

---

ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI  
**RENDICONTI**

---

MARIA BIANCA CITA, ANGELO CAMERLENGHI

**Effetti dell'eruzione Minoica di Santorino sulla  
sedimentazione abissale olocenica nel Mediterraneo  
Orientale**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,  
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 77 (1984), n.5, p. 177–187.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<[http://www.bdim.eu/item?id=RLINA\\_1984\\_8\\_77\\_5\\_177\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1984_8_77_5_177_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)

**Geologia.** — *Effetti dell'eruzione Minoica di Santorino sulla sedimentazione abissale olocenica nel Mediterraneo Orientale.* Nota di MARIA BIANCA CITA e ANGELO CAMERLENGHI (\*), presentata (\*\*\*) dal Socio A. Desio.

SUMMARY. — The tsunamis induced by the collapse of the Santorini caldera, during the Minoan (Bronze-age) eruption, originated gigantic turbidites deposited in the abyssal plains of the Ionian Sea as well as on the floor of small ponded basins of the Mediterranean and Calabrian ridges characterized by the so-called "Cobblestone topography".

The present paper reviews previous findings of this unusual sediment type and provides additional information concerning discoveries made during a recent oceanographic cruise (September, 1984) on the Sirte abyssal plain and Katia basin. Deep-sea cores which contain the Minoan "homogenite" described after its first identification in 1981 are 30 till now.

Three discrete types may be distinguished, each of them related to a peculiar physiographic setting.

(a) "Closed Cobblestone": several meters thick pelagic turbidites of local provenance, limited to the floor of small-sized ponded basins within the Mediterranean and Calabrian ridges.

(b) "Abyssal Plain": more than 10 m thick turbidites recorded in the Messina and Sirte abyssal plains. Their source area is very large and the composition includes terrigenous sand.

(c) "Open Cobblestone": this type is exclusive of the outer slopes of the Mediterranean ridge facing the Sirte A.P. Unlike in types (a) and (b), the base of Minoan homogenites is erosional instead of depositional. Occurrence of this unusual sediment type is not limited to the depressions but extends to positive physiographic features, as a result of up-hill migration of turbidites originated by the tsunami waves on the African margin, after crossing the narrow Sirte abyssal plain.

### PREMESSA

Santorino è un'isola vulcanica del mare Egeo la cui storia eruttiva è iniziata 1,5 milioni di anni fa nel Pleistocene inferiore (Pichler e Friedrich, 1980). L'evoluzione magmatica va da basalti ricchi in allumina verso daciti e riodaciti che caratterizzano l'ultimo ciclo eruttivo dei tre riconosciuti (Puchelt, 1978).

Attualmente l'isola è uno strato-vulcano collassato in seguito a una gigantesca eruzione che ha provocato il crollo del tetto della camera magmatica e lo

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

(\*\*) Nella seduta del 24 novembre 1984.

sprofondamento della caldera. Questa eruzione, avvenuta circa 3500 anni fa, è nota come eruzione dell'età del bronzo o Minoica in quanto avrebbe provocato il declino e la fine della civiltà minoica a Creta e nella stessa Santorino (scavi archeologici di Akrotiri; Sparks, 1979).

L'eruzione minoica si è sviluppata in tre fasi: la prima, a carattere pliniano, ha provocato la caduta di pomici per uno spessore di circa 3 metri; la seconda, dovuta all'invasione della camera magmatica da parte dell'acqua marina, ha provocato una esplosione con forte componente laterale accompagnata dalla deposizione di ignimbriti potenti fino a 20 m; infine la terza fase è caratterizzata da flussi di cenere che in presenza di acqua si è deposta in strati i quali denotano pulsazioni ripetute (Pichler e Friedrich, 1980).

Un forte terremoto, di cui si hanno le tracce negli scavi di Akrotiri, ha preceduto la caduta delle pomici, mentre lo sprofondamento della caldera ha accompagnato la seconda fase. La durata complessiva dell'eruzione è stata di pochi giorni, la quantità di materiali eruttati è stata stimata intorno ai 10 Km<sup>3</sup> e la potenza dell'esplosione è confrontabile con quella del Krakatoa avvenuta nel 1883 che ha causato la distruzione dell'isola e provocato un gigantesco maremoto (tsunami). Uno tsunami si sarebbe prodotto anche in seguito al crollo della caldera di Santorino (Yokoyama, 1978) com'è testimoniato da prove geologiche (livelli di pomice con composizione analoga a quella di Santorino sono stati trovati a 40 m sul livello del mare nell'isola di Anafi e a 5 m sulla costa vicino a Tel Aviv), da leggende e passi biblici.

