

ASPETTI SHOCK METAMORFICI IN UNA CONDRITE L

RIASSUNTO. — ANDERS (1964) e HEYMANN (1967), in base a dati sperimentali, hanno ipotizzato che 520 milioni di anni fa molte condriti ipersteniche sarebbero state soggette a violento shock metamorfico. Per rilevare eventuali effetti attribuibili alle onde d'urto e ai successivi effetti secondari, abbiamo studiato, a mezzo di microscopia ottica, la tessitura e la microtessitura della meteorite caduta in VALDINIZZA, Pavia, il 12 luglio 1903. Abbiamo riscontrato buona evidenza di deformazioni elastiche, di origine primaria e secondaria, e così pure per ciò che riguarda i fenomeni loro connessi. Le microdeformazioni, con aspetto di bande e lamelle, sono diffuse. Tra i composti diaplettici è stata notata la maskelynite, mentre alla analisi della porzione metallica è stata rilevata abbondanza della fase γ rispetto alla α ; diversi i prodotti di trasformazione martensitica.

I risultati della nostra ricerca dimostrano l'intenso shock subito da questa condrite e possono esser considerati una conferma dell'assunto di Anders e Heymann.

SUMMARY. — According to ANDERS (1964) and HEYMANN (1967) at least one-third of all the hypersthene chondrites were certainly involved in a severe collision 520-Myr ago and another one-third probably so. In order to detect possible features of shock metamorphism, the texture and the microtexture of the VALDINIZZA, Pavia, Italy, chondrite (July 12, 1903) have been inspected by optical microscopy. The lithic and the metallic portions of the stone show evidence of fracturing, cracking and microfaulting. Mosaicism is diffused and veining prominent. Several types of planar features have been observed: interesting deformation bands and deformation lamellae have been noted in olivine as well in plagioclase grains. The presence of maskelynite is also significant. The stone is rich of taenite, considered by many Authors a metamorphic product; several martensitic transformation structures have been revealed by the etching of the metallic phases.

VALDINIZZA is then belonging to a class of chondrites that suffered particularly by shock metamorphism. Our results appear to be a confirmation of the shock theory.

1. - Premessa.

Molti ricercatori europei e americani si sono interessati in questi ultimi anni del metamorfismo da shock e, affrontando il problema sia dal punto di vista teorico che sperimentale, hanno proposto alla atten-

zione di noi tutti nuovi interessanti temi di studio. Nell'ambito di tali ricerche ANDERS (1964), HEYMANN (1967), TURNER (1968) ed altri hanno preso in considerazione diverse meteoriti a struttura condritica. Determinando il rapporto isotopico dei prodotti di decadimento radioattivo (metodi: (U, Th)-He, K-Ar e $\text{Ar}^{39}\text{-Ar}^{40}$), con l'uso dello spettrografo di massa, questi Studiosi hanno potuto stabilire che gran parte delle condriti ipersteniche, condriti L secondo UREY e CRAIG (1953), sarebbero state soggette 520 ± 10 milioni di anni fa a degassamento accidentale, attribuibile ad un urto violentissimo e conseguente metamorfismo da shock. Dobbiamo invece alla perizia di alcuni petrologi (v. ad es. BUNCH, 1968; CARTER, 1968; ENGELHARDT e STÖFFLER, 1968; etc.) l'aver messo in evidenza particolari aspetti, propri della tessitura e microtessitura di rocce, che siano state sottoposte all'effetto di onde d'urto di grande intensità. Lo shock sarebbe caratterizzato da picchi di pressione, valutati a diversi megabars, mentre è stato dimostrato che localmente si raggiungerebbero elevatissime temperature. La durata del fenomeno viene valutata dell'ordine del microsecondo.

Durante i nostri studi sulla petrologia delle condriti abbiamo più volte rilevato aspetti attribuibili genericamente a fenomeni shock metamorfici, ma considerato l'interesse e l'attualità dell'argomento, ci è parso ora opportuno esaminare in più specifico dettaglio la tessitura e la microtessitura di una condrite L, per meglio valutare gli effetti della collisione cosmica, ipotizzata da Anders e Heymann.

2. - Il materiale esaminato.

Quale materiale di studio è stato scelto un esemplare completo (872,4 g) della meteorite caduta in *Valdinizza*, Pavia (long. $9^{\circ}9' \text{E}$., latit. $44^{\circ}52' \text{N}$.), il 12 luglio 1903 (MELI, 1906 e 1908). Esso è conservato presso il United States National Museum di Washington, D.C., USA (N° di catalogo 1450) e solo recentemente è stato descritto sia dal punto di vista mineralogico che chimico (LEVI-DONATI e JAROSIEWICH, 1971). La meteorite è classificabile fra le condriti ordinarie equilibrate del gruppo L di UREY e CRAIG (1953), e ciò in considerazione del contenuto totale di ferro (20,83%) e della percentuale molecolare di fajalite ($\text{Fa} = 24\text{-}25 \text{ mole } \%$). Essa è stata inoltre ascrivita al tipo 6 della classificazione di VAN SCHMUS e WOOD (1967), poiché

mostra, per quanto riguarda la struttura, un forte grado di ricristallizzazione, non esente da aspetti shock metamorfici. Abbiamo pertanto ritenuto questa meteorite corrispondere particolarmente bene alle esigenze della presente ricerca.

3. - Esame microscopico.

Sono state sottoposte ad ispezione microscopica sia la porzione litica, che le fasi metalliche della condrite di Valdinizza. A tal fine sono state esaminate due sezioni sottili (circa 7 cm² di superficie totale) e una sezione lucida, preparate presso la Smithsonian Institution di Washington.

