

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

## LA MICRODUREZZA DELLA CELESTINA

**Riassunto** — Le impronte di microdurezza Vickers eseguite sulla celestina si presentano sistematicamente deformate assumendo la forma di un rombo. Tale comportamento sembra imputabile al sistema di sfaldatura di questo minerale per cui l'impronta sarebbe già deformata quando il penetratore è abbassato.

Vengono riportati i dati Vickers e Knoop ottenuti su 6 campioni di celestina osservando come, anche in questo caso, sia difficile trovare una relazione tra i due tipi di penetratore.

**Abstract** — *Celestine microhardness.* Vickers microhardness indentations, performed on celestine crystals, appear systematically deformed according to a rhombic shape. Such a feature is probably related to the cleavage system of the mineral and then the indentation is to be regarded as already deformed when the indenter is still into the crystal.

Vickers and Knoop microhardness data on six celestine samples are reported; they reveal the difficulty to find a clear relationship between Vickers and Knoop indenters for this mineral too.

**Key words** — Celestine, Microhardness, Vickers, Knoop.

### 1 - PREMESSA

In questa nota vengono riportati ed esaminati i dati di microdurezza Vickers e Knoop ottenuti su alcuni campioni di celestina.

Le impronte Vickers eseguite su questo minerale appaiono sistematicamente deformate assumendo forma rombica.

Si è ritenuto opportuno analizzare tale comportamento oltre che fornire dati accurati sul valore delle microdurezze Vickers e Knoop delle celestine.

---

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa.

## 2 - I CAMPIONI STUDIATI

Sono stati presi in esame 6 campioni di celestina, tutti provenienti dal Museo di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Pisa; le loro caratteristiche morfologiche sono descritte in tabella 1.

TABELLA 1

Campione	N. Collezione	Località	Caratteristiche morfologiche
1	137	Castrogiovanni	Cristallo incolore, ad abito prismatico, con dimensione massima di circa 2 cm. Forma presente: {201}.
2	138	Baviera	Cristallo di colore azzurro, abito prismatico, con dimensione massima di circa 8.5 cm. Forme presenti: {001}; {101}.
3	4500	Sicilia	Cristallo incolore, ad abito prismatico, con dimensione massima di circa 1.3 cm. Forma presente: {011}.
4	4501	Sicilia	Cristallo incolore, ad abito prismatico, con dimensione massima di circa 0.5 cm. Forma presente: {001}.
5	4499	Crotone	Cristallo incolore, ad abito prismatico, con dimensione massima di circa 1.9 cm. Forma presente: {011}.
6	1120	Girgenti	Cristallo incolore, ad abito prismatico, con dimensione massima di circa 0.8 cm. Forma presente: {011}.

## 3 - I DATI RACCOLTI

La metodologia di misura utilizzata è descritta in FRANZINI, TROYSI e CECCHINI (1981). Le impronte ottenute sui vari campioni sono ben definite e perfettamente misurabili. Raramente si osservano, per pesi superiori a 200 grammi, fratture che tuttavia non impediscono la corretta misurazione delle diagonali. I lati delle impronte Vickers appaiono quasi rettilinei con deboli concavità secondo l'orientazione dell'impronta.

Nelle tabelle 2 e 3 vengono riportati i valori delle diagonali Vickers e Knoop misurate per i singoli pesi in orientazione a (diagonale dell'impronta - diagonale lunga per l'impronta Knoop - parallela al piano di simmetria sulla faccia) e nella orientazione b (diagonale ruotata di 45° rispetto all'orientazione a).

Le impronte Vickers sono sistematicamente deformate nella orientazione a assumendo sempre l'aspetto di un rombo anziché di un quadrato. Effetti simili di deformazione (con rapporto delle diagonali diverso da 1:7) compaiono anche nelle impronte Knoop in orientazione « a » od in orientazione a questa perpendicolare (orientazione c). A causa della forma propria di rombo allungato delle impronte Knoop il fenomeno non è altrettanto facilmente

