## B. BALDANZA (\*)

## CONTRIBUTI DI COSMOPETROGRAFIA: LE TECTITI

RIASSUNTO. — Da oltre un secolo si discute sull'origine delle Tectiti e le ipotesi in proposito emesse sostanzialmente si possono ridurre in due grandi gruppi, grosso modo bilanciantisi e sostenenti l'uno le derivazioni da rocce terrestri, l'altro da materiali lunari. Il ristagno su tale dualismo non può superarsi poichè i numerosi continui lavori, anche se individualmente validi, in realtà mirano precipuamente a rafforzare la validità dell'ipotesi della fusione per impatto di giganteschi meteoriti — subordinatamente collisione di nuclei cometari — contro la Terra ovvero contro la Luna. In una nota in corso di stampa è stata ripresa l'intera questione e, trascurando talune teorie marginali oggi del tutto insostenibili, si sono discussi e valutati solamente gli apporti dei seguenti incontrovertibili dati di fatto:

1) Le Tectiti si rinvengono solo in talune regioni, più o meno vaste ma comunque ben delimitate,

sparse entro una fascia, compresa fra due circoli massimi.

La presenza di Lechatelierite e di rari inclusi di materiali esclusivamente meteoritici (αFe-Ni,

Schreibersite) viene riconosciuta come chiara prova di giganteschi impatti.

3) Le informazioni fornite dall'esame di una peculiare morfologia (bottoni flangiati, mazzuoli canoe, ecc.) e le drastiche limitazioni imposte dai problemi aerodinamici in regime di volo iperveloce nell'atmosfera terrestre — unica causa del caratteristico microrilievo delle Tectiti — indicano che le Tectiti hanno subito una doppia fusione: la prima si identifica col processo jalogenetico e fornisce gocce vitree che, se nel raffreddarsi son sottoposte a spin, giustificano perfettamente molti aspetti del quadro morfologico. La seconda fusione avviene nell'attraversamento dell'atmosfera terrestre ed essenzialmente si riduce ad un processo ablazionale aerodinamico, di notevole importanza nel quadro riduzionale delle originarie masse delle gocciole vitree, che altresì subiscono notevoli modificazioni morfologiche.

4) La composizione chimica delle Tectiti è del tutto indipendente da quella dei terreni ospitanti e non è raffrontabile nè con quella dei meteoriti finora noti nè con quella dei materiali lunari. Essa è notevolmente uniforme nonostante le diverse età dei vari sciami e le provenienze geografiche, essendo sempre caratterizzata da contenuti molto alti di silice (60-70 %), modesti tenori d'allumina (11-15 %) in rapporto inverso alla silice e K<sub>2</sub>O > Na<sub>2</sub>O (tranne che per talune Tectiti della Costa d'Avorio); bassissimo rapporto Fe<sub>2</sub>Oa/FeO (0,05-0,17) e ridottissima quantità d'acqua (generalmente inferiore a 0,05, con media attorno a 0,005 %).

5) La mancanza, o presenza solo in tracce, di <sup>28</sup>Al da spallazione cosmica, ed i valori estremamente bassi della pressione dei gas nelle rare bolle del vetro tectitico delineano un ambiente genetico in cui alte temperature coesistono con pressioni estremamente ridotte, localizzabile entro una sfera avente per centro la Terra ed un raggio che, tutt'al più, potrà pervenire ad un paio di IJA

Sulla base di tali elementi, opportunamente integrati da particolari ricerche, si è portati a concludere che l'origine delle Tectiti va ricercata in grandiosi impatti o collisioni in ambienti di bassissima pressione e pressochè privi di acqua. La Terra e la Luna vengono decisamente

<sup>(\*)</sup> Centro Italiano per lo Studio dei Meteoriti, presso l'Istituto di Mineralogia della Facoltà di Scienze Mat., Fis., Nat. (Perugia).

scartati dal novero dei corpi impattati, data l'impossibilità di stabilire, con le Tectiti, accettabili confronti fisici e chimici per gli elementi maggiori, minori ed in traccia. Infine l'assenza di \*Al, o l'estrema sua rarità, indica che impatti o collisioni devono essere avvenuti in luoghi astronomicamente vicini, lontani dalla Terra non oltre un paio di U.A., rendendo quindi gli eventi tectitogenetici localizzabili — ad esempio — al di qua o entro la fascia asteroidale.

ABSTRACT. — Theories proposing the formation of Tektites, first formulated since the second half of the last century, can now be divided into two major groups, of equal standing, depending upon whether a terrestrial or a lunar source is postulated for the tektite material. Such a dualism can't be overcome and is still a matter of controversy, as it is continuously strengthened by the results of researches, which are individually significant, but which mostly support the theory of tektite origin by the fusion of terrestrial, or, of lunar material by the impact of giant meteorites or by cometary collisions.

In a forthcoming paper the whole question will be reopened and since many old theories are nowadays quite untenable, the following significant facts will be reexamined and discussed:

 Tektites occur only in more or less large but limited areas, spread between two great circles on the earth's surface.

 The presence of Lechatelierite and of rare tiny metallic meteoritic components (αFe-Ni, Schreibersite) is readily interpreted as evidence of highly energetic impacts.

3) Information yielded by peculiar shapes (flanged buttons, canoes, dumbbells, etc.) and aero-dynamical restrictions of the ablation process in hypervelocity flight through the earth's atmosphere, show that tektites were subjected to two periods of melting: the first is clearly hyalogenetic and gives rise to crude glass drops, often pulled into rotational shapes while cooling. The second is substantially an aerodynamical ablation process, whose primary importance is in consuming the glass drops and in modifying their shapes.