La ricerca si è svolta su tre temi distinti:

- a) deformazioni elastiche (di origine primaria e secondaria) e fenomeni loro connessi;
- b) microdeformazioni;
- c) prodotti di metamorfismo da shock.

Riportiamo qui di seguito i risultati ottenuti.

- a) *Deformazioni elastiche (di origine primaria e secondaria) e fenomeni loro connessi.*

La nostra analisi è iniziata con alcune osservazioni sulla tessitura del frammento meteoritico. In particolare abbiamo dapprima focalizzato la nostra attenzione sui fenomeni di frattura ('fracturing'): siamo infatti del parere che questi possano ritenersi gli effetti di più immediata evidenza del metamorfismo da shock. Concordando poi con le opinioni espresse da diversi Autori (v. ad es. CHAO, 1968), possiamo interpretare tali fenomeni come manifestazioni primarie dell'urto originale, che possono essere provocate da onde di bassa o media intensità.

Come è possibile rilevare dalla fig. 1, i fenomeni di frattura sono nella tessitura della meteorite di Valdinizza, particolarmente evidenti e si possono distinguere:

- 1) *fratture ad andamento irregolare*, che spesso attraversano interi cristalli, propagandosi qualche volta oltre i margini dei grani ed estendendosi anche dalla porzione litica alla metallica della roccia meteoritica, e

2) *fratture ad andamento regolare*: le tracce dei piani di sfaldatura sono spesso infatti nettamente apprezzabili e, come nel caso del cristallo olivinic in esame, si intersecano con evidente regolarità.

Confrontando queste nostre osservazioni con i dati sperimentali forniti da CARTER et al. (1968), da HÖRZ (1968) e da altri Autori, dati ottenuti sottoponendo idonei materiali a shock prodotti artificial-



Fig. 1. — Un cristallo idiomorfo di olivina con fratture ad andamento regolare ed irregolare.
Luce trasmessa, nicols //

mente, possiamo precisare che questi effetti d'urto si sarebbero originati in seguito ad istantanei aumenti di pressione, il cui valore, superando i 100-120 kb, sarebbe compreso fra i 150 e i 200 kb.

Se si sposta poi l'osservazione dalla porzione litica alla metallica, possiamo scegliere quale eccellente materiale di indagine la cromite, che si dimostra nei nostri campioni di eccezionale fragilità. La fig. 2 presenta un granulo di cromite, che mostra evidenti segni di metamorfismo da shock in due posizioni: *a* e *b*. Attorno al punto *a* si può notare una raggiera di piccole fratture e, a distanza di una ventina di microns, una e più linee di rottura, ad andamento curvo, che ap-

paiono centrate intorno al punto *a*. Queste si intersecano con altre centrate nel punto *b*. L'andamento di queste tracce richiama alla mente i fronti di propagazione delle onde di pressione e tensione. In questo caso osserviamo anche, e non è infrequente, uno spostamento di materiale: infatti il frammento *c*, in origine presumibilmente facente parte del granulo, in seguito alle sollecitazioni meccaniche subite, non

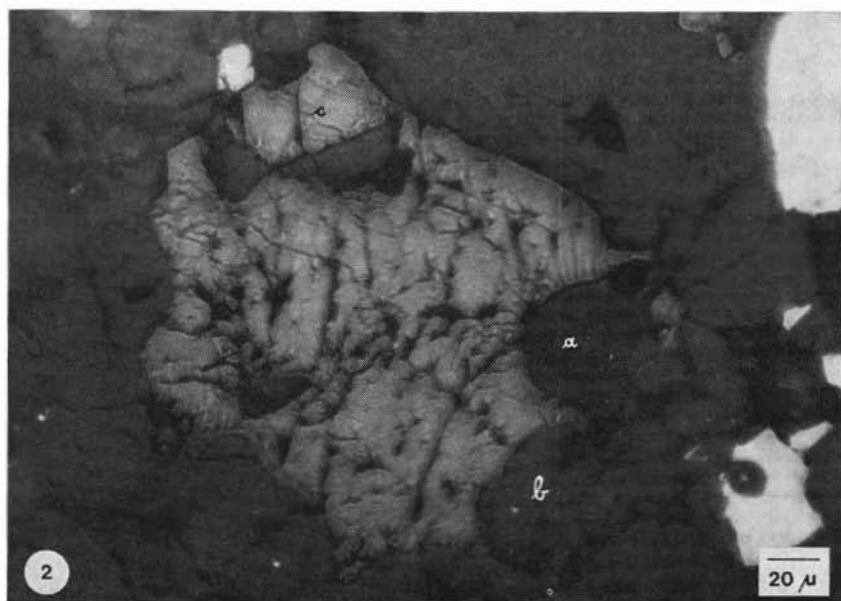


Fig. 2. — Un granulo di eromite, che mostra in *a* e in *b* due posizioni d'urto e nel suo interno molte linee curve di frattura. Il frammento *c*, in seguito alle sollecitazioni subite, risulta chiaramente spostato per un angolo di vari gradi.

Luce riflessa, nicols //.

solo si è rotto e distaccato, ma risulta chiaramente spostato di un angolo di vari gradi. In alcuni punti, in cui presumibilmente si è generata una altissima concentrazione di energia, si nota la presenza di materiali non-cristallini, la cui origine può essere connessa, come meglio si vedrà oltre, con forti elevazioni di temperatura e pressione.

Nell'ambito poi degli spostamenti di materiale è da segnalarsi la frequente presenza di caratteristiche microfaglie ('microfaults'), che rendono ancor più evidente il comportamento fragile della roccia me-

teorica sottoposta agli effetti d'urto. La fig. 3 mostra la porzione centrale di una condruola fibrosa; le frecce indicano una zona soggetta a più sentiti sforzi meccanici: si noti infatti qui un generale incurvamento delle fibre, mentre a destra e a sinistra si evidenziano due linee di faglia.