Una campagna oceanografica effettuata nel 1978 con la nave oceanografica Eastward, con estesi carotaggi sulle dorsali Calabria meridionale e Mediterranea occidentale, ha portato alla scoperta di un tipo del tutto particolare di sedimento abissale che è stato chiamato « omogenite » e interpretato come il prodotto del passaggio dell'onda di tsunami proveniente da Santorino. Scopo di questo lavoro è di presentare una sintesi delle conoscenze che dal 1978 si sono moltiplicate e approfondite tanto da permetterci di riconoscere in dettaglio i processi deposizionali verificatisi in diverse situazioni fisiografiche e strutturali.

#### IDENTIFICAZIONE DELL'OMOGENITE E SUA CARATTERIZZAZIONE NELLE DORSALI CALABRA E MEDITERRANEA

Le dorsali Calabria e Mediterranea, di forma arcuata, con la convessità rivolta verso sud e un'elevazione di 1000 m e più sulle piane abissali adiacenti (fig. 1), sono caratterizzate dalla cosiddetta topografia a « cobblestone » (Hersey, 1965): essa presenta rilievi e depressioni contigue, con dimensioni trasversali di uno o più chilometri e dislivelli intorno a 200 m. Questa situazione è il risultato di un regime tettonico compressivo di carattere collisionale su sedimenti nei quali sono contenuti forti spessori di evaporiti messiniane (Ryan *et al.*, 1978).

Al fondo di tutte le depressioni della topografia a « cobblestone » direttamente esplorate sia nella Dorsale Calabria, che nella Dorsale Mediterranea - e

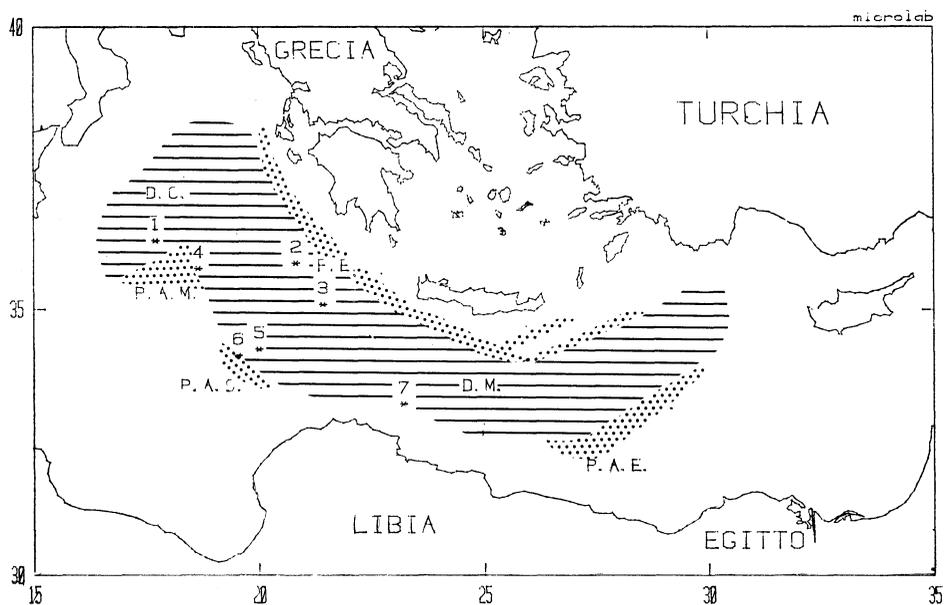


Fig. 1. - Schematizzazione della batimetria del Mediterraneo orientale e ubicazione delle stazioni di carotaggio. Il tratteggio marca le aree rilevate, il puntinato le depressioni. DC: Dorsale Calabra; DM: Dorsale Mediterranea; P.A.M.: Piana Abissale di Messina; P.A.S.: Piana Abissale della Sirte; P.A.E.: Piana Abissale di Erodoto; F.E.: Fossa Ellenica. 1: Area 4; 2: Area 3; 3: Cleft; 4: Transetto N-O; 5: Bacino Bannock; 6: Transetto Sirte; 7: Katia. Scala 1:16 000 000 circa.