4) Their chemical composition is quite independent of the terrains with which they are associated and it is different from that of any known meteorite or lunar material, but it is comparatively uniform despite differences in age and wide geographical distribution. It shows the following specific characters: very high silica (60-70 %); moderate Al<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (11-15 %) in inverse relationship to silica; K<sub>2</sub>O > Na<sub>2</sub>O (except for some Ivory Coast tektites); very low Fe<sub>2</sub>O<sub>8</sub>/FeO ratio (0,05-0,17) and water content (usually less than 0,05, averaging 0,005 %).

5) The absence of, or very low content, of cosmic spallation \*\*Al and the extremely low pressure of the gases from tektite glass bubbles define a genetic environment characterized by high temperature associated with extremely low pressure, confined within a sphere centered on the earth and whose radius can not exceed a couple of A.U..

The origin of Tektites is conclusively dependent upon a very high energetic impact or collision in an environment characterized by extremely low pressure and lack of water. Moon and Earth are necessarily to be discarded as impacted bodies, since no physical and chemical relationship for major, minor and trace elements may be established between their related materials and the tektites. As the absence or scarcity of \*Al points to impact or collision sites no further than a couple of A.U., then the tektitogenetic events can only be admitted in, or within, the asteroidal belt.

Le Tectiti sono piccoli corpi vitrei naturali, con masse comprese fra un paio ed un centinaio di grammi, a composizione persilicica (v. Tab. 1) di colore dal grigio verdastro (Moldaviti) al nero (Australiti, Indochiniti, Filippiniti, ecc.), vagamente simili a ciottoletti di ossidiana, ma spesso con caratteri morfologici sufficienti da soli a consentire un chiaro differenziamento da tutti i vetri terrestri.

Devono il loro nome al naturalista J. Mayer [1], studioso dei primi reperti boemi, il quale, nel 1788 così le indicò, dal greco τεχτός = fuso omogeneo, in allusione alla grande omogeneità del vetro, di cui son costituiti tutti i componenti di

uno sciame tectitico, e che è caratterizzato da una estrema povertà di inclusi cristallini e di bollosità.

Oltre al quadro morfologico, del tutto peculiare, gli esemplari di uno sciame di Tectiti sono caratterizzati da una sorprendente costanza del quadro chimico e fisico [7] nonostante che siano sparsi entro aree di dispersione (v. Fig. 1) talora immense (Australiti) anche se geograficamente ben delimitate [4]. È da ricordare

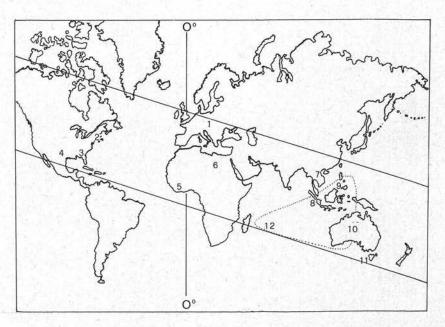


Fig. 1. — 1: Moldaviti del bacino boemo-moravo - 2: Tectiti del « Martha's vineyard » (Massachussets) - 3: Tectiti della Georgia - 4: Bediasiti del Texas - 5: Tectiti della Costa d'Avorio - 6: Vetri del deserto libico-egiziano - 7: Indochiniti - 8: Giavaniti - 9: Filippiniti - 10: Australiti - 11: Vetri di Darwin (Tasmania) - 12: Microtectiti dei fanghi abissali.

infine che le superfici delle Tectiti non rimaneggiate esibiscono un microrilievo del tutto particolare (sculpturing), mai osservato nei vetri terrestri e lunari [14], poichè è causato dall'ablazione aerodinamica nelle alte regioni dell'atmosfera terrestre.

Morfologicamente le Tectiti sono raggruppabili in tre grandi tipi, chiaramente dipendenti da particolari condizioni cinematiche o da spin, ad asse centrato o eccentrico, connesse con uno stato viscoso tipico del momento genetico (v. Fig. 2). Rientrano nel quadro morfologico, valido per migliaia di esemplari, le rarissime Muong Nong, concordemente ritenute brandelli di esemplari eccezionalmente grandi, frantumatisi ad irrigidimento completo del vetro. Per quanto riguarda il primo tipo lo schema della Fig. 2 esemplifica, in successione morfologica, una delle correlazioni possibili fra velocità angolare, rispetto all'asse d'elongazione, acquisita durante l'evento jalogenetico ed un vetro tectitico di media composizione e di nota viscosità: si

originano in tal modo le gocciole sferiche o subsferiche (spin nullo o molto debole), i mazzuoli, le barchette, canoe (spin con  $\omega$  alquanto elevato e bassa viscosità), le amigdale, le gocce, le lacrime, tutte le Tectiti a morfologia guttiforme e con tracce più o meno evidenti del peduncolo di stiramento (spin estremamente energetico congiunto a particolari condizioni di viscosità: vedi Fig. 3).

Il secondo tipo, caratteristicamente culminante, morfologicamente, con i « bottoni flangiati », deriva dalle gocce sferiche e subsferiche, pressochè prive di spin, le

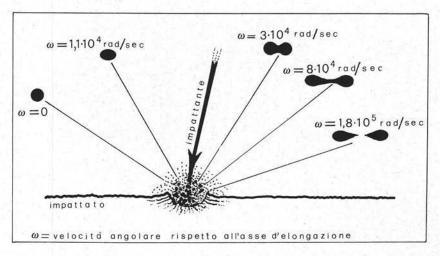


Fig. 2.

quali viaggiando in ipervelocità (decine di km/sec) e impattando con le alte regioni dell'atmosfera terrestre si riscaldano supercomprimendo i gas atmosferici fino a raggiungere la temperatura di rammollimento e fondere superficialmente. Ciò consente l'ablazione aerodinamica della regione frontale, che, in parte consumandosi, trasla verso le regioni equatoriali, ove raffreddandosi dà origine alla flangia [8]. Nella Fig. 4 è schematizzato tale processo morfologico.