Non è tuttavia logico attribuire solo ed esclusivamente all'azione diretta dell'onda di shock la presenza di tutte le deformazioni cla-

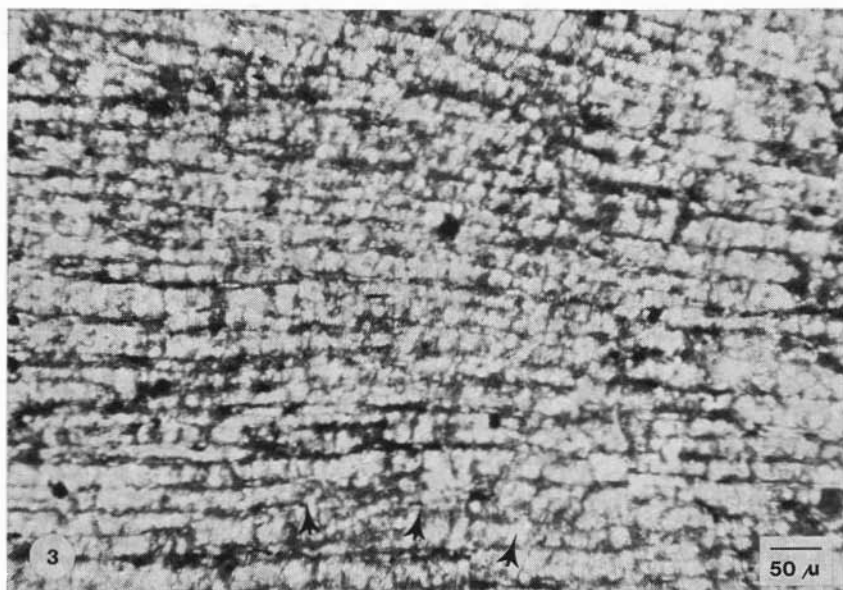


Fig. 3. — Il centro di una condruola fibrosa soggetta a sforzi meccanici. Si noti l'incurvatura delle fibre e, a destra e a sinistra, due linee di faglia.

Luce trasmessa, nicols //

stiche osservate. A forte ingrandimento infatti, sia nei cristalli olivini (fig. 4) e pirossenici, sia nei granuli metallici della meteorite di Valdinizza, si notano, distintamente diffuse, interessanti microfratture, dette 'cracks' dagli Autori anglosassoni. In alcuni punti esse appaiono anche variamente ramificate, ma sono sempre brevi e terminano e si risolvono entro i margini dei grani. E' possibile pensare che l'origine di almeno molte di queste microfratture possa essere connessa con stati di tensione localizzati, verificatisi nella massa della meteorite a seguito

dell'urto primitivo, come fenomeni di rilassamento. Interpretando così il fenomeno, a noi sembra di poter concludere che i 'cracks' siano da considerarsi quali « deformazioni elastiche secondarie ».

Accertato dunque, durante questa prima fase dell'indagine petrologica, che alcune zone della meteorite di Valdinizza presentano aspetti caratteristici di un metamorfismo da shock di bassa o media intensità, rivolgiamo ora il nostro interesse verso gli effetti d'urto



Fig. 4. — Microfratture (« cracks ») in un granulo di olivina.

Luce trasmessa, nicols //

causati da onde di intensità elevate, chiaramente identificabili in altri aspetti dell'esemplare in esame.

Si può ad esempio osservare spesso che la roccia non si è soltanto rotta, microfagliata e microfratturata, ma anche che i piccoli cristalli si sono meccanicamente disorientati, gli uni rispetto agli altri, dando origine a caratteristici mosaici (fig. 5). Gli Studiosi americani hanno chiamato questo fenomeno 'mosaicism' e CARTER et al. (1968) precisano che solo uno shock metamorfico di alta intensità può dar origine

a strutture di questo genere. Gli istantanei aumenti di pressione sono valutati in questo caso compresi fra i 250 e i 500 kb e il 'grado di deformazione' manifestato dai cristalli olivinici è, seguendo la terminologia generalmente in uso, molto forte ('very heavy' = VH).

E' poi significativa a tal riguardo la presenza di globuli metallici (fig. 6), che, con un diametro di circa 5μ , sono osservabili a

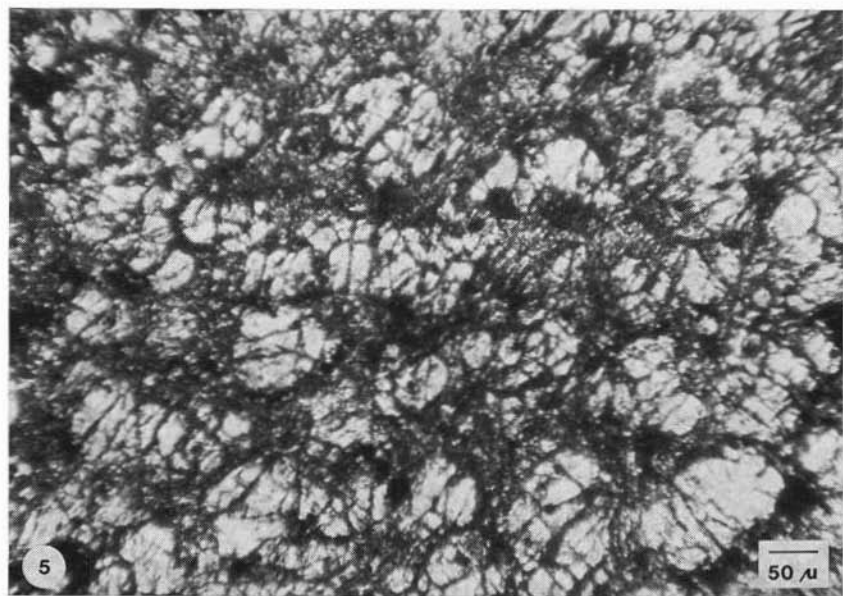


Fig. 5. — Un mosaico di cristalli olivinici immersi in una matrice microcristallina e meccanicamente disorientati gli uni rispetto agli altri.

