
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

MARCO FRANZINI, MIRELLA TROYSI, ANNA CECCHINI

La variazione della microdurezza alla penetrazione in funzione del carico di misura

Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 70 (1981), n.6, p. 271–278.

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1981_8_70_6_271_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

SEZIONE II

(Fisica, chimica, geologia, paleontologia e mineralogia)

Mineralogia. — *La variazione della microdurezza alla penetrazione in funzione del carico di misura.* Nota di MARCO FRANZINI (*), MIRELLA TROYSI(**) e ANNA CECCHINI(**), presentata(***) dal Socio G. CAROBBI.

SUMMARY. — A large number of microhardness measurements (about 350/series) performed at seven different weights on 8 samples of metals and alloys as well as on monocrystals of 19 different mineralogical species have been collected. The property values, which cover the wide range from 9 to 2000 Kg/mm², clearly show two different distributions when plotted against the weights applied.

A model to explain such a feature is proposed; the model suggests that in some cases a modification of the material behaviour toward penetration may arise when a certain limit of plastic deformation is overstepped. The modification would cause a sharp decrease in microhardness.

The paper reports data illustrating the cases in which such a behaviour was observed.

1. PREMessa

M. Franzini e M. Troysi [1], riprendendo una ipotesi di M. Franzini [2], hanno proposto un modello che attribuisce la variazione del valore di microdurezza in funzione del carico ad un ritiro elastico dell'impronta, ritiro che si verifica dopo il sollevamento del penetratore e che risulta indipendente dal peso applicato. M. Franzini e M. Troysi [1] tuttavia hanno messo in evidenza come i risultati delle misure di microdurezza Vickers su campioni di stagno, magnesio e blenda non siano riconducibili a tale modello dato che, al di sopra di un certo carico, il materiale cambia le sue proprietà.

Dal 1979 ad oggi sono state eseguite, presso questo Istituto, numerose misure di microdurezza non pubblicate (20 campioni di galena e blenda e 45 campioni di specie mineralogiche diverse [3]), dall'analisi delle quali sono rilevabili altri casi di comportamento anomalo simili a quelli sopra descritti.

Complessivamente, fra dati già pubblicati e dati ancora inediti, sono disponibili circa 350 serie di misure (per un totale di circa diecimila impronte singole) di microdurezza Vickers e Knoop per carichi compresi tra 15 e 500 g; l'esame di queste serie mette in evidenza che, per circa 300 casi, la variazione di microdurezza in funzione del carico è sostanzialmente riconducibile, nei limiti degli errori sperimentali, al modello proposto da M. Franzini e M. Troysi [1] mentre in 50 casi il comportamento è anomalo.

(*) Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Pisa e Centro di Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino - C.N.R. - Pisa.

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

(***) Nella seduta del 26 giugno 1981.

In tutti i casi anomali si osserva che i valori di microdurezza, riportati in un diagramma in funzione del carico come suggerito da M. Franzini e M. Troysi [4], si dispongono secondo due allineamenti dei quali quello relativo alle misure eseguite a carichi maggiori ha pendenza maggiore (fig. 1 in [1]).

Scopo della presente nota è di proporre un modello più generale che sia in grado di interpretare anche questo tipo di comportamento.

2. MODELLO INTERPRETATIVO

Per i campioni « anomali » si possono formulare le seguenti osservazioni qualitative:

- nelle impronte eseguite al di sopra di un certo valore del carico sono visibili modeste fratture che partono dalla periferia dell'impronta stessa (fig. 1). L'insorgere delle fratturazioni si verifica per valori di carico simili a quelli per i quali si osserva il cambio di pendenza nella retta rappresentativa della microdurezza in funzione del peso; raramente queste compaiono a carichi molto più bassi o molto più alti. Nonostante la presenza di fratture le dimensioni delle impronte sono altrettanto riproducibili quanto quelle di impronte non fratturate.

