

M. FRANZINI, M. TROYSI, A. CECCHINI (\*)

## UNA SERIE DI MINERALI COME TERMINI DI RIFERIMENTO PER LA MICRODUREZZA ALLA PENETRAZIONE

**Riassunto** — Viene riportata una serie di valori di microdurezza Vickers e Knoop relativi a 27 campioni di 14 specie mineralogiche diverse (di durezza Mohs variabile da 1 a 9) a composizione chimica ben definita e facilmente reperibili; essi forniscono anche impronte molto nette e danno misure uguali su campioni diversi della stessa specie.

I dati riportati possono essere utilizzati come termini di riferimento per la proprietà microdurezza alla penetrazione e consentono delle osservazioni preliminari sulle relazioni tra microdurezza alla penetrazione e durezza Mohs.

**Abstract** — *A series of minerals proposed as reference materials for indentation microhardness.* Series of Vickers and Knoop microhardness values, measured on 27 samples pertaining to 14 distinct mineralogical phases, are reported. The minerals selected for the research are characterized by Mohs hardness values ranging from 1 to 9, by a well defined chemical composition and by a relatively common occurrence; furthermore their crystals usually show very good indentations so that measures carried out on different specimens of the same species result exactly alike.

The data herein reported qualify the selected minerals as good reference materials for indentation microhardness; moreover they suggest interesting relationships between Mohs hardness and indentation microhardness, which are worthy of further researches.

**Key words** — indentation microhardness, reference materials.

### 1 - PREMessa

Presso questo Istituto sono in corso da anni ricerche sulla microdurezza alla penetrazione dei minerali (con particolare riferimento a quelli trasparenti) finalizzate sia alla comprensione delle leggi che regolano il manifestarsi di questa proprietà sia all'approfondimento dei dati sui minerali più comuni.

---

(\*) Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, Pisa.

Nel corso degli anni sono state eseguite misure su decine di specie mineralogiche diverse e si è potuto osservare come spesso sia estremamente difficile assegnare un valore definito di microdurezza ad ogni specie esaminata.

A parte l'ovvia constatazione che misure di una certa accuratezza si possono avere soltanto su minerali che diano impronte ben formate (il che impedisce di avere risultati attendibili ad es. su pirite, apatite, quarzo, ortoclasio, gesso, calcite, epsomite, pirrotina, leucite, ecc.), si deve anche ricordare che grosse variazioni di microdurezza si possono avere in funzione dell'orientazione, della composizione chimica, della presenza di difetti reticolari, ecc.

Le variazioni di microdurezza dovute all'orientazione non sono generalmente controllabili lavorando in sezione lucida mentre lo sono facilmente operando, come sempre abbiamo fatto in questo laboratorio, su facce naturali di monocristalli; quelle dovute a variazioni di composizione chimica, ben note ad es. negli epidoti (LEONI, TROYSI, 1974) o nei granati (LEONI, PALASCIANO, TROYSI, 1976) e con buona probabilità presenti in ogni minerale che dia estese miscele isomorfe, richiedono per il loro controllo tecniche ausiliarie di tipo analitico. Infine, le variazioni dovute a difetti reticolari, conseguenti per esempio a fenomeni di deformazione subiti dal campione, sono particolarmente preoccupanti perché possono produrre grosse differenze di microdurezza anche su una stessa faccia di un medesimo campione; per minerali tipo blenda e galena è indispensabile quindi controllare sempre l'omogeneità del campione rispetto alla proprietà microdurezza.

Le difficoltà ora menzionate trovano esatto riscontro nella letteratura dalla quale appare che autori diversi ricavano valori significativamente diversi su campioni della stessa specie; ciò risulta estremamente evidente nei minerali a bassa durezza (vedi tabella 2 in LEONI, PETRACCO, 1976).

Ulteriori difficoltà si hanno poi per il fatto che, spesso, gli autori non citano i metodi sperimentali utilizzati e in special modo l'orientazione e il carico con i quali le misure sono state eseguite.

In questa nota intendiamo riportare una serie di dati, selezionati tra i molti disponibili che, sulla base dell'esperienza acquisita, riteniamo particolarmente riproducibili. I 14 minerali qui descritti coprono un ampio intervallo di durezza (da 1 a 9 nella scala di Mohs), sono facilmente reperibili (o preparabili) come monocristalli, forniscono impronte molto nette, hanno composizione chi-

mica definita (ad eccezione della blenda e della magnetite) ed hanno fornito misure uguali su campioni diversi.

I dati permettono delle considerazioni generali sui rapporti fra microdurezza alla penetrazione e durezza Mohs e, con alcune cautele che saranno chiarite per le singole specie, possono essere considerati termini di riferimento per la proprietà microdurezza alla penetrazione.

## 2 - I METODI SPERIMENTALI

Le misure sono state effettuate con microdurimetro Leitz « Durimet » su facce naturalmente sviluppate nel cristallo, lucidate superficialmente con una lucidatrice a panno e pasta diamantata (ad eccezione del salgemma e dell'acido borico per i quali si è utilizzato un panno bagnato d'acqua).