Luce trasmessa, nicols //

forte ingrandimento in seno alla massa litica della meteorite in esame. A questo proposito è interessante ricordare che FREDRIKSSON et al. (1963) ottennero globuli metallici di queste dimensioni sottoponendo sperimentalmente rocce meteoritiche a picchi di pressione sino a valori di 800 kb.

Questi risultati indicano dunque già positivamente che la meteorite di Valdinizza ha sofferto di uno shock metamorfico manifestatosi più violentemente in alcuni punti che in altri, come appare d'altronde logico considerando la disomogeneità del materiale e le pos-

sibili riflessioni interne delle onde; ma vi sono altri dati, riguardanti fenomeni connessi con le deformazioni elastiche, che possono suffragare tale tesi.

Se passiamo infatti a considerare, sempre nella tessitura della meteorite di Valdinizza, la presenza di vene metalliche ('veining'), notiamo che esse si estendono, con vario diametro, attraverso tutta la

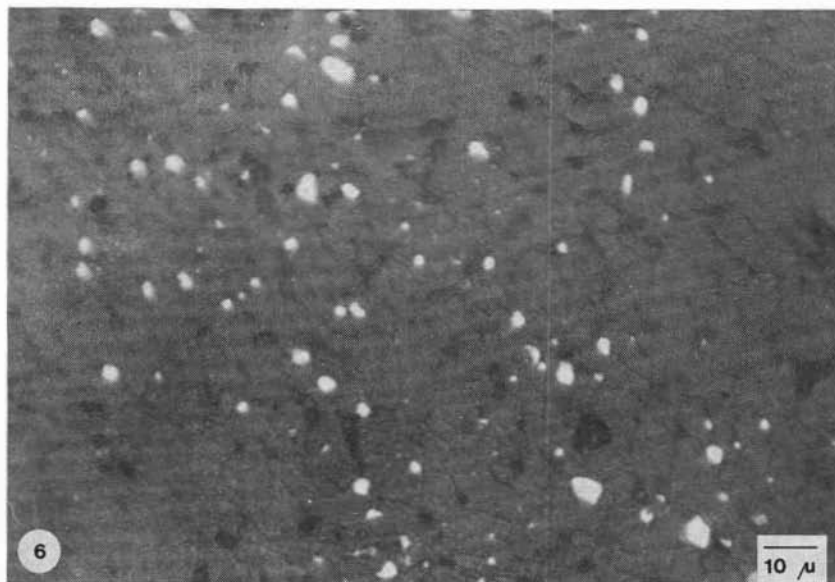


Fig. 6. — Globuli metallici nella massa fondamentale della meteorite di Valdinizza.
Luce riflessa, nicols //.

massa ispezionata. Le vene più larghe (50-100 μ di diametro) (fig. 7) sono generalmente sinuose e spesso mostrano inclusi olivinici e piro-senici. Le più piccole, vere e proprie venule, del diametro di 5-20 μ , hanno struttura caratteristicamente zigzagata. Questo aspetto particolare può essere attribuito a fenomeni da shock, avvenuti in un ambiente (la massa della meteorite) in condizioni di relativa bassa pressione (50-90 kb). La formazione delle vene in generale sarebbe da considerarsi poi connessa, come effetto secondario, con i fenomeni di frattura ricordati.

Un altro dato di un certo rilievo può essere offerto dalla osser-

vazione di diversi cristalli idiomorfi e mesomorfi di olivina e pirosseno: essi mostrano infatti evidente estinzione ondulosa (fig. 8), anomalia che, come è ben noto, è da connettersi con fenomeni di tensione interna e di distorsione della struttura cristallina, frequenti anche nelle più comuni rocce metamorfiche terrestri. Possiamo tuttavia precisare qui che, da determinazioni fatte su vari grani, nella meteorite

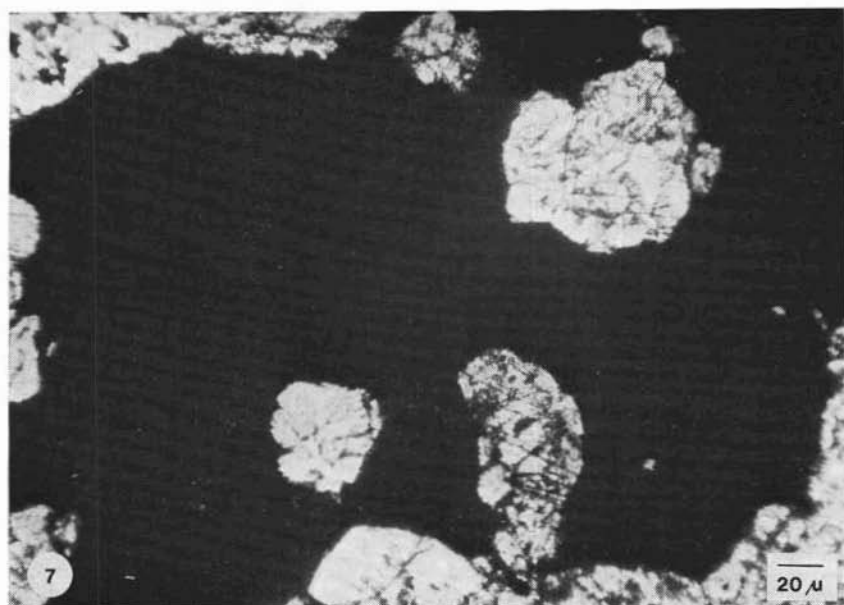


Fig. 7. — Inclusi olivini e pirossenici in una larga vena metallica.