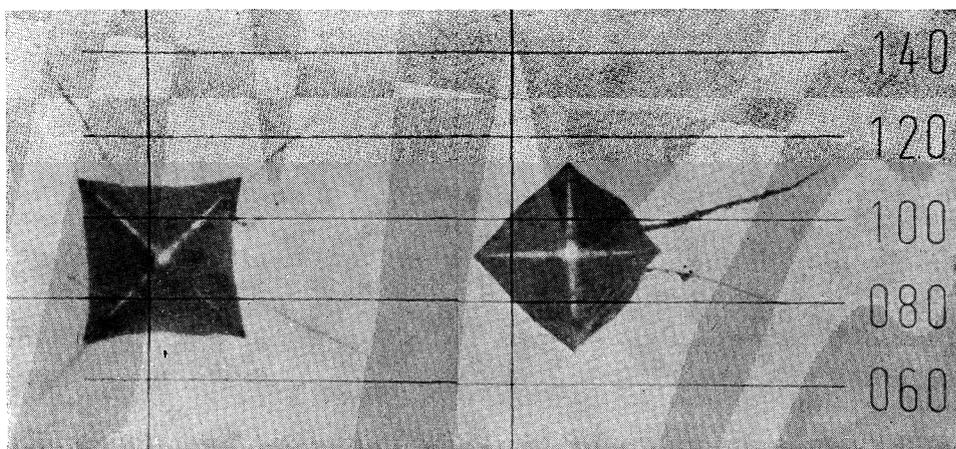


Fig. 1. - Blenda, carico 200 g. Si notano le fratture e la deformazione dei lati.
La scala è in microns.

- anche le impronte accompagnate da fratturazioni manifestano fenomeni di ritiro elastico; esse infatti, dopo il sollevamento del penetratore, non presentano la loro forma teorica, ma appaiono deformate rispettando gli elementi di simmetria della faccia sulla quale sono state eseguite (fig. 1).

I campioni « anomali » mantengono pertanto un comportamento di ritiro elastico ma, dal momento in cui le dimensioni dell'impronta superano un certo valore limite, modificano i meccanismi di deformazione permanente che presiedono al formarsi dell'impronta stessa. Sul piano fenomenologico questa variazione

si registra come diminuzione di durezza accompagnata dall'insorgere di fratture. Immaginiamo allora un corpo caratterizzato da un ritiro elastico σ indipendente dal carico, da una durezza HV_1 per deformazioni totali inferiori o uguali a d_1 (cioè al valore della diagonale per la quale si osserva il cambio di pendenza) e

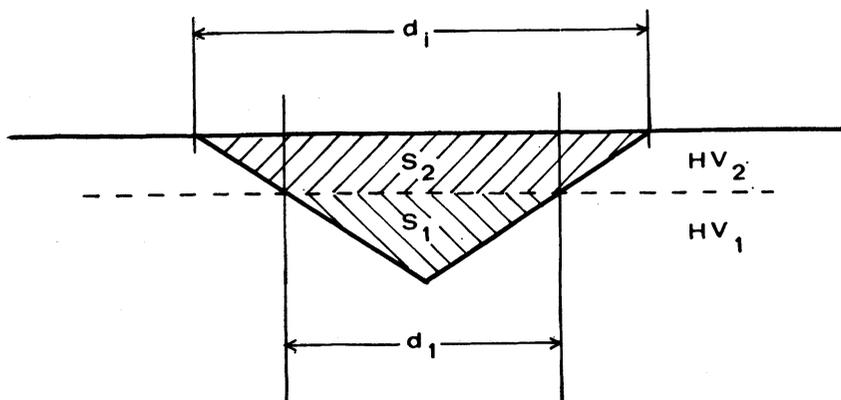


Fig. 2.

da una durezza HV_2 per deformazioni superiori a d_1 . Una impronta di dimensioni superiori a d_1 , eseguita su tale corpo, può essere schematicamente descritta (fig. 2) come data dall'insieme di due porzioni di superficie rispettivamente

$$(1) \quad S_1 = \frac{d_1^2}{k} \quad S_2 = \frac{d_i^2 - d_1^2}{k}$$

in grado di equilibrare due pesi (p_1 e p_2) uguali a

$$(2) \quad p_1 = S_1 HV_1 \quad e \quad p_2 = S_2 HV_2.$$

Il valore p_1 è quello al quale si osserva il cambio di pendenza.