L'identificazione della forma e dell'orientazione dell'impronta sulle facce misurate è stata ottenuta da misure morfologiche.

Con orientazione (a) si intende che una delle diagonali (Vickers) o la diagonale lunga (Knoop) dell'impronta sia parallela — e con orientazione (b) che formi un angolo di  $45^\circ$  — con la direzione di spigolo indicata nel paragrafo 3 per ogni forma studiata di ogni campione.

Le misure sono state eseguite con 7 carichi (15, 25, 50, 100, 200, 300, 500 g); per ogni carico e per ogni orientazione sono state effettuate 4 impronte Vickers e 4 impronte Knoop per un totale di 112 impronte per ciascuna faccia esaminata.

## 3 - I CAMPIONI STUDIATI

I campioni studiati provengono tutti dalle collezioni dell'Istituto e Museo di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Pisa. Qui di seguito ne sono schematicamente indicate le caratteristiche.

### 1.1 - Salgemma - Provenienza: ? - Cat. n. 3108

Cristallo incolore ad abito cubico con spigolo di circa 1 cm.

Forme presenti: {100}.

Forma studiata: {100}.

Orientazione: [001].

- 1.2. - Salgemma - Provenienza: ? - Cat. n. 3107  
Cristallo incolore ad abito cubico con spigolo di circa 1 cm.  
Forme presenti: {100}.  
Forma studiata: {100}.  
Orientazione: [001].
- 2.1 - Solfo - Provenienza: ? - Cat. n. 1146  
Campione costituito dall'associazione di due cristalli ad abito bipiramidale, con dimensione massima di circa 2.5 cm.  
Forme presenti: {111}, {001}, {011}.  
Forma studiata: {111}.  
Orientazione: [ $\bar{1}$ 10].
- 2.2 - Solfo - Provenienza: Peticara (Sicilia) - Cat. n. 16  
Campione costituito dall'associazione di alcuni cristalli ad abito bipiramidale, con dimensione massima di circa 1.5 cm.  
Forme presenti: {111}, {001}, {113}.  
Forma studiata: {111}.  
Orientazione: [ $\bar{1}$ 10].
- 3.1 - Acido borico - Provenienza: preparato in laboratorio.  
Campione incolore con lucentezza madreperlacea, abito lamellare, con dimensione massima di circa 0.6 cm.  
Forme presenti: {001}.  
Forma studiata: {001}.  
Orientazione: [100].
- 4.1 - Antimonite - Provenienza: Snikoku (Giappone) - Cat. n. 3391  
Frammento di un monocristallo ad abito aciculare, di lunghezza circa 4 cm.  
Forme presenti: {110}.  
Forma studiata: {110}.  
Orientazione: [001].
- 5.1 - Blenda - Provenienza: Binnenthal (Vallese) - Cat. n. 3105  
Cristallo di colore giallo-bruno ad abito tetraedrico, con dimensione massima di circa mezzo centimetro.  
Forme presenti: {111}, { $1\bar{1}1$ }.  
Forma studiata: {111}.  
Orientazione: [ $11\bar{2}$ ].

- 5.2 - Blenda - Provenienza: Rio Marina (Elba) - Cat. n. 3109  
Cristallo di colore nero con lucentezza metallica, abito rombododecaedrico, con dimensione massima di circa 1.5 cm.  
Forme presenti: {110}, {100}.  
Forma studiata: {110}.  
Orientazione: [001].
- 5.3 - Blenda - Provenienza: Carrara - Cat. n. 3106  
Cristallo di colore giallo-bruno, abito tetraedrico, con dimensione massima di circa 1.5 cm.  
Forme presenti: {111}.  
Forma studiata: {111}.  
Orientazione: [112].
- 7.1 - Colemanite - Provenienza: California - Cat. n. 131  
Cristallo incolore ad abito prismatico, con dimensione massima di circa 3 cm.  
Forme presenti: {110}, {301}.  
Forma studiata: {110}.  
Orientazione: [001].
- 7.2 - Colemanite - Provenienza: Turchia - Cat. n. 3103  
Cristallo incolore ad abito prismatico, con dimensione massima di circa 1 cm.  
Forme presenti: {110}, {011}.  
Forma studiata: {110}.  
Orientazione: [001].
- 8.1 - Magnetite - Provenienza: Traversella (Torino) - Cat. n. 1039  
Cristallo ad abito rombododecaedrico, con dimensione massima di circa 2 cm.  
Forme presenti: {110}.  
Forma studiata: {110}.  
Orientazione: [ $\bar{1}$ 11].
- 8.2 - Magnetite - Provenienza: Ekaterinembourg (Urali) - Cat. n. 2973  
Cristallo ad abito ottaedrico, con dimensione massima di circa 1.5 cm.  
Forme presenti: {111}.

Forma studiata: {111}.

Orientazione:  $[\bar{1}10]$ .

9.1 - Ematite - Provenienza: Messico - Cat. n. 563

Cristallo ad abito tabulare, con dimensione massima di circa 3.5 cm.