solo nelle depressioni - è stato trovato un tipo di ri-sedimento che presenta le seguenti caratteristiche:

(a) composizione: fango (argilla e silt fine minori di 64 micron) omogeneo, senza strutture, di colore grigio-chiaro con contenuto medio in carbonati intorno a 30-40%;

(b) spessore straordinariamente elevato (fino a 7 m);

(c) base gradata con granulometria rapidamente decrescente verso l'alto;

(d) origine pelagica della frazione più grossolana (gusci di foraminiferi planctonici);

(e) posizione stratigrafica rigorosamente costante in tutte le carote da riferirsi all'Olocene. Tale posizione è ben identificabile in base alla presenza ricorrente del sapropel S-1, che contrassegna l'ultimo episodio di stagnazione nel Mediterraneo (Cita *et al.*, 1977) (fig. 2).

L'età dell'evento contrassegnato dall'omogenite, interpolata in base alla velocità di sedimentazione e riferita alla cronologia del Quaternario nel Mediterraneo Orientale, è comparabile con quella di 3500 anni fa stimata per l'eruzione di Santorino. Le analisi calcimetriche e granulometriche dell'omogenite

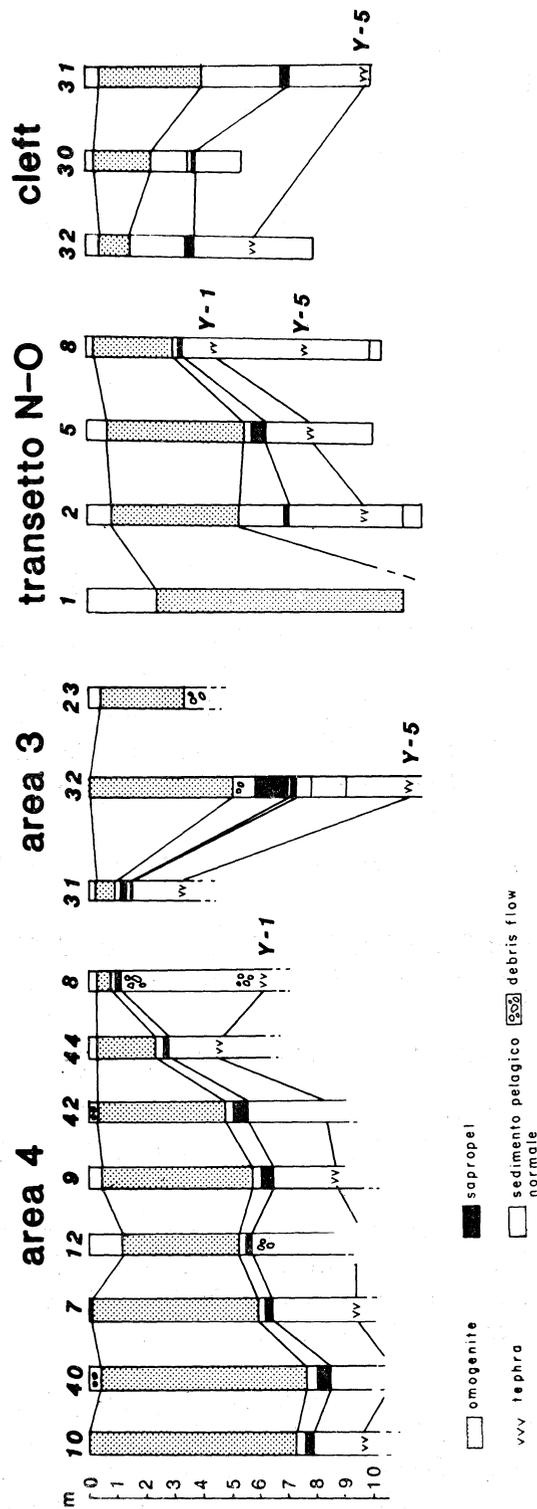


Fig. 2. - Profili delle carote contenenti l'omogenite prelevate sulla Dorsale Calabra (Area 4) e sulla Dorsale Mediterranea (Area 3, Transetto N-O e Cleft). L'ubicazione delle aree è in figura 1.

hanno confermato che si tratta di un'unica fase deposizionale (Cita *et al.*, 1982; Kastens e Cita, 1981).