Quindi il peso totale (p_i) di carico del penetratore equilibrato dall'impronta è dato da

$$(3) \quad p_i = p_1 + p_2 = \frac{d_1^2}{k} HV_1 + \frac{d_i^2 - d_1^2}{k} HV_2$$

da cui si ricava

$$(4) \quad d_i = \sqrt{\frac{k}{HV_2} \left(p_i - p_1 \frac{HV_1 - HV_2}{HV_1} \right)}$$

Per $d_i < d_1$ la (4) si riduce a

$$(5) \quad d_i = \sqrt{\frac{kp_i}{HV_1}}$$

Detta D_i la diagonale dell'impronta quale si osserva dopo il ritiro del penetratore, si ha:

$$(6) \quad D_i = d_i - \sigma.$$

La (6) è un'espressione più generale che contiene, come caso particolare, quella precedentemente utilizzata da M. Franzini e M. Troysi; essa è valida nell'ipotesi che il valore di σ sia indipendente dal carico anche per campioni a comportamento « anomalo ». Questa ipotesi, non verificata sperimentalmente,

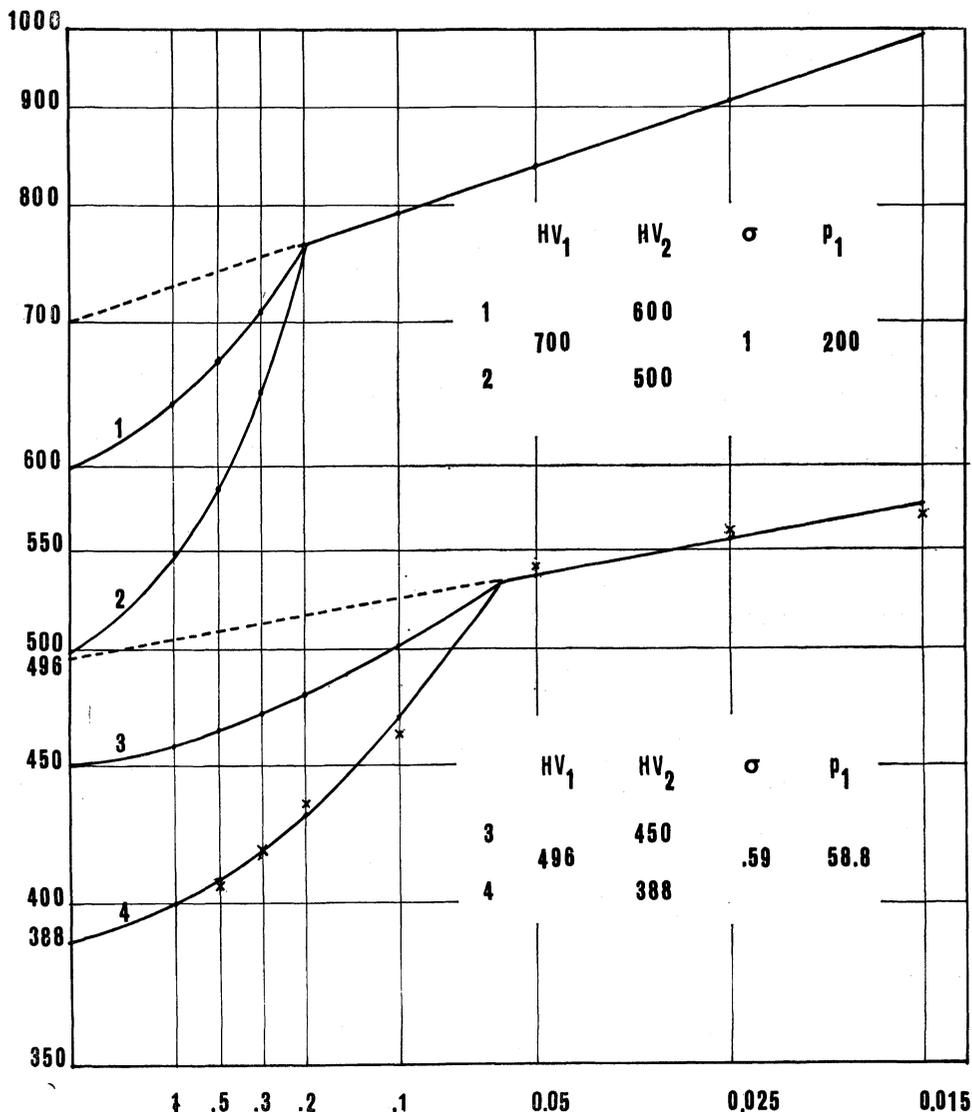


Fig. 3. - Valori di microdurezza Vickers (ordinate) per carichi espressi in Kilogrammi (ascisse) e per diversi valori delle variabili. Le crocette rappresentano i valori di microdurezza osservati sperimentalmente per il campione Colemanite 8 b Vickers b.

viene formulata perché modelli meno schematici non potrebbero essere provati in base ai dati sperimentali disponibili. HV_1 e HV_2 hanno significato di durezza estrapolate.

La figura 3 mostra l'andamento dei valori di microdurezza che il modello proposto permette di calcolare per i diversi valori delle variabili indicati nella figura stessa. La linea 4 si riferisce ad un caso sperimentalmente osservato.

La (6) rappresenta un sistema di equazioni non lineari rispetto alle variabili HV_1 , HV_2 , σ , p_1 che può essere risolto con metodi iterativi.

Nella soluzione del sistema (6) alle singole equazioni del sistema è stato assegnato un peso (a_i) inversamente proporzionale all'errore statistico di misura (ϵ).