Luce trasmessa, nicols //.

di Valdinizza il «grado di estinzione ondulosa» manifestato dai singoli individui varia dall'uno all'altro sensibilmente: in particolare i cristalli non fratturati presentano generalmente estinzione ondulosa in maniera più marcata di quella dei granuli soggetti a rottura. Questa osservazione è in buon accordo con alcune misure fatte da GOLD (1968) e potrebbe confermare l'ipotesi che, quando si stabiliscono condizioni di shock sufficienti a causare rottura, l'energia si disperde a livello delle discontinuità, piuttosto che venir impiegata nella produzione delle distorsioni di struttura cristallina, rivelate appunto dalla estinzione ondulosa.

b) *Microdeformazioni.*

Durante la seconda parte della nostra ricerca abbiamo presa in considerazione la microtessitura della meteorite di Valdinizza. Più specificatamente ci siamo interessati dei cosiddetti aspetti planari ('planar features'), definiti da Hörz (1968) come «microdeformazioni inusuali

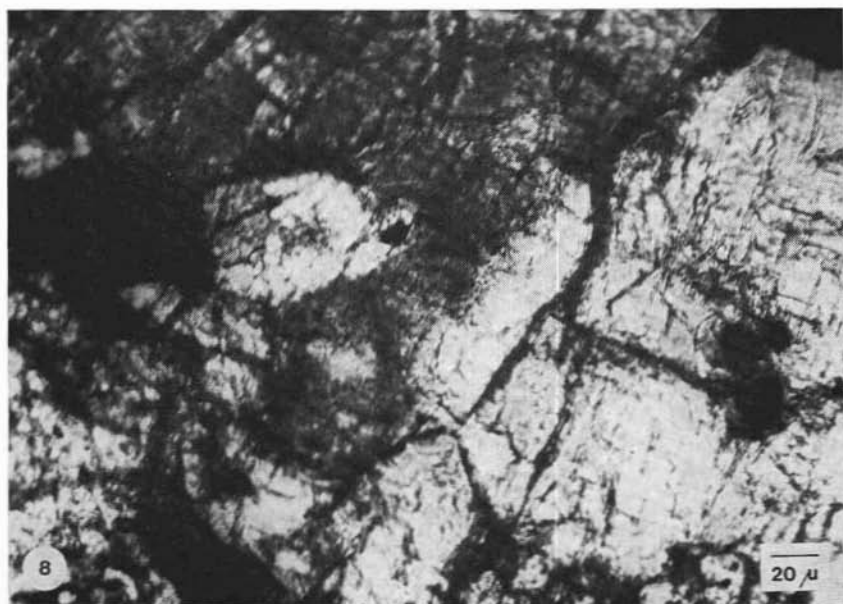


Fig. 8. — Evidente estinzione ondulosa in alcuni granuli di olivina.

Luce trasmessa, nicols //

e proprie dei minerali componenti le rocce associate a strutture da impatto ».

E' importante precisare subito che non è stata ancora messa a punto una teoria che interpreti la natura e il meccanismo di formazione di tali difetti, tuttavia sperimentalmente è stato dimostrato che essi iniziano a manifestarsi solo in seguito a pressioni non inferiori ai 150-160 kb, mentre divengono di più facile e frequente identificazione quando questi valori superino i 210-220 kb. Sul piano pratico poi possiamo, per mezzo della microscopia ottica, distinguere il diverso aspetto assunto dalle bande di deformazione ('deformation bands') ri-

spetto alle lamelle di deformazione ('deformation lamellae'): le prime sono infatti più larghe delle seconde, le quali appaiono come strutture planari di appena 1 o 2μ di larghezza, disposte assai prossime le une alle altre (a $2-5\mu$ di distanza), riunite in complessi di almeno cinque individui, se le pressioni si sono mantenute relativamente basse, o anche in maggior numero, se le pressioni hanno raggiunto valori più alti.

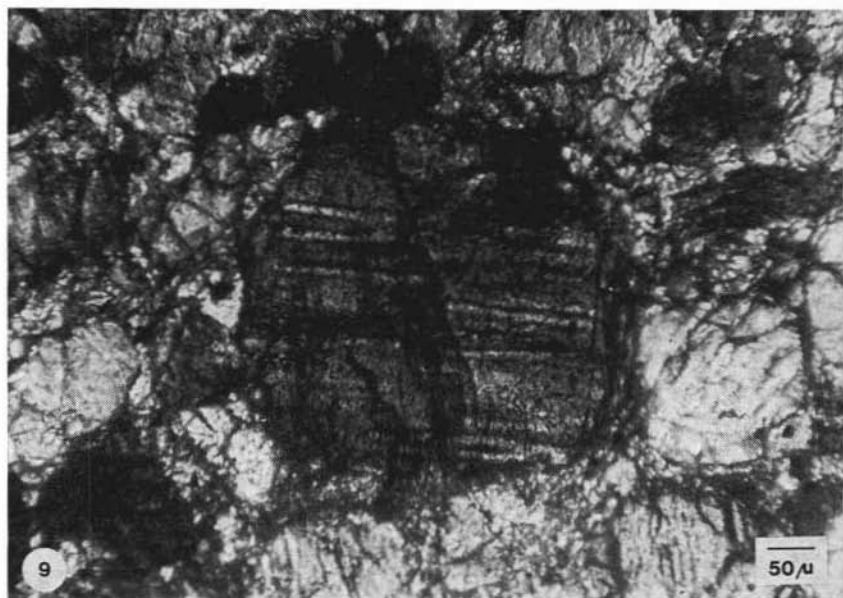


Fig. 9. — Un cristallo di olivina, che mostra una lunga frattura in direzione N-S e, a destra e a sinistra di questa, molte bande di deformazione in evidente discontinuità.