Il terzo tipo è costituito esclusivamente dalle Tectiti europee, o Moldaviti, le uniche ad aver colore decisamente verdastro e superficie tipicamente suberiforme.

Un quarto tipo comprende esclusivamente le microtectiti [10], con esemplari dalle ridottissime dimensioni, inferiori al millimetro, fino a microscopiche, a morfologia sferica o sub-sferica, raccolti esclusivamente nei fanghi dei fondi marini, dragati fra il Madagascar, l'Australia ed il Sud-est Asiatico, entro un'area largamente in comune con quella di dispersione delle Australiasiti.

Le Tectiti sono tutte «finds »: nessuno cioè le ha mai viste cadere. Ciò concorda con le loro età terrestri, che, in cifre tonde, sono comprese fra i trecentomila ed i ventinove milioni di anni [5, 11, 12, 13].

L'ultima caduta di sciame tectitico, di età sicuramente determinata, le Filippi-

niti, è quindi avvenuta nel Pleistocene, quando l'uomo non era ancora in condizioni di registrare e tramandare informazioni.

Segnalazioni di presunte recenti cadute non hanno retto ad un rigoroso obbiettivo esame critico.

Per il problema dell'origine delle Tectiti le opinioni sono state le più disparate: inizialmente si credette che fossero degli eiettati da particolari vulcani iperacidi, sia terrestri che lunari, in fase eruttiva parossistica.

Poi si pensò a particolari forme di fusione di terreni sedimentari acidi a seguito di fulgurazioni.

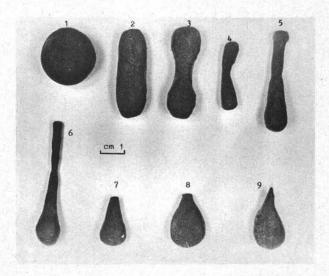


Fig. 3. — (1) Tectite sferica (spin molto debole o nullo) - (2) Tectite allungata (spin elevato, con asse-centrato - (3-4) Tectite allungata con estremità bulbose e regione centrale assottigliata (come in (2)) - (5) Tectite allungata « a mazzuolo » con terminazioni a diverso sviluppo (spin elevato e con asse fuori centro) - (6-7-8-9) Tectiti guttiformi o amigdalari con peduncolo di stiramento più o meno sviluppato o conservato (spin più elevato o vetro a diversa viscosità).

Esemplari dall'Indochina (in parte da G. Baker).

Quindi si opinò che fossero il prodotto dell'impatto di giganteschi meteoriti con la superficie terrestre. Infine si credette di ravvisare nei grandi crateri meteoritici lunari i punti di lancio di giganteschi zampilli di fuso da impatto [9], che si sarebbe frammentato in gocciole di forma varia: roteando su se stesse ancora viscose si sarebbero stirate variamente e, dopo il viaggio spaziale, il processo morfologico si sarebbe concluso con l'ablazione aerodinamica operata dalle alte regioni dell'atmosfera terrestre.

Le Tectiti vengono rinvenute esclusivamente entro i confini di grandi aree geografiche, vaste zone di dispersione o fasce molto estese aventi estensione e profondità

Tabella 1 (rielaborata da due tabelle di Chao)

## Composizione chimica media dei principali vetri tectitici (fra parentesi tonde il numero di analisi. fra graffe i valori estremi)