TABELLA 2

Campione	Forma	Orientazione	15	25	50	100	200	300	500
1	{201}	a	13.5	16.9	25.0	36.3	53.3	66.2	86.9
		b	12.7	16.7	24.0	33.9	49.9	62.2	85.7
2	{001}	a	13.2	17.1	25.0	37.2	54.2	66.0	87.2
		b	13.0	17.1	24.8	36.9	50.9	64.4	85.0
3	{101}	a	12.8	17.3	25.2	36.9	53.9	67.7	90.9
		b	13.0	17.0	24.6	35.8	51.2	67.0	90.6
4	{011}	a	13.5	17.2	25.2	36.7	54.5	66.9	87.7
		b	13.0	17.2	25.6	36.5	52.6	65.4	88.0
5	{001}	a	12.3	16.2	24.0	35.4	51.7	63.8	83.5
		b	12.2	16.2	24.2	34.8	50.8	63.5	83.5
6	{011}	a	12.4	16.0	22.8	34.2	48.7	63.1	81.7
		b	12.8	16.6	23.8	34.5	50.0	63.4	82.8
6	{011}	a	12.9	17.0	24.6	36.3	52.3	65.4	106.8
		b	13.0	16.8	25.4	36.5	52.3	67.0	102.0

TABELLA 3

Campione	Forma	Orientazione	15	25	50	100	200	300	500
1	{201}	a	32.2	44.6	64.1	93.5	132.8	165.1	216.2
		b	30.0	40.1	62.0	90.3	131.5	168.2	216.8
2	{001}	a	34.5	46.3	70.0	102.8	145.5	181.2	238.0
		b	31.6	42.8	63.2	93.5	136.0	168.3	220.6
3	{101}	a	34.8	47.7	70.0	103.1	151.1	188.2	255.1
		b	33.6	46.5	67.6	96.3	140.6	176.5	228.2
4	{011}	a	38.1	49.9	73.2	104.2	151.3	188.1	244.2
		b	35.5	46.7	67.4	97.0	143.0	177.0	236.8
5	{001}	a	37.0	49.0	70.2	106.5	156.0	191.2	244.1
		b	31.5	43.7	63.0	92.6	133.0	165.7	221.0
6	{011}	a	36.5	48.1	70.1	102.2	147.0	185.0	248.9
		b	33.3	45.7	65.5	93.9	135.1	167.7	219.4
6	{011}	a	38.0	52.0	75.6	113.2	160.6	198.3	255.6
		b	36.0	46.8	70.1	100.0	143.9	179.6	235.1

notabile ma risulta ben evidente misurando ambedue le diagonali di questo tipo di impronte. Nonostante le deformazioni ora descritte le misure risultano altamente riproducibili con deviazioni standard dei valori riportati nelle tabb. 2 e 3 (medie di 4 misure) di 0.4 e 1  $\mu\text{m}$  rispettivamente per dati Vickers e dati Knoop.

Nelle tabelle 4 e 5 vengono riportati i valori di microdurezza estrapolata ( $H_{VE}$  e  $H_{KE}$ ) e del ritiro elastico ( $\sigma_{HVE}$  e  $\sigma_{HKE}$ ) calcolati secondo quanto suggerito da FRANZINI e TROYSI (1979) nonché, in tab. 4, i valori  $HV_1$ ,  $HV_2$ ,  $\sigma$ ,  $p_1$  ricavati utilizzando il modello proposto da FRANZINI, TROYSI e CECCHINI (1981).

TABELLA 4

Campione	Forma	Orientazione	HVE	$\sigma$	$ds_{HVC}$	$HV_1$	$HV_2$	$\sigma$	$P_1$
1	{201}	a	116	3.06	5.70	130	116	1.61	113.79
		b	122	3.64	9.80	137	96	1.98	333.19
	{001}	a	115	2.97	3.54	132	117	1.55	50.69
		b	124	2.47	4.08	133	118	1.48	214.85
2	{101}	a	105	4.36	5.23	116	97	2.94	239.15
		b	107	4.73	9.60	133	98	1.68	197.10
3	{011}	a	113	3.06	4.85	137	115	1.01	73.70
		b	115	3.20	4.44	124	104	2.04	275.56
4	{001}	a	124	3.16	2.66	136	125	2.17	59.63
		b	125	3.26	3.35	135	123	2.29	157.78
5	{011}	a	130	3.30	7.86	166	132	0.77	76.98
		b	128	2.82	6.31	147	125	1.15	148.32
6	{011}	a	81	9.39	16.37	125	53	2.37	287.74
		b	87	7.84	13.80	125	61	2.17	279.37

