

GIOACCHINO GENCHI, SEBASTIANO CALVO e ACHILLE LUGARO

LE SALINE DI MARSALA.
1. CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

RIASSUNTO

In tre saline situate sulla sponda interna dello Stagnone (costa occidentale della Sicilia) sono state eseguite, nel corso di un anno, periodiche osservazioni chimico-fisiche ed è stato studiato il ciclo dei nutrienti. Le saline esaminate sono state scelte tra i bacini abbandonati o sottoutilizzati e tra le vasche ancora in funzione. La salinità e la temperatura, con le loro notevoli oscillazioni lungo l'arco dell'anno, si presentano come i fattori dominanti. Durante il periodo estivo le concentrazioni di $N-NH_3$ e $N-NO_3^-$ sono invertite rispetto al mare. Ciò è probabilmente dovuto ad un assorbimento preferenziale di $N-NH_3$ da parte degli organismi fotosintetizzanti e/o ad un rallentamento nell'attività dei batteri ammonificanti a causa degli elevati valori di salinità e temperatura. Il rapporto N/P è sempre di molto superiore a 15/1.

SUMMARY

The salt works of Marsala: physico-chemical characteristics.

The main physico-chemical parameters and the nutrients cycle in three salt-works located near the inner side of the Stagnone (Western coast of Sicily) were examined monthly for a period of one year. One of the salt basins is still in operation while the other two are no longer in production. Salinity and temperature appear to be the dominant factors. In the summer time the $N-NH_3$ and the $N-NO_3^-$ concentrations are reversed with respect to the sea, probably owing to the preferential uptake of $N-NH_3$ by autotrophs and/or a fall in the activity of ammonifiers. The N/P ratio is always higher than 15:1.

Key words: salt-works - ecology - Sicily.

INTRODUZIONE

Gli ambienti a salinità elevata, sia naturali che artificiali, sono parte integrante degli ecosistemi classificati come « ambienti estremi », secondo una definizione strettamente tassonomica (BROCK, 1979).

Molteplici sono i fattori che influenzano la composizione chimico-fisica delle acque di tali bacini come anche le condizioni che regolano i processi sedimentologici, con notevoli ripercussioni sull'attività biologica (COLE, 1968).

In particolare, alla luce delle conoscenze sviluppate sui meccanismi di adattamento biologico alle diverse condizioni di stress, sono stati rivisti e riadattati molti concetti in termini ecologici, fisiologici e biochimici (SHILO, 1979; KUSHNER, 1978, 1980).

In rapporto ad habitats naturali soggetti ad evaporazione (laghi salati, lagune costiere, aree marginali costiere...) un sistema di saline si presenta come un eccellente laboratorio « all'aperto », offrendo la possibilità, in spazi ristretti, di indagini chimiche e geomicrobiologiche comparative grazie ai processi ed alle sequenze di dinamica ionica che avvengono nelle varie vasche. Gli ambienti ed i processi, inoltre, vengono controllati sotto le medesime condizioni di temperatura, radiazione solare e vento (GOLUBIC and al., 1977).

Queste peculiarità, a differenza di impianti di recente costruzione, sono particolarmente esaltate nell'area del Trapanese e del Marsalese dove gli antichi ed originali substrati naturali sono rimasti intatti.

Nel caso specifico delle saline marsalesi, le tre prese in esame offrono anche una visione delle possibilità evolutive ed involutive che potrebbero subire questi bacini qualora cessassero le attività connesse alla lavorazione del sale. Infatti, mentre la salina Ettore-Inferna (fig. 1) è ancora in produzione, la S. Teodoro è già in via di riconversione a piscicoltura estensiva e la Genna, invece, si presenta in stato di abbandono e degrado.

Nel quadro più complessivo di una ricerca sui processi biogeochimici in ambienti soggetti ad evaporazione, vengono qui presentati i risultati ottenuti in un'indagine su alcune vasche delle tre saline di Marsala fra Maggio 1979 ed Aprile 1980, di cui in precedenza sono già state riportate alcune notizie (GENCHI e RIGGIO, 1980, 1981).