			traliti 17)		iasiti 21)		opiniti (15)		vaniti (7)		chiniti 12)		davití (8)	Costa	d'Avorio	Media generale
SiO <sub>2</sub>		73.45	{70,42 } {78,79 }	76.37	{71,89 80,17}	70,80	{68.9 72.1 }	72,32	{70.28 } 76.40 }	73,00	{71.2 77.5 }	80.07	{77.78 } 82.68 }	71.05	{68.00} 76.56}	73.87
Al <sub>2</sub> O <sub>8</sub>		11,53	{ 9.36 } 13.59 }	13,78	$\{\frac{11.19}{17.56}\}$	13,85	{ 12.50 } 15,23 }	11.68	$\{ {}^{9.86}_{12.77} \}$	12.83	{ 11,59 } 13,68 }	10.56	$\{ {}^{9.44}_{12,20} \}$	14.60	{11.54} 16.56}	12.69
Fe <sub>2</sub> O <sub>8</sub>		0.58	$\{\begin{array}{c} 0.23 \\ 1.01 \end{array}\}$	0.19	$\{\begin{array}{c} 0.00 \\ 0.45 \end{array}\}$	0.70	{ 0.50 } 0.93}	0,85	$\{\begin{array}{c} 0.21\\ 1.33 \end{array}\}$	0.64	{ 0.37 } 0.82}	0.15	{ 0.14 } 0.16}	0.18	{ 0.17 }	0.47
FeO		4.05	{ 3.46 }	3,81	{ 2,29 } 5,26 }	4.30	{ 4.01 }	4.81	{ 3.71 } 5.43 }	4.37	{ 3.25 } 4.88}	2,29	$\{\begin{array}{c} 1.13 \\ 3.36 \end{array}\}$	5,51	{ 3,99 } 6,46 }	4,16
MgO		2.05	{ 1.50 }	0,63	$\{\begin{array}{c} 0.37 \\ 0.95 \end{array}\}$	2,60	{ 2.41 2.93}	2.75	{ 2.38 }	2,48	{ 1.62 } 2.96 }	1.46	{ 0.98 }	3.29	{ 2.88 }	2.18
CaO		3,50	{ 2.13 } 5.09 }	0.65	{ 0.49 } 0.96 }	3,09	{ 2.50 } 3.38}	2.89	{ 2.22 } 3.92 }	1,91	{ 1.57 } 2.06}	1.87	{ 1.34 } 2.24 }	1.67	{ 1.40 } 2.00 }	2.23
Na <sub>2</sub> O		1.28	{ 1,12 }	1.54	{ 1.20 }	1,38	{ 1.18 } 1.56}	1,78	{ 1.15 }	1.45	{ 1.06 }	0.51	{ 0.28 } 0.68 }	1.71	{ 1.32 } 2.35}	1.38
K <sub>z</sub> O		2,28	{ 2.08 }	2,08	{ 1.60 }	2,40	{ 2.17 2.56}	2,35	{ 2.03 } 2.76 }	2,40	{ 2.10 }	2.95	{ 2.20 } 3.60 }	1.53	{ 0.82 }	2,28
TiO <sub>2</sub>		0.69	$\left\{ \begin{array}{c} 0.55 \\ 0.81 \end{array} \right\}$	0.76	{ 0.59 1.05}	0.79	{ 0.75 0.85 }	0,75	{ 1.10}	0.73	{ 0.63 0.81}	0.80	$\{\begin{array}{c} 0.32 \\ 1.40 \end{array}\}$	0,70	$\{ \begin{array}{c} 0.60 \\ 0.80 \end{array} \}$	0.75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.03		0.04	{ 0.00 } 0.07 }			0.09		_				_		0,05
MnO		-		0.04	. 0.01 >	0.09	{ 0.08 0.10 }	0.16	{ 0.08 0.32 }	0.09	$\{\begin{array}{c} 0.08 \\ 0.10 \end{array}\}$	0.11	{ 0.06 } 0.18 }	0.08	{ 0.06 }	0.10
Totale		99.44		99,89		100.00		100,43		99,90		100.77		100,32		100.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>8</sub> /	FeO	0.14		0.05		0.16		0,17		0.14		0.06		0.03		0,11

dell'ordine di centinaia (Boemia-Moravia) o migliaia di chilometri (Australia e Sud-Est asiatico). La grande estensione di tali aree di dispersione e l'uniformità di composizione chimica, isotopica, cronologica e giaciturale di ciascun tipo di Tectiti può significare l'arrivo contemporaneo, volta per volta, di tutti gli individui componenti uno sciame tectitico.

Dalle unità geografiche primarie (v. Fig. 1), comprendenti la maggior parte degli esemplari di una fascia, si trae il nome per le diverse classi di Tectiti.

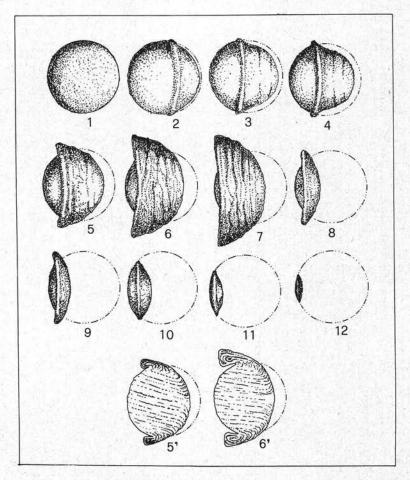


Fig. 4. — Schema dell'evoluzione morfogenetica delle Tectiti a « bottone flangiato » (da 1 a 12). - In 5' e 6', sezioni diametrali di 5 e 6, sono schematizzati i flussi primari (nel corpo sferico ablato) e secondari (nelle flange).

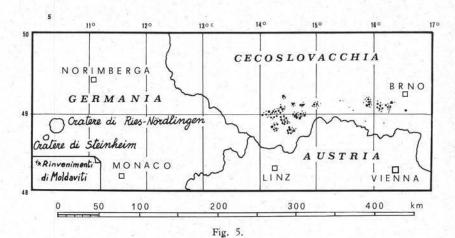
Qui di seguito (v. Tab. 2) se ne dà un elenco, indicando altresì la cronologia dei terreni di giacitura del singolo sciame, e l'età di consolidamento del vetro, determinata con il metodo K-Ar.

Mentre l'assenza nell'Asia sud-orientale di ogni vestigia, strutturali e morfologiche, di grandi crateri di impatto o di esplosione, creati da meteoriti giganti, ostacola l'ipotesi della jalogenesi tectitica in ambiente tellurico, i risultati di lunghe ricerche espletate sui terreni dei grandi crateri degli Stati Uniti (Barringer, o Meteor Crater, o Canyon Diablo, ampio circa un miglio), Canadà (Chubb, o New Quebec, diametro oltre 3 km), Siberia (cadute di Tunguska, del 30 giugno 1908, e di Sikhote-Alin, del 12 febbraio 1947) per citare solo quelli creati dall'impatto delle masse più gigantesche, la rifiutano decisamente.

TABELLA 2

Età K/Ar delle Tectiti [6] e cronologia relativa dei terreni con cui sono associate

Regione	Nome	Età	Cronologia
		(milioni di anni)	
Georgia	Tectiti georgiane	32	
Texas	Bediasiti	29	Eocene
Boemia, Moravia	Moldaviti	13,5	Medio Miocene
Costa d'Avorio	Tectiti della Costa d'Avorio	1,5	Tardo Pliocene
Australia	Australiti	0,44 - 0,80	Medio Pliocene
Indochina	Indochiniti	0,79	
Filippine	Filippiniti	0,3	Pleistocene
Sumatra, Giava	Giavaniti	0,5	
Libia	Vetri del deserto libico		Quaternario (?)