Il processo che ha originato questo tipo di ri-sedimento doveva essere diverso da quello che originava le torbidite pelagiche e i debris-flows: torbidite pelagiche sono presenti nelle stesse carote che contengono l'omogenite, ma con posizione stratigrafica diversa e spessori molto ridotti (ordine del decimetro); i debris-flows sono invece presenti nelle carote prelevate al piede dei rilievi dove l'omogenite non è mai rappresentata. Le lacune di sedimentazione presenti nelle carote prelevate sui fianchi dei rilievi denunciano un denudamento dei pendii.

La fig. 3 illustra il meccanismo di deposizione dell'omogenite in seguito al passaggio dell'onda di tsunami. Calcoli sull'ordine di grandezza delle correnti

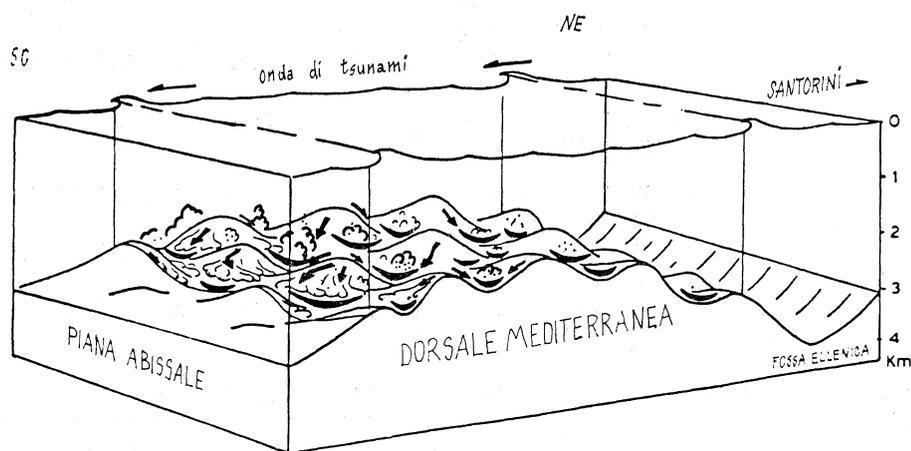


Fig. 3. - Modello raffigurante gli effetti dell'onda di tsunami sui sedimenti della Dorsale Mediterranea: i fianchi dei piccoli bacini (non in scala nel disegno) vengono scossi e il sedimento messo in sospensione si rideposita nelle depressioni sotto forma di torbidite pelagica di provenienza locale.

oscillatorie e dell'onda di pressione prodotte dallo tsunami sui sedimenti sono riportati da Kastens e Cita (1981). Essi dimostrano che la velocità dello tsunami era sufficiente a mettere in sospensione i sedimenti pelagici che ricoprivano i fianchi dei piccoli bacini e a provocarne la liquefazione.

La Tabella I indica la posizione e la profondità delle carote contenenti l'omogenite descritte finora nella Dorsale Mediterranea e nella Dorsale Calabria.

#### OMOGENITE MINOICA NEI PIANI ABISSALI ANTISTANTI LA DORSALE MEDITERRANEA

L'omogenite minoica è stata ritrovata successivamente anche nelle seguenti località:

1) Piana abissale di Messina (Hieke, 1984) e pendici adiacenti della Dorsale Mediterranea (Cita, Camerlenghi *et al.*, 1984).

TABELLA I

*Ubicazione delle carote contenenti l'omogenite prelevate fino al 1982.*

Crociera	Area	Località	Carota	Spess. omogen. cm	Prof. m.n.c.	Lat.	Long.	
Eastward 1978	Area 4	Fossa	07-PC	609	3628	36°14.5'	17°44.3'	
		Beato	09-PC	552	3625	36°16.5'	17°44.9'	
		Angelico	12-PC	403	3625	36°14.9'	17°13.8'	
			40-PC	770	3630	36°15.2'	17°43.3'	
		Bacino	42-PC	478	3592	36°16.3'	17°43.4'	
		Botticelli	44-PC	238	3489	36°17.5'	17°43.3'	
		Bacino	10-PC	766	3832	36°14.7'	17°46.1'	
		Raffaello						
		Bacino	08-PC	44	3535	36°15.1'	17°43.1'	
	L. da Vinci							
	Area 3	Bacino	23-PC	292	3001	35°50.7'	20°50.4'	
		Electra						
		Cratere	31-PC	72	2967	35°54.7'	20°47.8	
		Ares						
Cratere	32-PC	504	3243	35°51.0'	20°57.2'			
	Aphrodite							
Bannock 1981	Cleft		32-PC	147	3717	35°08.9'	21°25.7'	
			30-GC	189	3756	35°06.3'	21°26.1'	
			31-PC	396	3761	35°05.7'	21°27.2'	
Bannock 1982	Trans. N-O	p.a. di	01-PC	> 900	4087	35°45.2'	18°30.6'	
		Messina	02-PC	390	4015	35°44.6'	18°36.7'	
		Bacino	05-PC	480	3983	35°45.4'	18°39.9'	
		margin.	08-PC	270	3733	35°48.8'	18°52.1'	

2) Piana abissale della Sirte e pendici adiacenti della Dorsale Mediterranea.