Luce trasmessa, nicols //

Seguendo le indicazioni fornite da BUNCH (1968), abbiamo sottoposto molti cristalli della meteorite in esame a questo particolare tipo di indagine e, sia a medio che a forte ingrandimento, abbiamo potuto notare buona evidenza di bande e di lamelle di deformazione, delle quali presentiamo alcuni esempi.

Il cristallo olivinicco in fig. 9 mostra al centro una lunga frattura e a destra e a sinistra di questa, in evidente discontinuità, molte bande di deformazione, assai simili a quelle ottenute artificialmente da SHORT (1968) nell'olivina con pressioni di 300-400 kb.

Diffuse anche le lamelle: la fig. 10 ottenuta a nicols incrociati, a forte ingrandimento e con l'aiuto del condensatore, rivela almeno due sistemi di tali microdeformazioni, uno in direzione E-O, l'altro NO-SE meno evidente. Dagli sperimentatori apprendiamo che un aspetto di questo genere può dirsi sintomatico di un urto di notevole intensità.

La nostra disamina ha poi presi in considerazione anche alcuni

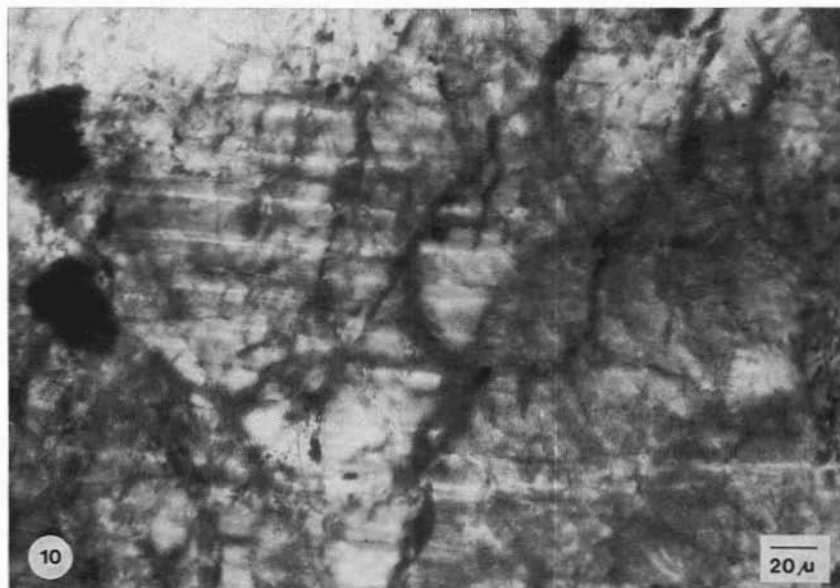


Fig. 10. — Due sistemi di lamelle di deformazione in direzione E-O e NO-SE.
Luce trasmessa, nicols //

granuli plagioclasici, presenti in Valdinizza con una varietà sodica al 10 mole % di An (MASON, 1970). Questi granuli possono raggiungere uno sviluppo di 50-100 μ di diametro e in qualche caso presentano segni abbastanza evidenti di geminazione. La fig. 11 mostra appunto, a forte ingrandimento e a nicols incrociati, un campo plagioclasico caratteristicamente geminato e attraversato da strutture planari. Possiamo notare in queste un forte grado di deformazione, da cui arguiamo che lo sforzo subito in questa zona della condrite in esame sia stato di più che notevole intensità.

c) *Prodotti di metamorfismo da shock.*

Rilevato dunque dagli esami tissurali che la meteorite di Valdinizza ha subito gli effetti di onde d'urto di varia intensità, riteniamo ora opportuno confermare il fenomeno estendendo le nostre osservazioni al riconoscimento di quei composti detti « diaplettici », secondo

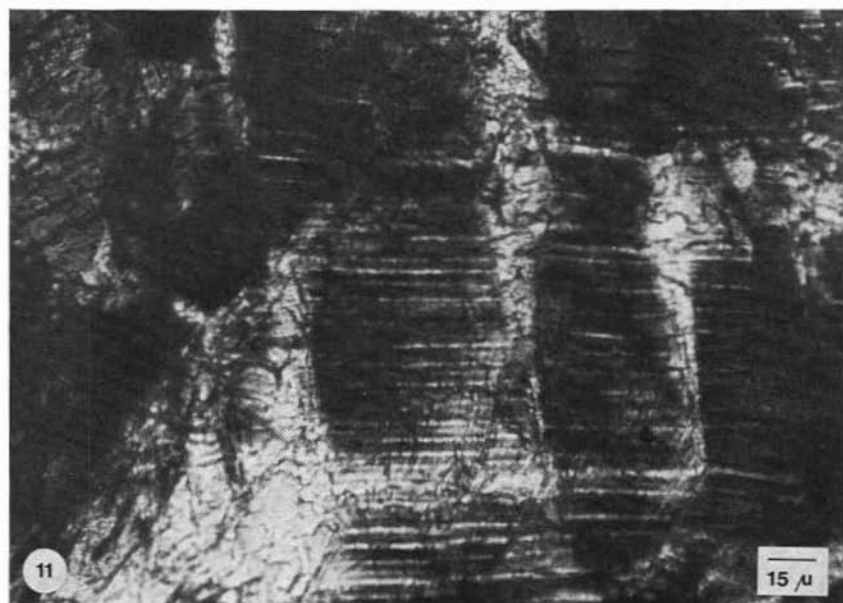


Fig. 11. — Campo plagioclasico geminato e attraversato da strutture planari, che mostrano un altro grado di deformazione. Luce trasmessa, nicols //.

la terminologia proposta da ENGELHARDT e STÖFFLER (1968), prodotti cioè specifici di metamorfismo da shock.