È da ritenere puramente casuale la vicinanza del paleocratere meteoritico di Nördlingen-Ries e le Moldaviti dell'unica area di dispersione tectitica europea. Vicinanza alquanto relativa e discutibile, che pone difficoltà insormontabili al problema aerodinamico e balistico, poichè abbondano Moldaviti di masse fortemente limitate sparse in terreni distanti fino ad oltre 400 km da Ries (vedi Fig. 5, che schematizza la situazione planimetrica).

I terreni attorno al grande cratere di Canyon Diablo, in Arizona, forniscono solo impactiti poco o punto omogenee, d'aspetto scoriaceo, vescicolose, bollose (vedi Fig. 6) friabili e casualmente sparse negli immediati dintorni dell'immensa voragine. Non esiste alcun accenno ad una distribuzione delle impactiti eiettate, secondo ellissi di dispersione e le gittate non superano un paio di chilometri.

Per le impactiti di massa più alta non si perviene a superare un paio di miglia. Si noti che la massa del meteorite, che si è aperta la via attraverso ben tre formazioni litologiche per aprire l'immensa voragine, viene prudenzialmente stimata equivalente a quella di una sfera di acciaio di una sessantina di metri di diametro e del peso di circa un milione di tonnellate.

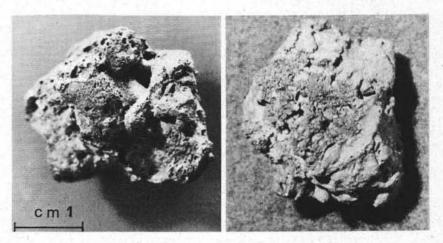


Fig. 6. — Due impactiti raccolte attorno al grande cratere di Canyon Diablo, detto pure di Barringer o Meteor Crater, in Arizona. La struttura, la composizione mineralogica, chimica, isotopica, l'eterogeneità, la pressione dei gas nelle bolle e vescicole, ed altri caratteri formano un quadro peculiare ed assolutamente dissimile da quello delle Tectiti.

L'energia liberata da tale impatto, oltre a fornire calore sufficiente a volatilizzare lo stesso meteorite per oltre il 99,5 %, unitamente a circa un miglio cubico di rocce pertinenti alle tre formazioni litologiche terebrate, ha ancora potuto piegare verso l'esterno, rialzandole, le potenti assise di rocce sedimentarie del bordo craterico: rocce diagenizzate in banchi e strati della potenza complessiva di centinaia di metri.

Tralasciamo dal tener in conto l'enorme quantitativo di energia impiegato per ridurre milioni di tonnellate di rocce in frantumi, polveri e fini « farine ». L'enorme quantitativo di energia in gioco però non è valso a produrre una sola Tectite, ma unicamente impactiti e sferoidi metallici, le note goccioline di ferro esibenti strutture da fusione e raffreddamenti pressochè istantanei (v. Fig. 2).

Concordemente vari studiosi ritengono pertanto che la Tectitogenesi vada relata ad impatti tra corpi di massa ben più cospicua, di almeno un ordine di grandezza maggiore di quelli che hanno creato, alla superfice terrestre, i massimi crateri meteoritici finora riconosciuti.

D'altronde va ricordato che tali crateri costituiscono delle strutture grandiose solo sul parametro umano.

Astronomicamente sono delle entità al tutto trascurabili: già a distanza pari a quella che separa la Terra dalla Luna riuscirebbero a malapena visibili con un telescopio di media potenza.

Solo la grande struttura anulare di Vredefort, nell'Africa meridionale, oggi notevolmente erosa dagli agenti atmosferici, raggiunge dimensioni confrontabili con quelle dei più minuti caratteri morfologici rivelabili telescopicamente sulla distanza Terra-Luna.

Ma la mancanza sulla superficie terrestre di cicatrici di più antichi e più grandiosi impatti meteoritici è ampiamente giustificata dalla lunghissima azione erosiva esplicata dagli agenti atmosferici.

Pertanto, non rivestendo tale mancanza carattere determinante, si è tentato, utilizzando le attrezzature del Centro di Calcolo Elettronico dell'Università di Perugia di pervenire a riprodurre composizioni chimiche dei tipi tectitici, per i soli elementi maggiori, combinando in tutte le proporzioni analisi chimiche di rocce terrestri dei vari tipi magmatici, sedimentari e metamorfici, ed analisi di meteoriti condritici, acondritici e mesosideritici. All'uopo è stato messo a punto un apposito programma «KLOVAN» analitico multifattoriale di modo Q tipo Imbrie e Van Andel [15] adattandolo alle Tectiti secondo opportune procedure statistiche standardizzate.

Il tentativo non ha approdato a risultati accettabili. Solo con qualche roccia sedimentaria ci si è avvicinati a soluzioni con tenui parvenze di accettabilità: ma appena si è tentato di tenere nel debito conto anche la mole di condizioni imposte dal quadro delle informazioni sugli elementi minori si è totalmente perduta ogni possibilità di pervenire ad un risultato significativo.

Esistono ancora altri fattori che si schierano contro una tectitogenesi di ambiente tellurico, ma concordano nell'indicare il luogo od i luoghi d'origine delle Tectiti al di fuori del nostro pianeta.