La valutazione della validità del modello è affidata al calcolo del parametro:

$$(7) \quad R_1 = [\sum a_i (D_i^m - D_i^c)^2 / \sum a_i]^{1/2}$$

dove con D_i^m si indicano le diagonali misurate e con D_i^c le diagonali calcolate.

3. DATI SPERIMENTALI

Il modello proposto è stato applicato a dati già misurati e ripresi sia da [1] sia da [3].

Per le impronte Vickers l'errore statistico di misura è compreso tra 0.1 e 0.15 μm mentre per le Knoop tra 0.5 e 1.5 μm .

Nel calcolo del sistema di equazioni (6), quindi di R_1 , per le misure Vickers sono stati usati pesi unitari e per le misure Knoop peso 2 per carichi compresi tra 15 e 300 g e peso 1 per $p = 500$ g.

In Tabella 1 sono riportati i dati relativi ai singoli campioni ed i valori ricavati dai calcoli eseguiti. Ogni serie di risultati è ottenuta da 7 misure (ripetute almeno 4 volte) effettuate con pesi di 15, 25, 50, 100, 200, 300, 500 g; per lo stagno mancano le misure a 300 e 500 g. Nella prima colonna vengono riportati il nome del minerale, il numero che lo identifica nel riferimento bibliografico, la faccia sulla quale sono state eseguite le misure nonché lo spigolo corrispondente all'orientazione dell'impronta. Nella seconda colonna viene indicato il tipo di penetratore utilizzato e nella terza colonna se la diagonale dell'impronta (la maggiore per il penetratore Knoop) è parallela (a) o a 45° (b) dallo spigolo di colonna 1.

Seguono i valori di HV_1 , HV_2 , σ e p_1 . Le colonne 8 e 9 riportano HVE e σ calcolati per ogni campione secondo il modello di M. Franzini e M. Troysi [1]. Le colonne 10 e 11 danno rispettivamente il valore di R_1 definito nella (7) e l'analogo valore R_2 calcolato con riferimento ai dati delle colonne 8 e 9.