TABELLA 5

Campione	Forma	Orientazione	HKE	$\sigma$	$ds_{HKE}$
1	{201}	a	144	5.98	2.71
		b	136	10.62	3.65
	{001}	a	117	8.31	1.31
		b	135	8.81	1.64
2	{101}	a	101	13.24	4.79
		b	127	7.42	2.93
3	{011}	a	113	6.32	2.16
		b	120	8.99	5.98
4	{001}	a	109	7.80	3.73
		b	137	8.70	4.02
5	{011}	a	109	10.40	5.69
		b	141	5.67	2.72
6	{011}	a	101	7.12	2.44
		b	122	6.98	2.84

## 4 - DISCUSSIONE DEI DATI

I valori HVE e HKE delle tabb. 4 e 5 sono contenuti in un ristretto intervallo di valori mettendo in evidenza che la microdurezza alla penetrazione della celestina è sostanzialmente uniforme in campioni e orientazioni diverse. Fanno eccezione i dati  $\sigma$  e HVE del campione n. 6 i cui valori anomali sono tuttavia imputabili alla sola misura eseguita con un carico di 500 g che fornisce un dato nettamente in contrasto con quanto ottenuto sugli altri campioni.

Anche i valori di  $\sigma$  per la durezza Vickers (con la solita eccezione del campione n. 6) sono abbastanza simili come d'altronde risulta anche dalla constatazione che, per questo minerale, i valori di  $HV_{100}$  sono piuttosto costanti: la loro variazione è compresa fra 134 e 161 Km/mm<sup>2</sup>.

I valori medi delle coppie di valori HKE nelle orientazioni a e b sono assai simili ai corrispondenti valori medi delle coppie HVE con la tendenza ad essere leggermente superiori. Questo comportamento è coerente con quanto si è osservato in altri minerali a bassa durezza (FRANZINI, TROYSI e CECCHINI, 1982).

Le variazioni di microdurezza in funzione del carico risultano sufficientemente ben interpretate dal modello di ritiro elastico proposto da Franzini e Troysi per i valori Knoop come risulta dai valori osservati della deviazione standard di HKC (colonna 3 tab. 5). Sulla base dell'errore di misura (si veda per il calcolo FRANZINI e TROYSI, 1980) si nota che la deviazione standard calcolata di HKC è di circa 2.

Per i dati Vickers invece il valore calcolato di circa 1.7 risulta notevolmente più piccolo dei valori osservati della d.s. di HVC (colonna 3 tab. 4). In realtà, se si eccettua il campione n. 6, non ci sono prove del tutto conclusive che le variazioni della microdurezza Vickers con il carico debbano, nella celestina, essere interpretate con il modello proposto da Franzini, Troysi e Cecchini. Nella tabella 4 sono stati quindi riportati i valori  $HV_1$ ,  $HV_2$ ,  $\sigma$ ,  $p_1$  secondo il modello citato anche se è opinione degli Autori che un modello di ritiro elastico sia sufficientemente accurato per descrivere il comportamento della celestina.

Nella figura 1 sono rappresentate, esagerandone l'effetto, le deformazioni sistematiche osservate nella forma dell'impronta Vickers in orientazione a sulle diverse facce cristalline studiate.

La forma dell'impronta è coerente con la simmetria della faccia; nella tabella n. 6 sono dati, per il campione 4, i valori della diagonale ( $d_1$ ) — valore medio di quattro misure indipendenti — parallela allo spigolo [100] e di quella perpendicolare allo spigolo stesso ( $d_2$ ). Per queste due serie di misure si possono calcolare separatamente i valori di  $\sigma$  e di HVE (rispettivamente  $HVE_{1-\sigma_1}$  e  $HVE_{2-\sigma_2}$ ). Si ottengono due valori di  $\sigma$  sostanzialmente uguali, il ritiro elastico cioè assume gli stessi valori nelle due direzioni ortogonali considerate e se ne può pertanto concludere che la deformazione osservata dell'impronta non è dovuta ad una anisotropia