Forme presenti: {0001}, {11 $\bar{2}$ 0}.

Forma studiata: {0001}.

Orientazione: [01.0].

9.2 - Ematite - Provenienza: Elba - Cat. n. 120

Cristallo ad abito romboedrico, con dimensione massima di circa 2.5 cm.

Forme presenti: {10 $\bar{1}$ 1}, {10 $\bar{1}$ 4}, {22 $\bar{4}$ 3}.

Forma studiata: {10 $\bar{1}$ 1}.

Orientazione: [10.0].

10.1 - Zircone - Provenienza: Urali - Cat. n. 71

Cristallo di colore bruno con lucentezza adamantina, abito prismatico, di lunghezza circa 1 cm.

Forme presenti: {100}, {111}.

Forma studiata: {100}.

Orientazione: [001].

10.2 - Zircone - Provenienza: Anderson (S. Carolina) - Cat. n. 896

Cristallo di colore bruno con lucentezza adamantina, abito bipyramidale, con dimensione massima di circa 1.5 cm.

Forme presenti: {110}, {111}.

Forma studiata: {110}.

Orientazione: [001].

11.1 - Andalusite - Provenienza: Lienz (Tirolo) - Cat. n. 2011

Cristallo di colore grigio violaceo, abito prismatico, di lunghezza circa 2.5 cm.

Forme presenti: {110}.

Forma studiata: {110}.

Orientazione: [001].

11.2 - Andalusite - Provenienza: Dilce - Cat. n. 1165

Cristallo di colore violaceo, abito prismatico, di lunghezza circa 3 cm.

Forme presenti:  $\{110\}$ .

Forma studiata:  $\{110\}$ .

Orientazione:  $[001]$ .

12.1 - Topazio - Provenienza: Brasile - Cat. n. 2031

Cristallo di colore giallo pallido con abito prismatico, di lunghezza circa 1.5 cm.

Forme presenti:  $\{120\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{041\}$ .

Forme studiate:  $\{120\}$ ,  $\{001\}$ .

Orientazione: per la forma  $\{120\}$  si è scelto come riferimento lo spigolo  $[001]$ , per la forma  $\{001\}$  lo spigolo  $[100]$ .

12.2 - Topazio - Provenienza: Brasile - Cat. n. 2032

Cristallo incolore con abito prismatico, di lunghezza circa 1 cm.

Forme presenti:  $\{110\}$ ,  $\{221\}$ ,  $\{243\}$ ,  $\{021\}$ .

Forma studiata:  $\{110\}$ .

Orientazione:  $[001]$ .

13.1 - Berillo - Provenienza: Australia - Cat. n. 181

Cristallo di colore giallo con abito prismatico, di lunghezza circa 2.5 cm.

Forme presenti:  $\{10\bar{1}0\}$ .

Forma studiata:  $\{10\bar{1}0\}$ .

Orientazione:  $[00.1]$ .

13.2 - Berillo - Provenienza: Massachusetts (U.S.A.) - Cat. n. 79

Cristallo di colore azzurro-verde con abito prismatico, di lunghezza circa 4 cm.

Forme presenti:  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{0001\}$ .

Forme studiate:  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{0001\}$ .

Orientazione: l'asse z per la forma  $\{10\bar{1}0\}$  e l'asse y per la forma  $\{0001\}$ .

13.3 - Berillo - Provenienza: Bodenmais (Baviera) - Cat. n. 2894

Cristallo di colore azzurro con abito prismatico, di lunghezza circa 3 cm.

Forme presenti:  $\{10\bar{1}0\}$ .

Forma studiata:  $\{10\bar{1}0\}$ .

Orientazione:  $[00.1]$ .

- 13.4 - Berillo - Provenienza: Brasile - Cat. n. 3104  
 Cristallo di colore verde pallido con abito prismatico, di lunghezza circa 2 cm.  
 Forme presenti:  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{0001\}$ ,  $\{11\bar{2}1\}$ ,  $\{20\bar{2}1\}$ ,  $\{10\bar{1}1\}$ .  
 Forma studiata:  $\{10\bar{1}0\}$ .  
 Orientazione:  $[00.1]$ .
- 14.1 - Corindone - Provenienza: Cina - Cat. n. 31  
 Cristallo di colore viola con abito prismatico, di lunghezza circa 2 cm.  
 Forme presenti:  $\{11\bar{2}0\}$ ,  $\{0001\}$ .  
 Forme studiate:  $\{11\bar{2}0\}$ ,  $\{0001\}$ .  
 Orientazione: per la forma  $\{11\bar{2}0\}$  si è scelto come riferimento l'asse z, per la forma  $\{0001\}$  l'asse y.
- 14.2 - Corindone - Provenienza: Madagascar - Cat. n. 49  
 Cristallo di colore bruno con abito prismatico, di lunghezza circa 5 cm.  
 Forme presenti:  $\{44\bar{8}3\}$ ,  $\{0001\}$ .  
 Forma studiata:  $\{44\bar{8}3\}$ .  
 Orientazione:  $[30.\bar{4}]$ .