TABELLA I.

CAMPIONE	H		HV ₁	HV ₂	σ	p_1	HVE	σ	R ₁	R ₂
Magnesio	V		47	36	3.16	206.1	39	7.23	0.07	2.21
Blenda {111}	V		210	172	0.42	132.4	174	2.32	0.11	0.62
Stagno	V		15	9	4.51	40.2	9	21.12	1.05	2.34
Colemanite 8b {110} [001]	V	a	402	302	1.49	347.6	370	2.20	0.16	0.60
	V	b	496	388	0.59	58.8	374	2.16	0.08	0.29
	K	a	361	296	3.63	63.4	289	7.64	0.29	0.78
Magnetite 9b {111} [110]	V	a	588	501	0.33	112.3	502	1.25	0.12	0.31
	V	b	593	469	0.23	151.6	485	1.46	0.19	0.49
	K	a	380	348	6.60	346.0	371	7.18	0.69	0.82
	K	b	450	331	4.49	324.5	485	6.83	0.15	6.90
Titanite 11a {001} [010]	V	a	892	796	1.08	186.2	629	4.50	0.13	1.49
	V	b	916	778	1.15	80.8	768	1.92	0.07	0.19
	K	a	694	588	6.36	161.4	607	8.47	0.10	0.85
	K	b	716	646	5.57	90.9	642	7.12	0.25	0.51
Ematite 12b {10 $\bar{1}$ 1} [10 $\bar{1}$ 0]	V	a	978	748	0.83	357.9	908	1.23	0.12	0.35
	V	b	1216	878	-0.22	164.0	927	0.98	0.13	0.48
	K	a	718	431	5.96	461.1	686	6.74	0.62	0.87
	K	b	949	811	3.20	273.2	885	4.23	0.23	0.74
Rutilo 13b {110} [001]	V	a	1449	902	0.08	176.7	1005	1.47	0.10	0.72
	V	b	1170	929	0.86	149.3	955	1.74	0.09	0.32
	K	a	1031	940	4.55	251.7	983	5.20	0.21	0.45
	K	b	1075	837	4.42	122.3	843	7.43	0.29	1.01
Zircone 14b {110} [001]	V	a	1612	896	0.56	187.4	962	1.38	0.27	1.87
	K	a	929	676	3.36	95.2	672	7.52	0.58	1.30
	K	b	846	644	6.53	152.7	679	9.65	0.86	1.41
Magnetite 9a {110} [111]	K	b	453	446	5.05	213.3	449	5.26	0.13	0.17

4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Dalla Tabella 1 si osserva innanzitutto che R₁ è sempre minore di R₂, fatto d'altronde implicito nel diverso numero di variabili utilizzato nei due modelli.

Si nota inoltre che per le misure Vickers R₁ è inferiore a 0.2 μ m, con l'unica eccezione dello zircone 10 b (0.27) e dello stagno (1.05). Per quanto riguarda lo

stagno si deve notare che, a causa della bassa durezza di questo materiale, le impronte sono molto grandi e quindi i valori medi di ϵ - dati nel precedente paragrafo - non sono applicabili.

Per le misure Knoop il valore di R_1 è sempre inferiore a $0.86 \mu\text{m}$ e per quasi tutti i campioni è inferiore a $0.5 \mu\text{m}$.

In conclusione, in una serie di materiali molto diversi con durezze comprese tra circa 40 Kg/mm^2 e circa 1000 Kg/mm^2 , il valore di R_1 è comparabile alla deviazione standard delle misure.

Una seconda osservazione che può essere fatta è che i valori delle variabili calcolate hanno sempre un senso fisico accettabile, ad esclusione del valore negativo di σ (-0.22) nell'ematite 12 b Vickers b; si ritiene tuttavia che questo dato non sia significativo a causa del suo piccolo valore assoluto.