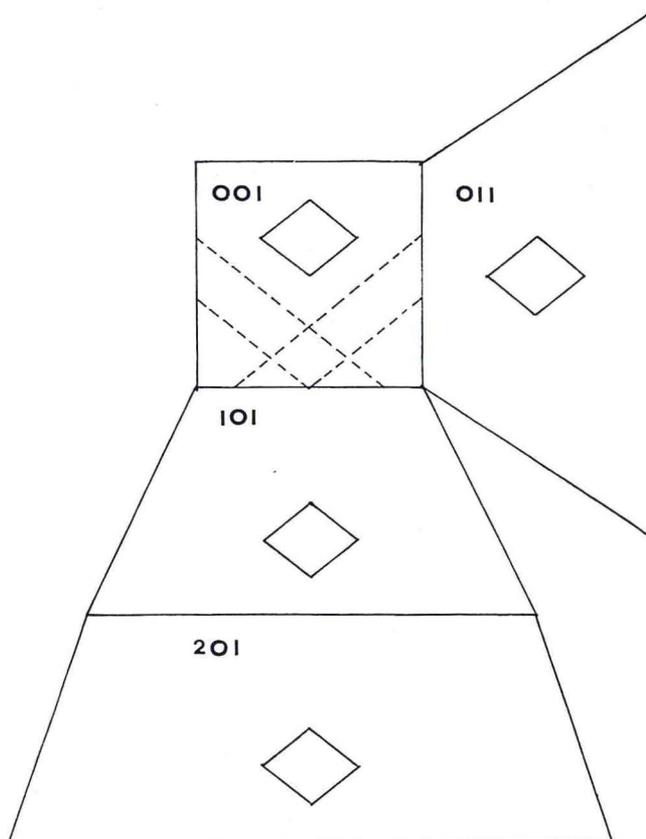


Fig. 1

dell'elasticità residua del mezzo sulla faccia cristallina presa in esame. Come dati di confronto sono state eseguite misure Knoop in orientazione  $c$  (diagonale lunga ortogonale alla orientazione  $a$ ). L'analisi di queste misure ha portato a calcolare ritiri elastici per l'orientazione  $c$  da 2 a 5 volte più grandi di quelli calcolati per l'orientazione  $a$ , mettendo ancora una volta in evidenza come sia difficile confrontare il comportamento della microdurezza Vickers con quello della Knoop.

Nell'ultima colonna della tabella 6 sono dati i valori (rapp.) del rapporto tra le diagonali misurate aumentate del valore di  $\sigma$ ; è da notare che si ottengono dei rapporti abbastanza costanti il cui valore medio definisce la deformazione dell'impronta priva degli

effetti del ritiro elastico cioè la deformazione dell'impronta nel momento in cui il penetratore è abbassato. Gli stessi calcoli sono stati effettuati per gli altri campioni (assumendo sempre  $d_1 < d_2$ ); il valore del rapporto fra le diagonali, come prima definito, è dato nella tabella 7 dalla quale appare come la deformazione dipenda sostanzialmente dalla faccia sulla quale sia stata eseguita l'impronta.

TABELLA 6

Peso in g	$d_1$	$d_2$	rapp.
15	11.2	13.4	1.15
25	14.3	18.0	1.21
50	21.4	26.5	1.21
100	31.4	39.4	1.23
200	46.6	56.7	1.20
300	57.5	70.0	1.21
500	75.5	91.5	1.20

HVE <sub>1</sub>	HVE <sub>2</sub>	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$d_{s_{HVC_1}}$	$d_{s_{HVC_2}}$
151	104	3.16	3.22	6.36	1.08

TABELLA 7

Campione	Forma	HVE <sub>1</sub>	HVE <sub>2</sub>	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$d_{s_{HVC_1}}$	$d_{s_{HVC_2}}$	rapp.
4	{001}	151	104	3.16	3.22	6.36	1.08	1.20
2	{001}	131	102	2.95	3.00	8.92	1.92	1.13
1	{201}	129	104	3.55	2.50	8.58	4.02	1.11
5	{011}	141	120	3.54	3.06	9.08	7.37	1.08
6	{011}	87	76	9.70	9.13	18.37	14.80	1.07
3	{011}	119	108	3.58	2.55	5.86	4.06	1.05
2	{101}	109	101	4.53	4.21	6.46	4.44	1.04

L'analisi dei dati porta quindi a concludere che, nella celestina, l'impronta di microdurezza Vickers non è quadrata già nel momento in cui il penetratore è inserito nel minerale secondo lo schema della figura n. 2.

Una situazione analoga a quella della celestina risulta descritta nella letteratura soltanto da F. Gottardi per la calcite ed imputata a effetti di geminazione meccanica notoriamente facili in quest'ultimo minerale.