3) Due depressioni situate al largo della Cirenaica, dove la Dorsale Mediterranea viene in contatto con il margine continentale africano.

L'omogenite minoica non è stata ritrovata né nella piana abissale di Erodoto, né sulle pendici circostanti della Dorsale Mediterranea (Cita, Beghi *et al.*, 1984).

La Tabella II riporta posizione e profondità delle 12 nuove carote in cui è stata rinvenuta l'omogenite, carote prelevate durante una crociera della nave oceanografica Bannock del C.N.R. nel settembre 1984. La fig. 4 mostra le colonnine stratigrafiche semplificate di queste carote.

TABELLA II

*Ubicazione delle carote contenenti l'omogenite prelevate nel 1984.*

Crociera	Area	Località	Carota	Spess. omogen. cm	Prof. m.n.c.	Lat.	Long.
Bannock 1984	Sirte	Bacino Bannock	03-GC	> 285	3519	34°17.2'	20°01.0'
	Trans. Sirte	p.a. Sirte	14-PC	> 985	3858	34°09.1'	19°31.7'
		Rilievo	15-PC	158	3817	34°10.0'	19°34.0'
		marg.	16-PC	131	3804	34°10.8'	19°34.0'
		marg.	19-PC	10	3635	34°22.3'	19°35.9'
		Bacino	23-GC	35	3185	34°19.8'	19°44.5'
		marg. p.a. Sirte	22-PC	465	3830	34°10.0'	19°33.7'
	Katia	marg.	24-PC	90	2499	33°16.2'	23°13.1'
		Bacino	29-PC	333	2580	33°15.5'	23°13.0'
		»	30-GC	372	2421	33°16.5'	23°09.6'

Le caratteristiche dell'omogenite deposta in questo ambiente sono le seguenti:

a) sono composte da fango molto fine ( $< 64 \mu$ ) omogeneo e senza strutture di colore 10YR 6/2 (Munsell) grigio-nocciola chiaro;

b) lo spessore supera i 10 m nelle carote delle piane abissali (Hieke 1984, cinque carote; Bannock 1982, 01-PC; Bannock 1984, 14-PC), per cui il carotiere non raggiunge la base gradata;

c) nelle carote del transetto della piana abissale della Sirte (Bannock 1984, 22-PC, 15-PC, 16-PC) la base dell'omogenite appoggia su sedimenti del Pleistocene superiore, più antichi del sapropel S-1 che è olocenico;

d) l'omogenite, a differenza delle aree a topografia a «cobblestone», non si trova solo al fondo dei bacini, ma anche sui rilievi. La carota BAN-84 22-PC è stata prelevata ai piedi e la BAN-84 15-PC alla sommità del primo di una serie di rilievi esplorati con i sistemi Sea Beam e Sea Marc. La carota BAN-84 16-PC sulla sommità del secondo rilievo.

Le osservazioni c) e d) non sono quindi compatibili con il modello espresso dalla fig. 3, per cui è necessario proporre un altro modello che meglio si adatti alla fisiografia di una piana abissale lunga e stretta come quella della Sirte (fig. 5). L'effetto dell'onda di tsunami sulla scarpata continentale nord-africana ha provocato un flusso torbido che ha percorso un dislivello tale ( $> 3000$  m) per cui ha raggiunto velocità sufficienti a permettergli di attraversare la stretta piana