In un nostro precedente studio (LEVI-DONATI, 1970) abbiamo segnalato che nella composizione di diverse condriti L era stato possibile notare presenza di maskelynite, un vetro diaplettico di probabile origine plagioclasica. Queste nostre osservazioni possono esser assunte a convalida dell'opinione genericamente espressa a tal riguardo da HEYMANN (1967): « le condriti soggette a forte shock metamorfico possono contenere un considerevole quantitativo di maskelynite ».

Anche la meteorite di Valdinizza ha tra i suoi componenti minori questa fase metastabile, che si presenta in granuli di piccole dimensioni, interstiziali, incolori, isotropi o debolmente birifrangenti, con un indice di rifrazione notevolmente più basso di quello dei composti contigui non-metallici. La presenza di tale minerale appare altamente significativa, infatti, seguendo le opinioni espresse da diversi Au-

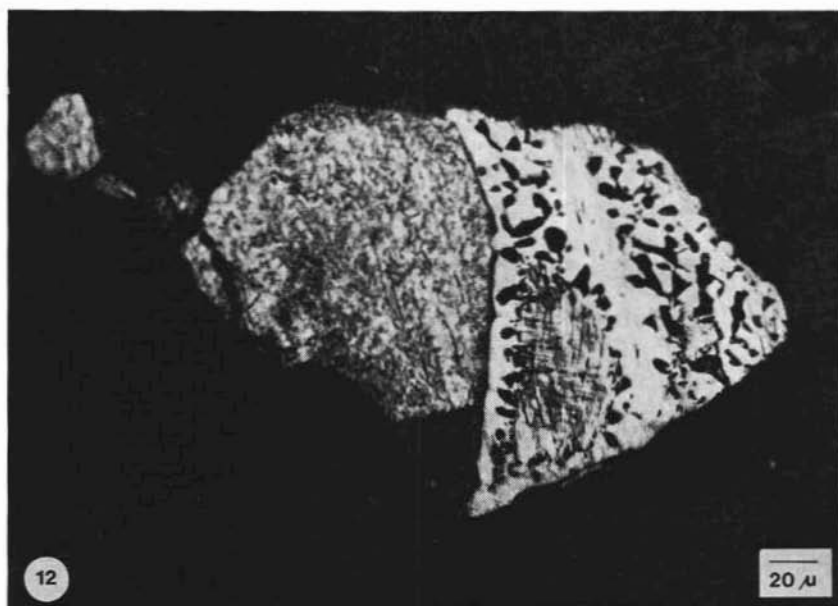


Fig. 12. — Due granuli metallici contigui che mostrano, dopo l'attacco, aspetti diversi dei prodotti di trasformazione martensitica. Luce riflessa, nicols //.

tori, ci sembra di poter considerare la maskelynite come un accurato indicatore di temperatura e di pressione. Pertanto, sulla base dei dati sperimentali forniti al riguardo da MILTON e DECARLI (1963), riteniamo che la meteorite in esame abbia conosciuto uno shock di particolare entità, con istantanei aumenti di pressione compresi fra i 250 e i 500 kb e con picchi di temperatura valutati attorno ai 600°C.

D'altronde anche la porzione metallica offre buoni spunti di osservazione e qui ci possono fare da guida i dati ricavati dalle ricerche sperimentali compiute da HEYMANN et al. (1966), ma soprattutto da HEYMANN (1967).

Il fatto di più immediato rilievo è la considerevole resistenza agli attacchi acidi (pical 5% o nital 5%) offerta dalla composizione delle leghe ferronichelifere. Le fasi a più alta percentuale in nichelio (ferro γ o taenite) sono infatti più diffuse della kamacite (ferro α), quasi rara e localizzata solo in alcune aree. In effetti WOOD (1967) ha fatto notare a questo proposito che alcune condriti, ritenute non metamorfosate sulla base dell'alta percentuale di C e H_2O , contengono solo kamacite e perciò ci sembra logico arguire, insieme ad altri ricercatori (VAN SCHMUS e WOOD, 1967), che la taenite possa essere considerata un prodotto di trasformazione metamorfica $\alpha \rightarrow \gamma$.

Un'altra saliente caratteristica si manifesta nei diversi aspetti assunti dal cosiddetto α_2 . Questa fase metastabile, che si presenta sottoforma di varie strutture martensitiche (fig. 12), si sarebbe originata, come i dati sperimentali ci indicano (BUCHWALD, 1966) dalle leghe ferro-nichelio sottoposte ad onde d'urto di intensità elevata, con pressioni superiori ai 130 kb.

4. - Considerazioni conclusive.