Per quanto concerne il confronto fra misure Vickers e Knoop si osserva il dato ben noto, e che non si intende qui approfondire, che le microdurezze Knoop (valori estrapolati HK_1 e HK_2) sono inferiori alle corrispondenti Vickers e caratterizzate da un maggior valore di σ ; si può notare che in questo modello il valore di σ , per come è stato introdotto, non ha un senso fisico ben definito, ma il constatare che per le microdurezze Knoop esso è sempre maggiore del corrispondente Vickers, indica che i valori calcolati sono probabilmente abbastanza reali. Inoltre si può mettere in evidenza che non appaiono relazioni significative tra i valori di p_1 per le misure Vickers e Knoop corrispondenti.

Riguardo alle relazioni tra microdurezza e macrodurezza si ritiene che quest'ultima proprietà sia meglio rappresentata dal valore di HV_2 che non da quello di HV_1 . Dato che la variazione dei comportamenti può talvolta avvenire per pesi superiori a 500 g , ed in tal caso non è registrabile nelle sperimentazioni da noi condotte, il valore di HVE non è necessariamente assimilabile alla macrodurezza, però questo aspetto del problema richiede ulteriore approfondimento sperimentale.

L'ultima riga della Tabella riporta, come esempio, l'applicazione del modello proposto in questa nota ad un campione (Magnetite 9 a) i cui dati sono ben interpretabili anche con il modello di M. Franzini e M. Troysi [1]: da essa si può osservare che HV_1 e HV_2 differiscono assai poco tra loro e che la piccola differenza tra R_1 e R_2 non permette di scegliere l'uno o l'altro modello. Si deduce quindi che per descrivere il comportamento di campioni di questo tipo, sono soddisfacenti tanto i dati HVE e σ quanto i dati HV_1 , HV_2 , σ e p_1 (però, in questi casi, p_1 perde significato).

5. CONCLUSIONI

L'esame di misure di microdurezza Vickers e Knoop, eseguite in diverse orientazioni su numerosi campioni di diversi materiali di durezza alla penetrazione compresa tra circa 9 e circa 2000 Kg/mm^2 , ha messo in evidenza che i due diversi andamenti sperimentalmente riscontrabili del valore della microdurezza

in funzione del peso, per carichi compresi fra 15 e 500 g, sono riconducibili ad un unico modello che rappresenta una generalizzazione di quello precedentemente proposto da M. Franzini e M. Troysi [1].

In questo nuovo modello si assume che, superato un certo limite di deformazione plastica, i comportamenti dei materiali alla penetrazione si modifichino manifestando una diminuzione del valore di durezza.

Nell'insieme delle misure raccolte presso questo Istituto non si hanno per ora esempi che non siano inquadrabili nel modello proposto.

La complessità riscontrata nel comportamento dei materiali esaminati induce ancora una volta a suggerire una estrema cautela nell'uso classico dei valori misurati a 100 g, sia per scopi descrittivi di questa proprietà sia applicati alla diagnosi dei minerali o a valutazioni di proprietà tecnologiche dei materiali.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. FRANZINI e M. TROYSI (1979) - *L'effetto del ritiro elastico dell'impronta nelle misure di microdurezza Vickers e Knoop. II. Discussione e interpretazione dei dati*, « Rend. Acc. Naz. Lincei », Serie VIII, 66, 417-422.
- [2] M. FRANZINI (1966) - *Ricerche sulla microdurezza dei minerali*, « Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. », Serie A, 73, 3-12.
- [3] A. CECCHINI (1980) - *Ricerche per la preparazione di una scala di microdurezza alla penetrazione*. « Tesi, corso di laurea in Scienze Geologiche, Università di Pisa, anno accademico 1979/80 », pp. 156, tabb. 54 e graff. 108 fuori testo.
- [4] M. FRANZINI e M. TROYSI (1979) - *Macrohardness derivation from microhardness measurements*, « Rend. Acc. Naz. Lincei », Serie VIII, 65, 185-189.