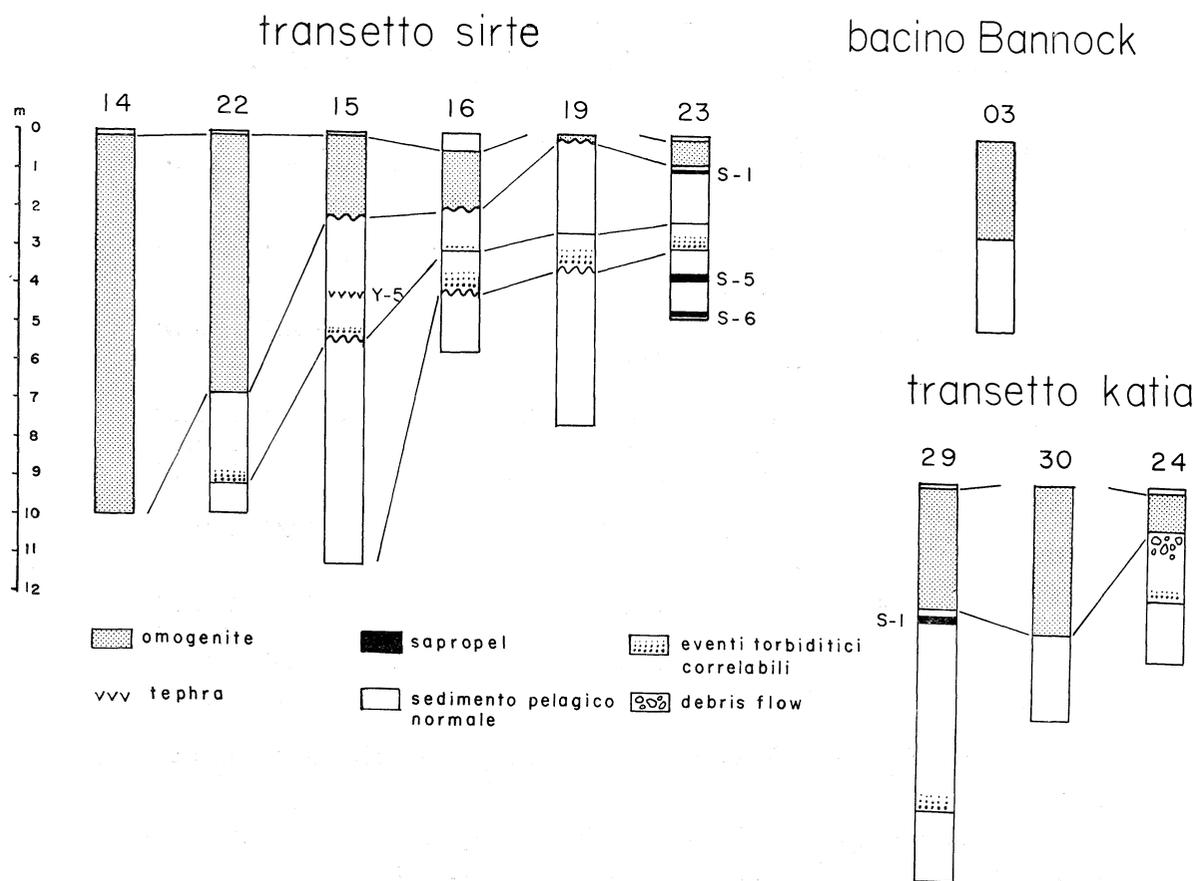


Fig. 4. - Profili delle carote contenenti l'omogenite prelevate durante la crociera BAN-84: notare la posizione apparentemente diversa della omogenite rispetto alla fig. 2 (vedi la spiegazione nel testo).

abissale e risalire per circa 200 m le pendici esterne della Dorsale Mediterranea che hanno pendenza inferiore a  $1^\circ$ , erodendo alla base i sedimenti.

Questo meccanismo spiega le lacune di sedimentazione alla base dell'omogenite e la presenza di detrito terrigeno nella parte inferiore, gradata.

Un accenno particolare merita la carota BAN-84 23-GC prelevata ad una profondità di 3185 m all'estremo nord del transetto e situata su un ripiano circondato da deboli rilievi sia a nord che a sud; dato lo spessore modesto di questo deposito (circa 50 cm) e la sua posizione stratigrafica normale sopra il sapropel S-1, la sua deposizione è avvenuta secondo il primo modello proposto.