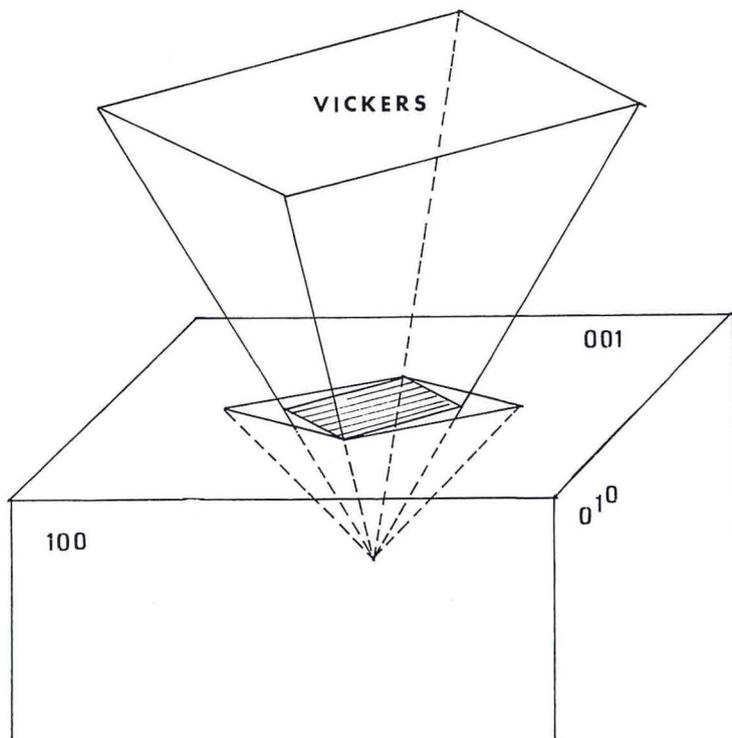


Fig. 2

Non siamo in grado di dare una esauriente spiegazione dei meccanismi che nella celestina producono gli effetti osservati; una ipotesi possibile potrebbe essere che la causa prima sia da ricercarsi nei molteplici sistemi di sfaldatura propri di questo minerale. Con riferimento in particolare alla faccia (001) del campione 4 (nel quale il fenomeno risulta più evidente) si può osservare come la sezione dell'impronta su questo piano sia un rombo con angolo interno di circa  $105^\circ$  misurato direttamente sull'impronta con l'ausilio di un tavolino girevole montato sul microdurimetro, di circa  $102^\circ$  calcolato dalla misura delle diagonali (tab. 2), di circa  $100.4^\circ$  calcolato dal valore 1.20 del rapporto dato in tabella 7 cioè relativo ipoteticamente all'impronta nel momento in cui il penetratore è inserito nel minerale. Questi valori sono da confrontare con l'angolo di  $104^\circ$  formato dalle tracce di sfaldatura.

Impronte eseguite su campioni di baritina e di anglesite hanno

mostrato, per uguali orientazioni, le stesse deformazioni sistematiche descritte nella celestina confermando l'interpretazione prima suggerita.

## 5 - CONCLUSIONI

Le impronte Vickers di microdurezza alla penetrazione nella celestina presentano una deformazione sistematica, l'entità della quale dipende dall'orientazione del piano cristallino saggiato ed è condizionata probabilmente dalla geometria dei sistemi di sfaldatura propri di questo minerale.

Nonostante tali deformazioni i valori di microdurezza sono ben riproducibili, costanti in campioni diversi, poco dipendenti dalla orientazione e dal tipo di penetrazione. Gli intervalli di valori osservati sono rispettivamente 105-130 Kg/mm<sup>2</sup> per HVE e 101-144 Kg/mm<sup>2</sup> per HKE. Secondo la relazione proposta da FRANZINI, TROYSI e CECCHINI (1982) i valori di microdurezza alla penetrazione della celestina corrisponderebbero a valori Mohs compresi fra 3.6 e 3.9.

## BIBLIOGRAFIA

- FRANZINI M., TROYSI M. (1979) - Macrohardness derivation from microhardness measurements. *Rend. Acc. Naz. Lincei*, Serie VIII, **65**, 185-189.
- FRANZINI M., TROYSI M. (1979) - L'effetto del ritiro elastico dell'impronta nelle misure di microdurezza alla penetrazione. II. Discussione ed interpretazione dei dati. *Rend. Acc. Naz. Lincei*, Serie VIII, **66**, 417-422.
- 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.
- FRANZINI M., TROYSI M., CECCHINI A. (1982) - Una serie di minerali come termini di riferimento per la microdurezza alla penetrazione. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, in corso di stampa.

(ms. pres. il 16 dicembre 1982; ult. bozze il 10 luglio 1983)