#### 4 - I DATI RACCOLTI

I dati raccolti sono stati elaborati secondo quanto descritto da FRANZINI e TROYSI (1978) inserendo come dati di ingresso i valori medi, per ogni valore del carico, di ogni gruppo di 4 misure (vedi tab. 1).

TABELLA 1

Campione	Or.	HVE	$\sigma_{HVE}$	d.s. <sub>HVE</sub>	HKE	$\sigma_{HKE}$	d.s. <sub>HKE</sub>
1.1	a	17	6.226	0.65	16	14.917	0.17
	b	17	7.560	0.75	14	23.019	0.46
1.2	a	18	2.596	0.67	16	20.831	0.00
	b	16	4.254	0.14	14	17.850	0.01
2.1	a	26	6.199	2.04	25	12.968	0.53
	b	28	2.863	1.36	27	13.170	0.19

Segue: TABELLA 1

Campione	Or.	HVE	$\sigma_{\text{HVE}}$	d.s. <sub>HVE</sub>	HKE	$\sigma_{\text{HKE}}$	d.s. <sub>HKE</sub>
2.2	a	26	4.246	1.19	26	13.559	0.40
	b	27	6.017	0.71	28	12.554	0.11
3.1	a	43	3.831	2.00	44	9.546	0.92
	b	42	5.001	2.06	45	8.453	1.25
4.1	a				97	10.748	2.61
	b	86	6.103	6.71	101	11.871	5.24
5.1	a	173	1.265	1.67			
	b	168	1.634	2.02			
5.2	a	161	1.592	3.72	168	7.467	3.75
	b	157	1.877	3.46	145	8.209	2.63
5.3	a	170	1.582	9.19	146	9.040	4.97
	b	170	1.602	9.24	139	10.422	6.06
7.1	a	404	0.993	15.64	305	6.841	5.47
	b	426	0.813	29.73	311	8.640	15.27
7.2	a	370	2.196	16.86	289	7.640	11.02
	b	374	2.163	18.98	283	7.914	4.82
8.1	a	506	1.223	38.25	442	3.957	7.92
	b	520	0.877	26.76	449	5.264	3.17
8.2	a	502	1.252	26.24	371	7.178	13.25
	b	485	1.461	33.90	405	6.826	22.80
9.1	a	789	1.604	52.20	670	7.126	20.84
	b	773	1.853	57.92	669	6.935	23.94
9.2	a	908	1.232	43.38	686	6.740	36.14
	b	927	0.977	90.68	885	4.227	29.29
10.1	a	952	1.378	62.26	667	6.815	55.91
	b	861	1.757	71.70	908	5.937	38.58
10.2	a	1032	2.453	157.92	672	7.522	54.80
	b	1073	1.271	39.75	679	9.646	60.42
11.1	a	1154	1.799	83.95	687	10.126	57.58
	b	1123	1.491	89.28	923	6.479	30.46
11.2	a	1048	2.008	87.74	869	6.475	49.67
	b	1060	1.689	87.85	961	6.437	31.63
12.1	a	1139	2.514	180.23	925	6.687	20.42
	b	1075	2.898	168.75	949	6.780	39.77
	a	1139	1.942	73.45	1203	4.977	48.23
	b	1391	0.904	101.73	812	9.587	104.38

Segue: TABELLA 1

Campione	Or.	HVE	$\sigma_{HVE}$	d.s. <sub>HVE</sub>	HKE	$\sigma_{HKE}$	d.s. <sub>HKE</sub>
12.2	a	1162	2.240	138.53	941	7.154	43.38
	b	1222	1.956	60.03	1034	4.950	39.32
13.1	a	1244	0.858	89.75	922	8.489	25.65
	b	1343	0.259	104.68	932	8.380	41.04
13.2	a	1344	0.844	42.76	597 971	15.254 8.059	105.09 25.33
	b	1353	0.222	113.90			
	a	1107	1.508	37.70	801	10.547	16.88
13.3	b	1034	1.786	36.66	784	10.700	27.01
	a	1372	0.733	176.73	899	8.086	54.47
13.4	b	1276	1.640	117.14	942	7.685	30.59
	a	1308	1.234	52.54	959	7.828	27.72
14.1	b	1453	0.338	107.12	976	7.115	50.66
	a	2021	1.057	229.67	1636	4.623	69.58
14.2	b	2044	0.811	128.57	1649	5.413	111.69
	a	1643	1.134	113.74	1374	5.465	84.23
14.2	b	1665	0.955	145.79	1413	5.577	83.46
	a	1954	1.235	237.02	1509	4.348	63.84
14.2	b	1865	0.878	190.67	1662	4.406	92.15

Ai fini di facilitare i confronti sull'intera serie di minerali studiati si è utilizzato per tutti i campioni un unico modello interpretativo dei dati sperimentali preferendo il modello basato sul ritiro elastico e sul valore di microdurezza estrapolata anziché quello più generale proposto da FRANZINI, TROYSI e CECCHINI (1981); tale scelta è dovuta al fatto che in questa nota interessa soprattutto un valore di riferimento di microdurezza che non la variazione di questa proprietà con il carico.