A nord del transetto abbiamo rinvenuto l'omogenite minoica in una carota prelevata al fondo della maggiore depressione del Bacino Bannock, un bacino anossico dove ha luogo precipitazione attuale di gesso, a una profondità di 3519 m (BAN-84, 03-GC). Il suo spessore è sconosciuto perché non ne è stata raggiunta la base, ma comunque è superiore a 2.5 m. In questa carota, date

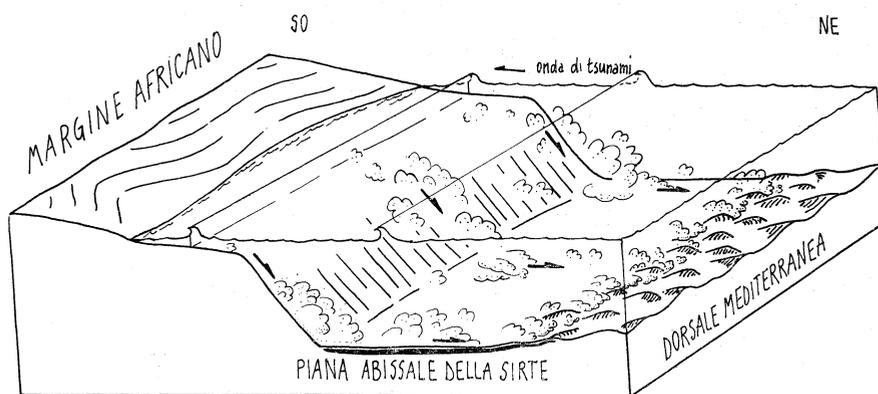


Fig. 5. - Modello raffigurante gli effetti dell'onda di tsunami sui sedimenti delle piane abissali e dei margini esterni della Dorsale Mediterranea: gigantesche torbiditi, innescate in acque basse vicino alla costa, percorrono l'intera piana abissale e risalgono le pendici opposte erodendole.

le condizioni euxiniche, i sedimenti soprastanti sono neri, e la omogenite stessa ha un colore grigio molto più scuro del normale.

L'omogenite minoica dell'età del bronzo è stata trovata anche in tre carote prelevate al fondo di un piccolo bacino a N del promontorio della Cirenaica (area Katia) a quota 2580 m (BAN-84, 29-PC), sull'orlo nord di questo bacino (BAN-84, 24-PC) e al fondo di un bacino sospeso a ovest e a quota 2421 m (BAN-84, 30-GC). La Tabella III riporta le caratteristiche di spessore, granulometria e base delle omogeniti qui ritrovate: si può osservare che il maggior contenuto in sabbia è nella carota proveniente dal bacino più elevato dove la

TABELLA III

*Rapporto tra le granulometrie fini, medie e grossolane nell'omogenite delle carote 29, 24, 30 (area Katia).*

N. Carota	Prof. m.n.c.	Fisiografia	Spessore (cm)	Granulometria cm - %
29-PC	2580	centro del Bacino A	333	argilla 239 = 72% limo 39 = 12% sabbia 55 = 16%
24-PC	2499	margine Nord Bacino A	90	argilla 81 = 90% limo — — sabbia 9 = 10%
30-GC	2421	limite Sud Bacino B	372	argilla 105 = 28% limo 15 = 4% sabbia 252 = 68%

base è erosiva, mentre nella carota del bacino più profondo il contenuto in sabbia è minore e il contatto di base normale. Questa situazione suggerisce quindi per quest'area un meccanismo di deposizione simile a quello proposto per le unifiti (Stanley, 1981; vedi discussione successiva).

#### CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il modello di deposizione legato allo tsunami di Santorino da noi proposto per spiegare la presenza di eccezionali torbiditi pelagiche con spessori e caratteristiche inconsueti nei sedimenti abissali del Mare Ionio, ha avuto una chiara conferma nelle 19 carote in cui l'omogenite è stata successivamente ritrovata nei settori sud-occidentali della Dorsale Mediterranea. Come previsto dal modello, è stata provata geologicamente anche l'assenza di questi depositi nei settori sud-orientali della dorsale stessa dove, data la particolare configurazione del fondale, la velocità dell'onda di tsunami sarebbe stata insufficiente a provocare la liquefazione dei sedimenti e la loro conseguente risedimentazione. Inoltre, mentre si pensava che l'omogenite non potesse mantenere la sua identità nelle piane abissali dove gli eventi torbiditici sono comuni, imponenti e ripetitivi, si è potuto dimostrare che anche nelle piane abissali di Messina e della Sirte, nonché nelle depressioni situate al piede del promontorio della Cirenaica, l'omogenite dell'età del bronzo è presente e perfettamente riconoscibile.