Dopo aver esaminate le tracce di metamorfismo da shock presenti nella meteorite di Valdinizza, è naturale domandarsi se non si possano osservare altri aspetti, attribuibili a metamorfismo di diversa origine. In effetti accanto all'azione rapida esercitata dalle onde d'urto e dai conseguenti fenomeni secondari, certamente altri fattori hanno agito per lunghissimi periodi di tempo su tutta la roccia in esame o su parte di essa. Alcuni segni di questi fenomeni sono stati visti anche da noi, ma consideriamo il loro studio estraneo al tema che ci siamo proposti. D'altronde il proseguimento delle ricerche in questo campo porterà certo ad una revisione critica dei risultati sino ad oggi presentati dai vari Autori e a nuove interpretazioni dei fenomeni osservati. Per giungere ad una più perfetta conoscenza sulla origine e sulla storia dei corpi meteoritici, sarà perciò necessario che questi studi proseguano con una approfondita ricerca coordinata, eseguita con tutti i possibili mezzi di indagine, al fine di raggiungere una completa ricostruzione cronologica degli eventi e un più sicuro collegamento tra cause presunte ed effetti osservati.

Alla luce delle nostre attuali conoscenze, possiamo concludere che questa tipica condrite L è stata senza dubbio sottoposta a processi shock metamorfici di notevole intensità. I positivi risultati della nostra ricerca sono pertanto da considerarsi una conferma dell'assunto di Anders e Heymann.

Ringraziamenti.

L'A. ha il piacere di ringraziare il Dr. B. Mason, Direttore del Meteoritical Dpt., Smithsonian Institution, United States National Museum, Washington, D. C., USA, per aver messo a disposizione il materiale per la ricerca, e il Prof. B. Balanza per una lettura critica del manoscritto.

Istituto di Mineralogia, Fac. di Scienze, Università di Perugia, Ottobre 1970.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERS E. (1964) - *Origin, age and composition of meteorites*. Space Sci. Rev., 3, 583-714.
- BUCHWALD V. F. (1966) - *The iron-nickel-phosphorus system and the structure of iron meteorites*. Acta Polytechnica, 51, 1-46.
- BUNCH T. E. (1968) - *Some Characteristics of Selected Minerals from Craters*. In «Shock Metamorphism of Natural Materials», Mono Book Corp., Baltimore, 413-432.
- CARTER N. L. (1968) - *Dynamic Deformation of Quartz*. In «Shock Metamorphism of Natural Materials», Mono Book Corp., Baltimore, 453-474.
- CARTER N. L., RALEIGH C. B. e DECARLI P. S. (1968) - *Deformation of Olivine in Stony Meteorites*. J. of Geophys. Res., 73, 5439-5461.
- CHAO E. C. T. (1968) - *Pressure and Temperature Histories of Impact Metamorphosed Rocks - Based on Petrographic Observation*. In «Shock Metamorphism of Natural Materials», Mono Book Corp., Baltimore, 135-158.
- ENGELHARDT W. v. e STÖFFLER D. (1968) - *Stages of Shock Metamorphism in the Crystalline Rock of the Ries Basin, Germany*. In «Shock Metamorphism of Natural Materials», Mono Book Corp., Baltimore, 159-168.
- FREDRIKSSON K., DECARLI P. S. e AARAMÄE A. (1963) - *Shock-induced veins in Chondrites*. Space Res., III, 974-983.
- GOLD D. P. (1968) - *A Study of Quartz Subfabrics from the Brent Crater, Ontario*. In «Shock Met. of Nat. Mat.», Mono Book Cp., Baltimore, 495-508.
- HEYMAN D. (1967) - *On the Origin of Hypersthene Chondrites: Age and Shock Effects of Black Chondrites*. Icarus, 6, 189-221.
- HEYMAN D., LIPSCHUTZ M. E., NIELSEN B. e ANDERS E. (1966) - *Canyon Diablo meteorite: metallographic and mass spectrometric study of 56 fragments*. J. Geophys. Res., 71, 619-641.

- HÖRZ F. (1968) - *Statistical Measurements of Deformation Structures and Refractive Indices in Experimentally Shock Loaded Quartz*. In «Shock Met. of Nat. Mat.», Mono Book Corp., Baltimora, 243-253.
- LEVI-DONATI G. R. (1970) - *Osservazioni sulle fasi non-cristalline nelle condriti*. Rend. della Soc. Ital. Mineral. Petrog., XXVI, 2, 649-667.
- LEVI-DONATI G. R. e JAROSEWICH E. (1971) - *The Valdinizza Meteorite: Mineralogy, Chemistry and Microtextures*. Meteoritics, 4.
- MASON B. (1970) - Comunicazione privata (lettera del 5 Marzo 1970 a G. R. Levi-Donati).
- MELI A. (1906) - *Sopra una meteorite caduta in Valäinizza nella provincia di Pavia*. Boll. Soc. Geol. Ital., XXV, 3, 887-899.
- MELI A. (1908) - *Sopra un'altra meteorite caduta a Sant'Albano in Valdinizza nella provincia di Pavia*. Boll. Soc. Geol. Ital., XXVII, cxxxv-cxxxvi.
- MILTON D. J. e DECARLI P. S. (1963) - *Maskelynite: formation by explosive shock*. Science, 140, 670-671.
- SHORT N. M. (1968) - *Experimental Microdeformation of Rock Materials by Shock Pressures from Laboratory-Scale Impacts and Explosions*. In «Shock Metam. of Nat. Mater.», Mono Book Corp., Baltimora, 219-242.
- TURNER G. (1968) - *Thermal Histories of Meteorites by the ^{39}Ar - ^{40}Ar Method*. In «Meteorite Research», P. M. Millman Ed., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland, 407-417.
- UREY H. C. e CRAIG H. (1953) - *The composition of stone meteorites and the origin of the meteorites*. Geochim. Cosmochim. Acta, 4, 36-82.
- VAN SCHMUS W. R. e WOOD J. A. (1967) - *A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites*. Geochim. Cosmochim. Acta, 31, 747-765.
- WOOD J. A. (1967) - *Chondrites: Their metallic minerals, thermal histories, and parent planets*. Icarus, 6, 1-49.