Si ricorda che da HVE e  $\sigma_{HVE}$  (come da HKE e  $\sigma_{HKE}$ ) si possono ricavare i valori per un qualsiasi peso p utilizzando la formula:

$$HV_p = 1854.4 p / (\sqrt{1854.4 p / HVE} - \sigma_{HVE})^2$$

## 5 - DISCUSSIONE DEI DATI

Nella tabella n. 2 vengono riportati i valori medi  $HVE_m$  e  $HKE_m$  per le singole forme, ricavati a partire dai dati della tabella n. 1; dal calcolo della media sono stati esclusi i campioni per i

quali la deviazione standard, calcolata sulla media dei valori ottenuti nell'orientazione a e nell'orientazione b, supera il 10% del valore minore (legati da una graffa in tabella n. 1).

Nella tabella n. 2 sono stati inseriti anche i dati sulla fluorite di FRANZINI, TROYSI e CECCHINI (1981) ottenuti con le stesse metodologie.

TABELLA 2

Minerale	Forma	HVE <sub>m</sub>	HKE <sub>m</sub>
Salgemma	{100}	17	15
Solfo	{111}	27	27
Ac. borico	{001}	43	45
Antimonite	{110}	86	99
Blenda	{110}	159	157
	{111}	170	143
Fluorite	{111}	152	142
	{100}	177	172
Colemanite	{110}	394	297
Magnetite	{111}	494	388
	{110}	513	446
Ematite	{0001}	781	670
Zircone	{110}	1053	676
Andalusite	{110}	1097	915
	{120}	1107	937
Topazio	{110}	1192	988
	{0001}	1071	793
Berillo	{1010}	1336	939
	{0001}	1654	1394
Corindone	{4483}	1910	1586
	{1120}	2033	1643

Da tale tabella si può constatare che la microdurezza Vickers è maggiore della Knoop ad eccezione dell'acido borico e dell'antimonite; è da osservare però che per l'acido borico la differenza è molto piccola e che per l'antimonite le impronte, in particolare quelle Vickers, sono fortemente fratturate.

La relazione tra Vickers e Knoop, d'altronde, non trova facile interpretazione almeno nei riguardi delle caratteristiche dei penetratori. Anzi, tenuto conto che nel calcolo dei valori di microdurezza si utilizza per il penetratore Vickers la costante 1854.4 che si riferisce alla superficie dell'impronta e per il penetratore Knoop la costante 14116 che si riferisce alla proiezione dell'impronta sul piano di misura, si dovrebbero avere valori di microdurezza Knoop superiori a quelli Vickers.

Comunque i dati della tabella n. 2 mostrano non esistere una relazione semplice tra microdurezza Vickers e Knoop: si confrontino ad es. i valori per ematite, zircone, andalusite o, più in generale, si noti come la differenza fra Vickers e Knoop diventi evidente solo nei minerali di maggior durezza (dalla coemanite in avanti).

Il confronto tra i dati riportati in questa nota e quelli della letteratura è reso difficile dal fatto che spesso in questa ultima mancano indicazioni metodologiche; nonostante ciò nel seguito vengono riportate tabelle comparative tra serie di dati relativamente a salgemma, antimonite, blenda, fluorite, magnetite, ematite, topazio e corindone; per gli altri minerali da noi presi in esame, invece, non è stato possibile reperire riferimenti bibliografici.

*Salgemma* - Gli unici valori di microdurezza citati in letteratura sono quelli di MORLIN (1965). Dai grafici dati da questo Autore si ricava una HVE uguale a 17 Kg/mm<sup>2</sup>, pari a quella da noi ottenuta.

*Antimonite* (tabella 3) - Dalla serie dei nostri dati si nota una normale diminuzione di HV all'aumentare del peso mentre da quella riportata da KASPAR (1972) HV risulta rimanere pressoché invariata.

TABELLA 3 - Confronto tra i dati della letteratura e quelli raccolti nel presente lavoro relativamente all'antimonite.

Peso in g.	HV	
	P. Kaspar	Presente lavoro
25	{110} 113	143
50	{110} 101	135
100	{110} 110	123

*Blenda* (tabella 4) - Si può osservare che vi è un ottimo accordo tra i diversi valori, ad eccezione di quelli di WESTBROOK e al. (1968) relativamente alla forma {110} dove questo accordo è meno buono. D'altronde, sia dai dati del presente lavoro che da quelli di tali autori, emerge che la microdurezza Vickers è più alta per la forma {111} che per la forma {110}. Si deve inoltre ricordare che in questo minerale variazioni di microdurezza possono essere dovute a variazioni nel tenore in Fe (HENRIQUES, 1957).

TABELLA 4 - Confronto tra i dati della letteratura e quelli raccolti nel presente lavoro relativamente alla blenda.