Accenniamo qui di seguito solo ai principali:

- a) l'assenza, o presenza solo in tracce, dell'acqua esclude o rende estremamente improbabile un'ubicazione tellurica dell'evento tectitogenetico;
- b) il valore del rapporto Fe<sup>+3</sup>/Fe<sup>+2</sup>, di tipo assolutamente insolito, eccezionale, per i materiali terrestri, ma, per converso, costantemente lo stesso per le innumeri Tectiti analizzate, conferma l'improbabilità della jalogenesi in ambiente terrestre;
- c) la fine morfologia di superfice delle Tectiti (sculpturing) inequivocabilmente aerodinamica e originata entro i precisi limiti delle regioni superiori dell'atmosfera terrestre, in ambiente di bassa densità, indica una provenienza extratellurica;
- d) la presenza di gas a bassissima pressione, nelle poche bollicine del vetro tectitico, esclude categoricamente una genesi in ambiente terrestre ed impone di effettuare i tentativi di ubicazione della Tectitogenesi solo ove viga un'atmosfera estremamente tenue o addirittura non ve ne sia punta.

Non può recar meraviglia che vari Autori [9] abbiano ipotizzato che la Luna potesse essere sede degli eventi jalogenetici tectitici. Essa infatti rivela alla semplice ispezione telescopica, anche a basso ingrandimento, una superfice butterata da migliaia di crateri, grandi e piccoli, molti giganteschi, alcuni addirittura immensi, esibenti raggere di schizzi ed eiettati, che si estendono su centinaia di chilometri. Essa è inoltre priva di atmosfera ed il calcolo elettronico permette di assumere che da numerosi suoi crateri è possibile lanciare del materiale, fuso dall'impatto, a velocità di fuga in tutte le direzioni. Inoltre si è potuto calcolare che su ogni quindicina di eiettati uno in media è diretto ed angolato in modo da poter imboccare un « corridoio d'ingresso » e quindi pervenire, dopo l'impatto con l'atmosfera, ove acquista lo « sculpturing », ad atterrare sul nostro pianeta.

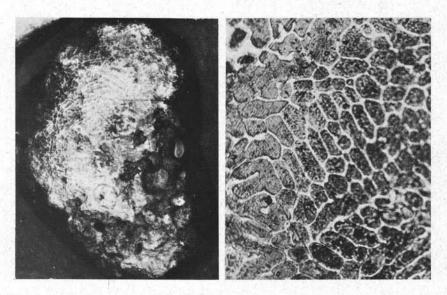


Fig. 7. — Sezione lucida senza attacco di sferoide metallico (dimensioni massime mm 0,72) del cratere meteoritico di Canyon Diablo, Arizona. A basso ingrandimento, nella foto a sinistra, si nota una insolita struttura a maglie metalliche di lega Fe-Ni racchiudenti isole ben poligonizzate di dendriti silicatici inlgobanti vetri bollosi e vescicolosi, ricchi di minutissimi frammenti e lacinie diagnosticabili con alquante difficoltà.

Nella foto a destra è riprodotto un caratteristico campo microscopico di sezione lucida di sferoide dopo attacco: l'ingrandimento maggiore consente una più agevole distinzione delle fasi sopraccennate. Dimensioni del lato maggiore della foto mm 0,1.

L'assenza di <sup>26</sup>Al da spallazione cosmica, nel vetro tectitico, correntemente interpretata come conseguenza di insufficiente esposizione all'evento spallogenico e quindi brevità di durata del viaggio spaziale (< 90.000 anni), non ostacola l'accettabilità dell'ipotesi della genesi da impatto meteoritico lunare (essendo il nostro satellite, il corpo celeste più vicino alla Terra), oppure da altri corpi cosmofisicamente comunque non molto più distanti.

Le analisi chimiche dei materiali delle campionature del regolite lunare, raccolte dalle varie missioni Apollo, ben presto hanno fornito informazioni sufficienti per un nuovo tentativo di conseguire, utilizzando il citato elaboratore del Centro di Perugia, la riproduzione della composizione media, per elementi maggiori, del vetro tectitico. Miscelando in varie proporzioni i dati analitici di campioni lunari con quelli di meteoriti non si sono conseguiti risultati molto favorevoli all'accoglimento dell'ipotesi: solo due minuscoli campioni di roccia, assimilabili a tipi granitici, e frammenti di vetri interstiziali delle brecce impactitiche basaltiche hanno fornito dati parzialmente utilizzabili in tal senso. Pertanto la grande occasione della conferma dell'ipotesi dell'origine lunare è svanita.

Ancora più deludente è stato il risultato della ricerca condotta per gli elementi minori ed in traccia. Il panorama composizionale delle terre rare nei campioni lunari presenta un notevole impoverimento nei tenori di Eu, se rapportati con le concentrazioni delle terre rare finitime per peso atomico: Sm, Gd, ecc.. Per contro si scopre in corrispondenza delle fasi plagioclasiche lunari un notevole arricchimento dello stesso Eu, indubbiamente da correlare alla vicarianza Ca→Ba→Eu. Non si ritrova nè nelle rocce terrestri, nè nei meteoriti condritici ed acondritici, un analogo andamento della curva distributiva delle terre rare, la cui gobba presenta la massima elevazione proprio in corrispondenza dell'Eu. La distribuzione delle terre rare nelle Tectiti segue invece una curva ad andamento costantemente decrescente verso i termini a peso atomico più elevato.

Per chiudere sul fallimento dei tentativi di attribuire alle Tectiti una genesi lunare si ricorderà che nessun campione dei materiali del nostro satellite naturale, nelle fasi cristalline e in quelle vitrose iperacide, ha rivelato contenuti di K e di Mg confrontabili con quelle delle Tectiti. Ed infine recentissime determinazioni cronologiche eseguire sulle Tectiti hanno confermato che esse hanno un'età decisamente più giovane delle rocce lunari. Infatti le età dei « mari » lunari (3,2 a 3,8 eoni) e degli « altopiani » (oltre 4 eoni) sono di un ordine di grandezza maggiori dell'età dei materiali che hanno generato le Tectiti australiane e del sud-est asiatico.

