grigio.
- p = *Piombo residuo*, grigio cenere chiaro.
- B = *Blenda*, grigio topo.
- P = *Pirite*, grigio scuro.
- d = *Dolomite*, nero.

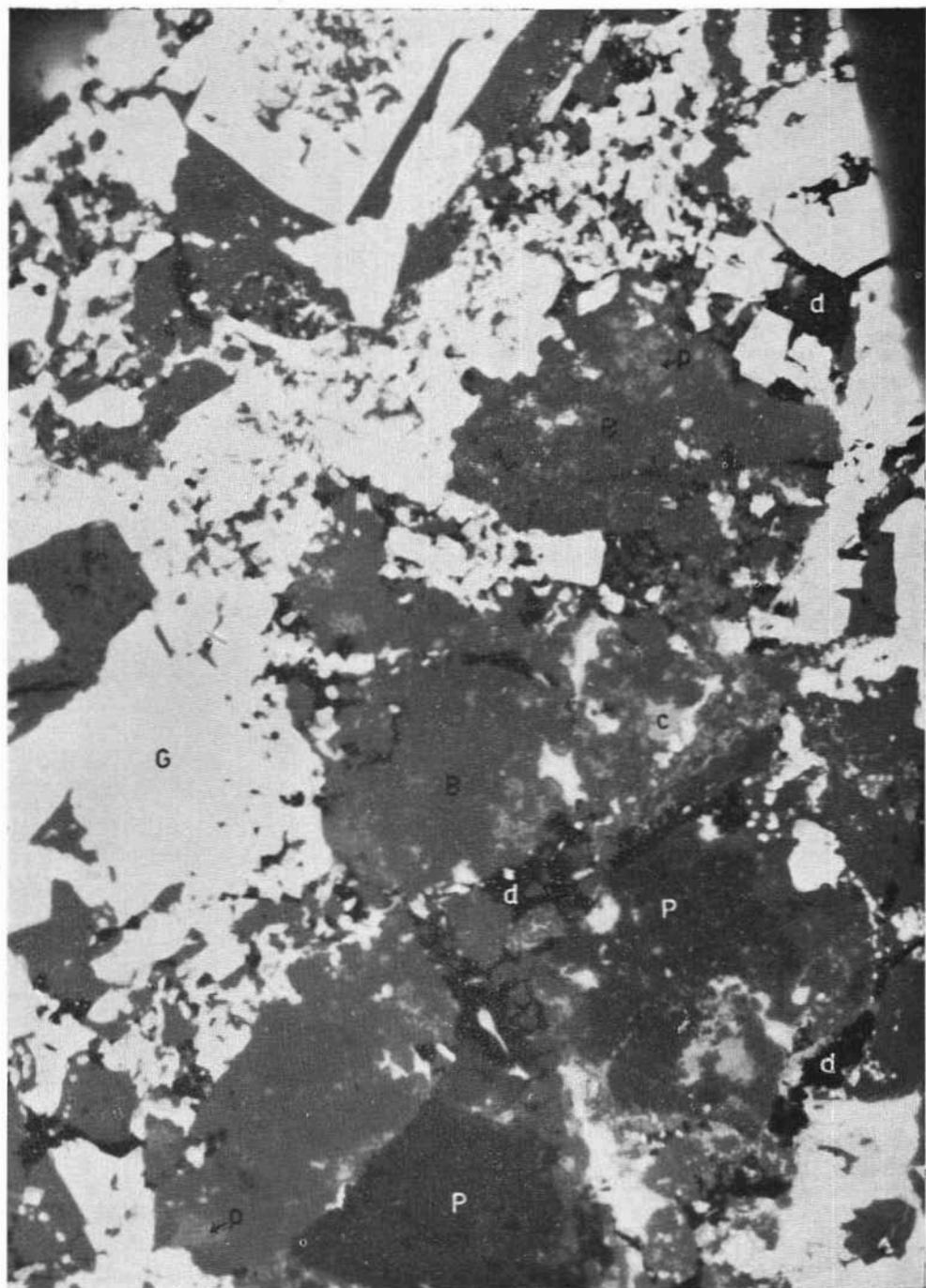


Foto 1

DESCRIZIONE DELLA TAVOLA II

Foto 2 — Microradiografia dello scisto sericitico verde scuro, mineralizzato a pechblenda e solfuri (Peveragno, Cuneo), $W K_{\alpha}$; 180 K V; 9'; Cu = 2; X 13; descr. pag. 9.