Peso in g.	HV				HK	
	B.B. Young e A.P. Millman	F.M. Nakhla	J.H. West- brook e al.	Presente lavoro	H. Winchell	Presente lavoro
25		220		187-202		
50		215	-	$\left[ \begin{array}{l} \{111\} 187 \\ \{110\} 161 \\ \{100\} 132 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} \{111\} 192-211 \\ \{110\} 184-185 \end{array} \right]$	
100	128-235	206		178-192	175-180	179-201
200		183		172-188		
300		180.5		169-183		

*Fluorite* (tabella 5) - L'accordo appare ottimo per quanto concerne la forma {111} mentre per la forma {100} i valori di microdurezza da noi ottenuti risultano i più alti.

TABELLA 5 - Confronto tra i dati della letteratura e quelli raccolti nel presente lavoro relativamente alla fluorite.

Peso in g.	HV				HK		
	Westbrook e al.	Young e Millman	Taylor	Presente lavoro	Knoop e al.	Winchell	Presente lavoro
50	$\left[ \begin{array}{l} \{111\} 189 \\ \{110\} 181 \\ \{100\} 157 \end{array} \right]$		200	$\left[ \begin{array}{l} \{111\} 164-189 \\ \{100\} 189-249 \\ \{111\} 161-183 \end{array} \right]$			
100		$\left[ \begin{array}{l} \{111\} 174-203 \\ \{100\} 174-181 \end{array} \right]$		$\left[ \begin{array}{l} \{100\} 188-241 \end{array} \right]$	163	{111} 139-152	{111} 146-173

*Magnetite* (tabella 6) - Per la magnetite la letteratura (dati in SINYAKOV, 1966) riporta valori di HV<sub>100</sub> variabili in funzione della composizione e dell'orientazione fra 500 e 1100.

TABELLA 6 - Confronto tra i dati della letteratura e quelli raccolti nel presente lavoro relativamente alla magnetite.

Peso in g.	HV				HK		
	Nakhla	Sinyakov	Bowie	Presente lavoro	Winchell	Robert- son	Presente lavoro
25	946			617 - 647		429 - 574	583 - 672
50	927			586 - 625			
100	882	500-1100	530-599	607 - 628	611 - 782	486 - 574	456 - 542
200	749.5			553 - 571			
300	662			544 - 558			

Le misure da noi ottenute con il penetratore Vickers e per un carico di 100 g sono comparabili con quelle date da SINYAKOV per campioni dello stesso tipo genetico. I confronti tra i nostri valori di HK e quelli di letteratura (tabella 6) non sono significativi in mancanza di dati chimici sui campioni confrontati.

*Ematite* (tabella 7) - Si può osservare che, per quanto concerne HV, c'è un buon accordo tra i nostri dati e quelli di BOWIE (1967) mentre per HK i valori da noi determinati risultano più alti di quelli di ROBERTSON e al. (1951).

TABELLA 7 - Confronto tra i dati della letteratura e quelli raccolti nel presente lavoro relativamente all'ematite.

Peso in g.	HV		HK	
	Bowie	Presente lavoro	Robertson e al.	Presente lavoro
100	920 - 1062	1068 - 1153		
300			533 - 794	945 - 1124

*Topazio* (tabella 8) - I valori ottenuti risultano superiori a quelli di altri autori, ad eccezione di YOUNG e MILLMAN (1964) per i quali si è osservato esistere sempre un ottimo accordo.

TABELLA 8 - Confronto tra i dati della letteratura e quelli raccolti nel presente lavoro relativamente al topazio.

Peso in g.	HV					HK		
	Westbrook e al.	Winkler	Young e Millman	Taylor	Presente lavoro	Winchell	Knoop e al.	Presente lavoro
50	{120} 1440 {001} 1170 {110} 1330	{120} 1180 {001} 1740 {110} 1490	{100} {001} 1478-2012 {010}	1648	{120} 2073-2203 {001} 1846-2013 {110} 2073			
100					{001} 1566-1824	{001} 769-1230	1250	{001} 1584-1684

TABELLA 9 - Confronto tra i dati della letteratura e quelli raccolti nel presente lavoro relativamente al corindone.

Peso in g.	HV			HK	
	Westbrook e al.	Albrecht	Presente lavoro	Winchell	Presente lavoro
50	{1120} 2320 {0001} 2630	{1120} 1960 {0001} 2100	{1120} 2766-3191 {0001} 2136		
100				[ {1120} 1900-2250 {0001} 1725-2210 {0001} 1265-1630	[ {1120} 2230-2587 {0001} 2161-2248 {0001} 1643-1730
300					

*Corindone* (tabella 9) - I nostri dati concordano con quelli riscontrati in letteratura ad eccezione dei valori riportati da WESTBROOK e al. (1968) che risultano più alti per la forma {0001} anziché per la forma {11 $\bar{2}$ 0}.

Complessivamente dal confronto delle diverse tabelle si può osservare come i dati di alcuni autori e quelli della presente nota non siano in buon accordo; questa differenza potrebbe essere dovuta a diversità o di forma o di orientazione in quanto sovente non si hanno indicazioni in tal senso.