I meccanismi di accumulo e di trasporto sono diversi in un grande bacino di migliaia di chilometri quadrati e con rilievi circostanti di migliaia di metri rispetto ai piccoli bacini caratteristici della topografia a «cobblestone». Mentre infatti in questi piccoli bacini la base dell'omogenite è sempre deposizionale e non erosiva e la derivazione è locale (quindi pelagica) prodotta dalla messa in sospensione dei sedimenti inconsolidati che ricoprono i rilievi, con percorsi di pochi chilometri, nelle grandi piane abissali le torbiditi, durante la loro discesa lungo grandi pendii, si arricchiscono di componenti terrigene e acquistano velocità, per cui possono risalire deboli pendii erodendo alla base.

Stanley (1981) ha definito le *unifiti* come prodotto finale dell'accumulo di torbiditi distali che discendono lungo una scarpata interrotta da bacini intermedi (slope basins); questi intrappolano le frazioni più grossolane della torbida nelle zone prossimali e causano l'accumulo della parte più fine in forti spessori alla base della scarpata. Nel caso dei bacini a nord della Cirenaica, dove la topografia è adatta a questo tipo di processo, l'omogenite e l'unifite coincidono.

## BIBLIOGRAFIA

- CITA M.B., VERGNAUD-GRAZZINI C., ROBERT C., CHAMLEY H., CIARANFI N. e D'ONOFRIO S. (1977) – *Paleoclimatic record of a long deep sea core from the Eastern Mediterranean.* « Quat. Res. », 8, 205-235.
- CITA M.B., MACCAGNI A. e PIROVANO G. (1982) – *Tsunami as triggering mechanism of Homogenite recorded in areas of the Eastern Mediterranean characterized by the Cobblestone topography.* In « Marine Slides and other Mass Movements », S. Saxon and J.K. Nieuwenhuis editors, Plenum Press, N.Y., 233-260.
- CITA M.B., CAMERLENGHI A., KASTENS K.A. e MCCOY F.W. (1984) – *New Findings of Bronze Age Homogenites in the Ionian Sea: Geodynamic Implications for the Mediterranean.* « Marine Geol. », 55, 47-62.
- CITA M.B., BEGHI C., CAMERLENGHI A., KASTENS K.A., MCCOY F.W., NOSETTO. A., PARISI E., SCOLARI F. e TOMADIN L. (1984) – *Turbidites and Megaturbidites from the Herodotus Abyssal Plain (Eastern Mediterranean), unrelated to Seismic Events.* « Marine Geol. », 55, 79-102.
- HERSEY J.B. (1965) – *Sedimentary basins of the Mediterranean Sea.* « Colston Res. Soc. Papers », 17, 75-91, Butterworth, Londra.
- HIEKE W. (1984) – *A thick holocene Homogenite from the Ionian Abyssal Plain.* « Marine Geol. », 55, 63-78.
- KASTENS K.A. e CITA M.B. (1981) – *Tsunami-induced sediment transport in the Abyssal Mediterranean Sea.* « Geol. Soc. Am. Bull. », 92, 845-857.
- PICHLER H. e FRIEDRICH W.L. (1980) – *Mechanism of the Minoan eruption of Santorini* In « Thera and the Aegean World », 2, 15-30, Londra.
- PUCHELT H. (1978) – *Evolution of the volcanic rocks of Santorini.* In « Thera and Aegean World », 1, 131-146, Londra.
- RYAN W.F.B., CITA M.B., BLECHSCHMIDT G., CHAYES D., CHEZAR H., FOIS E., HARVIE W., KIDD R.B., MALINVERNO A., MILLER E.L., PATACCA E., RADOICIC R., RAWSON M. e SCANDONE P. (1978) – *“Cobblestone” topography in the Eastern Mediterranean. Preliminary results of a transponder-navigated coring program following a deep-tow survey, Southern Calabrian Ridge (area n. 4).* In: *Int. Meet. on Geodynamic and Biodynamic Effects of Messinian Salinity Crisis in the Mediterranean.* « Acc. Naz. Lincei », Rome. (abstract).
- SPARKS R.S.J. (1979) – *The Santorini Eruption and its consequences.* In « Endeavour », 3, 27.
- STANLEY D.J. (1981) – *Unifites: structureless muds of gravity-flow origin in Mediterranean basins.* « Geomar. Lett. », 1, 77-83.
- YOKOYAMA Y. (1978) – *The tsunami caused by the prehistoric eruption of Thera.* In « Thera and the Aegean World », 1, 277-286, Londra.