Per ultimo si ricorda che le composizioni isotopiche del Pb lunare sono fortemente radiogeniche, mentre le Tectiti hanno Pb con rapporto isotopico di tipo terrestre.

In conclusioni le Tectiti con forma a mazzuolo, a pera, a lacrima, a bottone flangiato, diffusissime nell'area australiasiana, forniscono interessanti informazioni circa peculiari modalità dell'impatto e relative condizioni aerodinamiche, indicanti una pressochè totale vaporizzazione del mobile iperveloce con formazione di fuso a spese pressochè esclusivamente dell'impattato. Fuso che, in ambiente di bassissima pressione, probabilmente privo o poverissimo d'atmosfera, viene eiettato nello spazio in tutte le direzioni, sotto forma di goccioline di vetro. Queste, dopo un viaggio di durata ignota, ma non lungo (non oltre 90.000 anni), percorrendo orbite almeno in parte programmabili, possono incappare nella sfera gravitativa terrestre e attraversare l'atmosfera in condizioni aerodinamiche abbastanza delineabili, venirne

frenate e pervenire al suolo, ospiti esotiche di terreni la cui età costituisce il « terminus ante quem » cronologico.

La loro composizione chimica per elementi maggiori, il quadro degli elementi in traccia, la pressione dei gas nelle cavità (le bolle talora hanno dimensioni non molto ridotte), l'assenza di 26Al di spallazione cosmica e molti altri caratteri ancora, globalmente confermano l'impossibilità della genesi tellurica ed escludono al contempo che si possa ulteriormente sostenere l'ipotesi di una genesi lunare. Gli argomenti, che, fin pochi anni addietro, si potevano tentativamente schierare in pro di quest'ultima ipotesi, oggi pervengono a soddisfare solamente taluni isolati e disparati aspetti periferici di tal tipo di genesi: accettabilità di traiettorie Luna-Terra, possibilità di reperire corridoi d'ingresso, ubicazioni topografiche degli impatti, morfologia ecc.. In particolare è rimarchevole la rispondenza morfologica fra le minuscole gocciole vitree componenti il regolite lunare, campionato nelle varie missioni Apollo, e le numerosissime tectiti, ampiamente descritte e studiate, provenienti dall'immensa area di dispersione australiasiatica. Ma tale rispondenza ha valore solamente indicativo ai fini dell'orientamento della ricerca del tipo di ambiente in cui si è svolto l'evento genetico: componenti vitrei del regolite lunare e Tectiti in giacitura tellurica possono originarsi in analoga maniera, ma ciò non comporta che necessariamente debbano derivare dai medesimi genitori.

Fin qui la ricerca cosmopetrografica, che perviene a riconoscere la mancanza di validità ad entrambe le vecchie ipotesi tectitogenetiche, la tellurica e la selenica, che finora avevano con alterna fortuna proposto la propria candidatura parentale, basandosi di volta in volta sui risultati di singole ricerche, che chiarivano solo particolari aspetti della questione. Comunque la mancanza di una visione integrale del complesso problema e la sopravalutazione dei risultati di indagini di dettaglio, hanno conseguito un ristagno nel progresso delle ricerche, praticamente paralizzate da un dualismo, che oggi si rivela privo di contenuto logico e svuotato di ogni interesse.

L'insostenibilità di entrambe le ipotesi genetiche, Tellurica e Selenica, costringono a riesumare quell'infrasteroidale, più volte proposta ma insufficientemente corredata da attendibili osservazioni.

Si sa che le traiettorie ipotizzabili per corpi della fascia asteroidale e tali da ricadere nel piano dell'eclittica, tangenzialmente alla direzione del moto della Terra, nell'istante della collisione, richiedono una velocità iniziale aggirantesi sui 13 km/sec.: tale velocità implica che le dimensioni dello sciame tectitico attingano a valori enormi.

Urey [3] richiamò l'attenzione sui risultati ottenuti da Roche (v. Jeans [2], p. 54) sulla disrupzione indotta dalle perturbazioni esercitate da un grosso corpo centrale su uno sciame di piccoli corpi orbitantigli attorno. La disrupzione non avverrà finchè lo sciame avrà una densità media superiore a circa 15 volte quella ottenibile distribuendo la massa del corpo centrale su una sfera avente raggio eguale alla distanza dallo sciame. Quindi la densità minima necessaria per la stabilità di

un siffatto sciame orbitante attorno al sole ad una distanza prossima a quella Terra-Sole è di  $2.1 \times 10^{-6}$  gm/cm³. Urey pertanto calcola che uno sciame avente tale densità e le dimensioni dell'Australia distribuirebbe 100 g di Tectiti per cm². D'altro canto se le Tectiti fossero il risultato della frantumazione da impatto di un unico corpo contro l'atmosfera terrestre esse non potrebbero disperdersi su aree aventi dimensioni maggiori di 25 km nella massima estensione.

Questa ed altre considerazioni, che qui per brevità non si riportano, conducono ad escludere anche che le Tectiti si siano originate in seno alla fascia asteroidale.

Maggiormente inammissibile risulta un'ubicazione in aree ancora più distanti, per cui occorre limitare le ricerche in eventi ubicati entro uno spazio sferico o ellissoidico, il cui raggio maggiore sia inferiore alla distanza Terra-fascia asteroidale e in un ambiente di cui si conoscono le seguenti condizioni:

Distanza astronomicamente modesta, tanto da non consentire la formazione dell'Al<sup>26</sup>; bassissima pressione; assenza d'acqua; ambiente riducente.