Ai fini di un confronto tra i dati di microdurezza alla penetrazione e quelli della scala di Mohs abbiamo fatto riferimento all'ipotesi di BONATTI (1960) il quale ha trovato, con i dati allora disponibili, che la durezza Mohs (H) è proporzionale al logaritmo della microdurezza alla penetrazione (HVE o HKE). I dati raccolti sono stati quindi rappresentati nel diagramma di fig. 1 dove vengono riportati sull'asse delle ordinate i valori di HVE<sub>m</sub> (crocette) e di HKE<sub>m</sub> (triangolini) e sull'asse delle ascisse i corrispondenti valori di H.

Nel diagramma si osserva un buon allineamento dei dati sperimentali, ad eccezione di quelli relativi al salgemma e al solfo; è stata allora calcolata una prima relazione senza prendere in esame i valori di questi due minerali. Si è ottenuto:

$$H = -7.485 + 4.988 \log HVE$$

$$H = -8.354 + 5.453 \log HKE$$

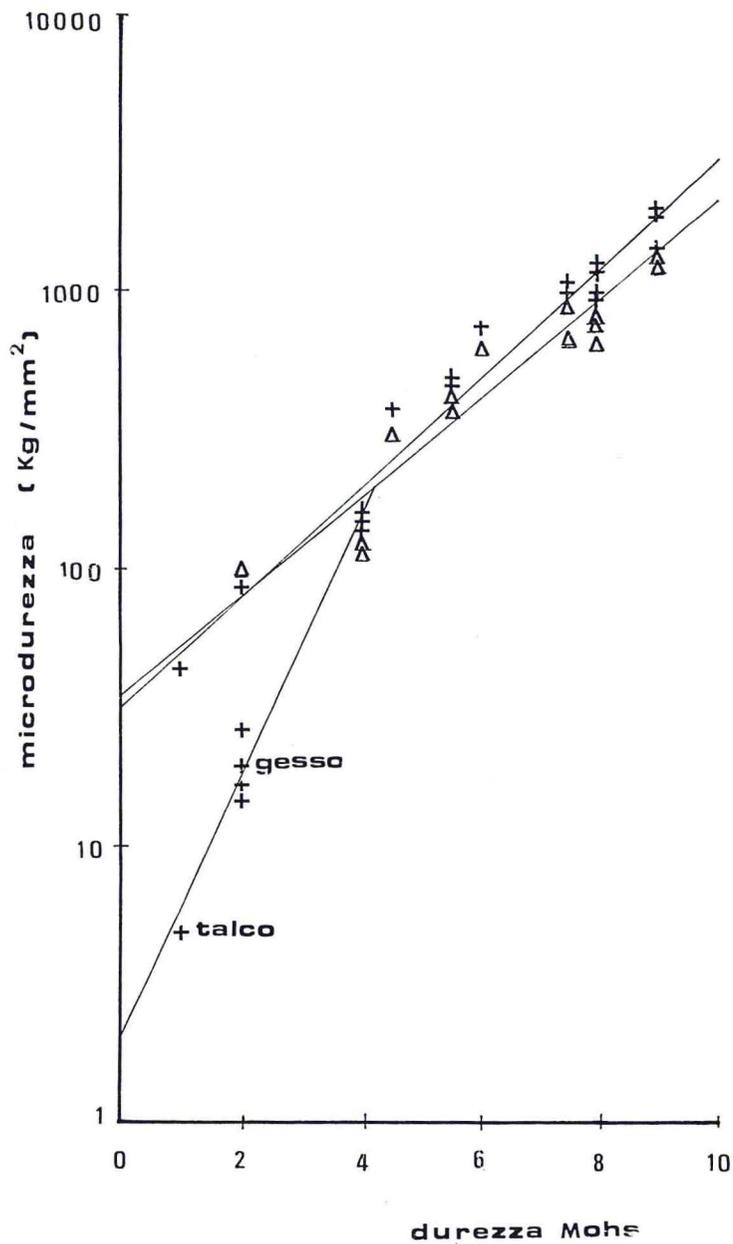
I dati di letteratura relativi al talco ed al gesso (primi termini della scala di Mohs) sono veramente carenti (vedi tabella 2 in LEONI e PETRACCO, 1976): per il talco sono riportati valori variabili da 2.4 a 47 e per il gesso da 36 a 90; secondo la retta estrapolata per questi due minerali si dovrebbero avere valori rispettivamente di 50 e 80 e quindi compresi nell'ambito dei dati di letteratura. Nonostante ciò abbiamo ritenuto utile avere misure di riferimento eseguite presso il nostro laboratorio; i risultati di tipo preliminare sono elencati di seguito:

— Talco - Provenienza: Pinerolo.

Aggregato lamellare squamoso con dimensione massima di circa 5 cm.

HVE = 5.

FIG. I



- Gesso - Provenienza: ?.  
 Cristallo ad abito prismatico lungo circa 9.5 cm.  
 Forma studiata: {111}.  
 Orientazione:  $[10\bar{1}]$ .  
 HVE = 20; HKE = 20.