Pechblenda, bianco brillante.

Pirite, grigio chiaro.

Sericite grigio scuro.

Quarzo, nero grigiastro.

Foto 3 — Microradiografia di un porfido rosso mineralizzato a pechblenda (Cuneo). La pechblenda è in venature di colore bianco splendente, $W K_{\alpha}$; 180 K V; 9'; Cu = 2 mm; 14; descr. pag. 9.

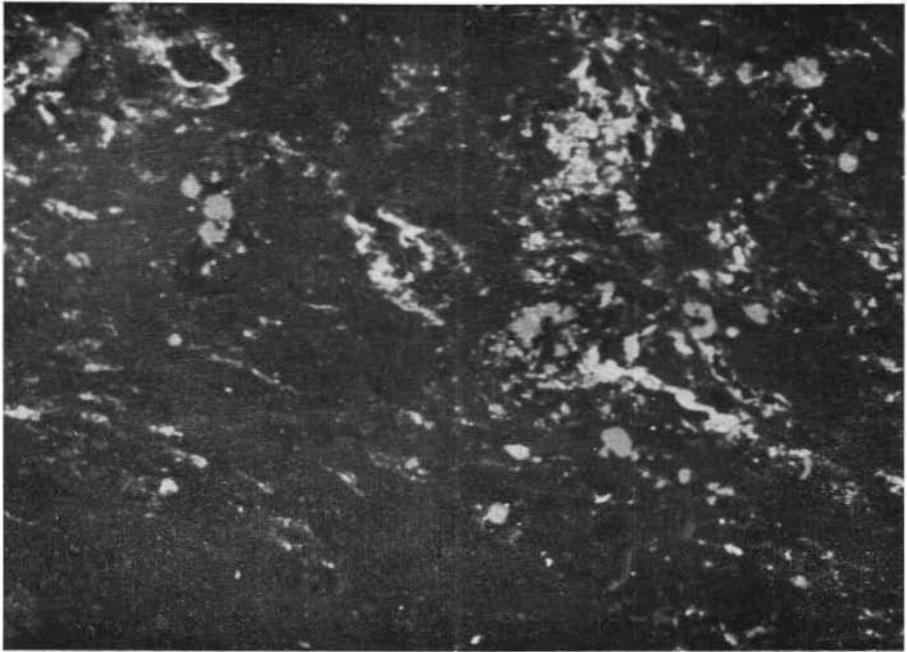


Foto 2

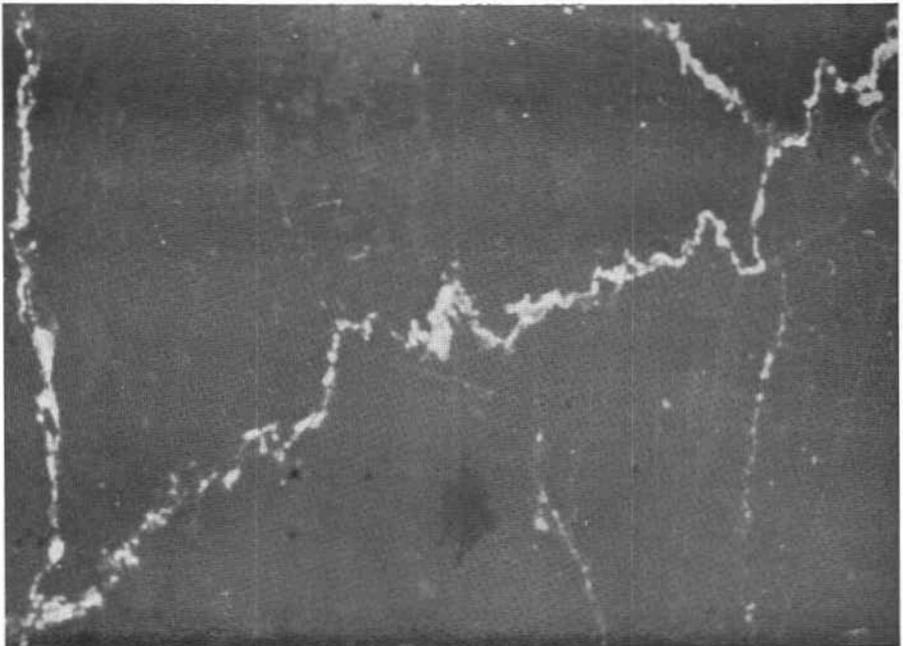


Foto 3