L'ipotesi che le Tectiti possano costituire la prova dell'esistenza di quell'anello di « polveri », che un tempo avrebbe orbitato equatorialmente attorno alla Terra, a somiglianza dell'odierna più appariscente caratteristica di un altro pianeta del Sistema Solare (perchè solo Saturno dovrebbe essere il detentore di una siffatta fascia?) non sembra riscuotere un significativo interesse, anche ricordando che, secondo taluni astronomi, pure Giove avrebbe avuto un tempo, il suo anello di polveri e detriti. Tale anello di « polveri » in fascia equatoriale terrestre, la cui origine a sua volta rimarrebbe ancora da spiegare, si sarebbe talora collassato, scaricandosi di porzioni granulometricamente autoclassate in funzione della forma, volume, massa, velocità di rotazione, distanza d'orbitazione, forma dell'orbita, densità ecc..

A sostegno dell'accettabilità di tale asserto si vuol oggi valorizzare la recente scoperta delle nuove «Lune di polveri », orbitanti attorno alla Terra: Lune costituite appunto da iniziali inspessimenti delle polveri residuali dei periodici ipotetici collassi tectitogenetici delle fascie costituenti i presunti anelli.

Quest'ipotesi, che pecca per il carattere estremamente stocastico degli assunti, non apporta luce alla questione, ma rigetta il problema della genesi delle Tectiti ancora più lontano, potendo costituire, tutt'al più, un particolare momento da inserire nel quadro post-genetico, quando saranno chiarite numerose questioni d'ordine più immediato.

Ancor più vaghe e prive di sostanziale contenuto si rivelano le ipotesi prospettanti che il «Gegenschein» (o controluminosità zodiacale), le nubi di librazione (v. sopra le «Lune di polveri») nonchè la luce zodiacale stessa, generati da particolari fenomeni ottici comunque causati da «polveri», debbano ritenersi ulteriori prove dell'esistenza dell'antico anello orbitante equatorialmente attorno alla Terra.

Pianetini, asteroidi, grandi meteoriti, orbitanti in maniera notevolmente anomala a seguito dell'effetto di accumulo, nel lungo giro di milioni di anni, di perturbazioni gioviane, possono — nell'opinione di autorevoli studiosi della « vicina » astronomia — pervenire a collisioni producenti ulteriori frantumazioni e notevoli vo-

lumi di fusi. Questi, generandosi nel vuoto ed in ambiente di bassa gravità, privo di densa atmosfera ed acqua, entro uno spazio astronomicamente ristretto e compreso entro i confini della grande fascia asteroidale, possono benissimo acquisire le composizioni chimiche, le proprietà fisiche, i caratteri petrografici esibiti dal vetro degli innumerevoli esemplari raccolti ed esaminati.

Una siffatta genesi giustifica ampiamente la relativa brevità del viaggio spaziale, la cui durata è tale da non consentire la produzione del <sup>26</sup>Al da spallazione cosmica; giustifica altresì le vaste dimensioni delle fasce ed aree di dispersione terrestre delle Tectiti e rende inoltre conto dell'altissimo numero degli esemplari componenti uno sciame tectitico.

Infine giustifica l'orientamento delle fasce di dispersione dei grandi sciami tectitici secondo circoli massimi.

## BIBLIOGRAFIA

Nella presente nota riassuntiva si elencano solo taluni degli Autori maggiormente rappresentativi ai fini della ricerca condotta e si rinvia alla memoria originale per l'elencazione completa della letteratura consultata.

- [1] MAYER J. (1788), Ueber d. boehmischen Gallmeyarten, d. Grüne Erder d. Mineralogen, d. Chrysoliten von Thein u.d. Steinard u. Kuche, Boehm. Gesell., Wiss. Abh., Jahr. 1787, Prague u. Dresden, 265-268.
- [2] Jeans H.H. (1919), Problems of cosmogony and stellar dynamics, The University press, Cambridge.
- [ 3] UREY C.H. (1957), Origin of tektites, Nature, 179, 556-557.
- [ 4] BAKER G. (1959), Tektites, Mem. Nat. Museum, Victoria (Australia).
- [ 5] VON KOENIGSWALD G.H.R. (1960), Tektite studies, 1°: The age of indo-australian tektites, K. Ned. Akad. Wet., 63, 134-141.
- [ 6] MASON B. (1962), Meteorites, J. Wiley & S., New York-London.
- [7] Schnetzler C.C., Pinson W.H. (1963), The chemical composition of tektites, in: «Tektites», Editor J. O'Keefe, University Chicago, Press.
- [8] BAKER G. (1963), Form and sculpture of tektites, in: « Tektites », Ed. J. O'Keefe, loc. cit..
- [ 9] CHAPMAN D.R., LARSON H.K. (1963), On the lunar origin of tektites, J. Geophys. Res., 68, 4305-4357.
- [10] GLASS B. (1967), Mikrotektites in deep-sea sediments, Nature, 214, 372-374.
- [11] MAC DOUGALL J., LOVERING J.F. (1969), Apparent K-Ar dates on cores and excess Ar in flanges of Australites, Geoc. Cosm. Acta, 33, 1057-1070.
- [12] BARNES V.E. (1971), Age of asian tektites, Geol. Soc. Amer. Bull., 82, 1995-1996.
- [13] STORZE D., WAGNER G.A. (1971), Fission-track ages of north-american tektites, Earth & Planet. Sc. Letters, 10, 435-440.
- [14] MARGOLIS S.V., BARNES V., CLOUD P., FISHER R.V. (1971), Surface micrography of lunar fines compared with tektites and terrestrial volcanic analogues, Proceed. 1° Lunar Sc. Conf., 2° Suppl. to Geoc. Cosm. Acta.
- [15] HARMAN H.H. (1972), Modern factor analysis, The University Chicago Press.