Se si introducono nel diagramma i dati di talco, salgemma, solfo e gesso risulta evidente — per minerali a bassa durezza — un nuovo allineamento per il quale si calcola la relazione:

$$H = -0.640 + 2.104 \log HVE$$

ottenuta utilizzando come un'unica classe omogenea l'insieme dei dati Vickers e Knoop di questi 4 minerali (indicati tutti nel grafico con crocette) più blenda e fluorite.

Per i termini bassi della scala di Mohs la correlazione con la microdurezza alla penetrazione si presenta perciò alquanto complessa e richiede ulteriore approfondimento; comunque si osserva che, per minerali a bassa durezza e dotati di facili sfaldature (come acido borico, antimonite, talco, gesso), la durezza Mohs risulta assai diversa se misurata in direzioni varie su un monocristallo o su aggregati microcristallini disorientati. Si ritiene essere questa una delle cause dei comportamenti osservati che potranno eventualmente essere chiariti confrontando non tanto i valori di durezza Mohs della letteratura con i rispettivi valori di HVE e HKE quanto le misure di durezza sclerometrica e alla penetrazione eseguite sullo stesso campione in uguali orientazioni.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALBRECHT F. (1954) - On the hardness anisotropy of synthetic corundum. *Z. Kristallogr.*, **106**, 183-190.  
 BONATTI S. (1960) - Le gemme. *Rend. Soc. Min. It.*, **16**, 281-300.  
 BOWIE S. H. U. in ZUSSMAN J. (1967) - Physical methods in determinative mineralogy. Academic Press London and New York, 137.  
 FRANZINI M., TROYSI M. (1978) - Macrohardness derivation from microhardness measurements. *Rend. Acc. Naz. Lincei, Serie VIII*, **65**, 185-189.  
 FRANZINI M., TROYSI M. (1979) - Una proposta per la standardizzazione delle misure di microdurezza: la microdurezza estrapolata. *Rend. Soc. It. Min. Petr.*, **35** (2), 575-579.  
 FRANZINI M., TROYSI M., CECCHINI A. (1981) - La variazione della microdurezza alla

penetrazione in funzione del carico di misura. *Rend. Acc. Naz. Lincei*, in corso di stampa.

- FRANZINI M., TROYSI M., CECCHINI A. (1981) - La microdurezza della fluorite. *Rend. Acc. Naz. Lincei*, in corso di stampa.
- HENRIQUES A. (1957) - The Vickers hardness of zinc blende. *Ark. Miner. Geol.*, **2**, 283-297.
- KAŠPAR P. (1972) - A triaxial ellipsoid for oriented microhardness values in orthogonal minerals. *N. Jb. Miner. Mh.*, H. **10**, 464-468.
- KNOOP F., PETERS C. G., EMERSON W. B. (1939) - A sensitive pyramidal diamond tool for indentation measurements. *Jour. Res. Nat. B. Stand.*, RP 1220, **23**, 39-61.
- LEONI L., PALASCIANO A., TROYSI M. (1976) - Ricerche sulla microdurezza dei silicati. III - I granati. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, Serie A, **83**, 110-120.
- LEONI L., PETRACCO C. (1976) - Ricerche sulla microdurezza dei silicati. Alcuni nesosilicati e sorosilicati. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, Serie A, **83**, 53-73.
- LEONI L., TROYSI M. (1974) - Ricerche sulla microdurezza dei silicati. I - Gli epidoti. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, Serie A, **81**, 397-403.
- MORLIN Z. (1965) - Microhardness measurements on Sodium Chloride Single Crystals. *Phys. Stat. Sol.*, **8**, K 77-79.
- NAKHLA F. M. (1956) - The hardness of metallic minerals in polished sections. *Economic Geology*, **51**, 811-827.
- ROBERTSON F., VAN METER W. J. (1951) - The Kentron microhardness tester, a quantitative tool in opaque mineral identification. *Economic Geology*, **46**, 541-550.
- SINYAKOV V. L. (1966) - Microhardness of magnetite from deposits of diverse origin. *Doklady Akad. Nauk. SSSR*, **169**, 145-147.
- TAYLOR E. W. (1949) - Correlation of the Mohs's scale of hardness with the Vickers's hardness numbers. *Min. Soc. Journ.*, **28**, 718-721.
- WESTBROOK J. H., JORGENSEN P. J. (1968) - Effects of water desorption on indentation microhardness anisotropy in minerals. *Am. Min.*, **53**, 1899-1909.
- WINCHELL H. (1945) - The Knoop microhardness tester as a mineralogical tool. *Am. Min.*, **30**, 583-595.
- WINKLER H. G. F. (1955) - Struktur und Eigenschaften der Kristalle. Springer-Verlag, Berlino, 278.
- YOUNG B. B., MILLMAN A. P. (1964) - Microhardness and deformation characteristic of ore minerals. *Trans. Inst. Min. Metall. (London)*, **73**, 437-466.

(ms. pres. il 20 aprile 1982; ult. bozze il 31 dicembre 1982)