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Le vasche prese in esame nella salina S. Teodoro sono una adiacente il mare (STE) e l'altra immediatamente successiva (STI). In entram-

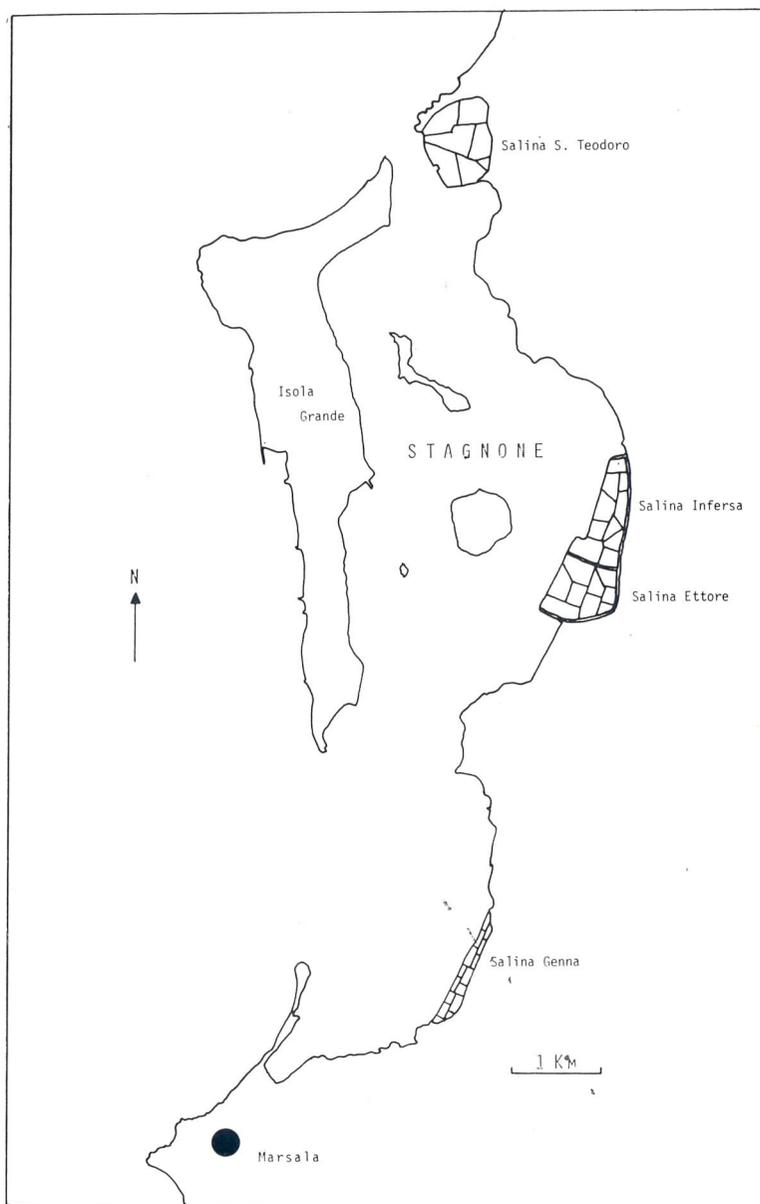


Fig. 1. — Ubicazione delle saline esaminate.

be la colonna d'acqua ha un'altezza di 70 cm, mentre il substrato si presenta diverso. La STE ha un fondo compatto e duro privo di vegetazione tranne sporadici esemplari di *Cladophora laetevirens* (Dillw.) Kütz. fissati su blocchi di tufo; la STI ha un substrato limoso, ricco in sostanza organica, ricoperto da un fitto prato a *Ruppia cirrhosa* (Petagna) Grande.

Nella salina Ettore-Infersa sono state esaminate una vasca « fredda » (SEF) e la « calda » attigua (SEC). I fondali della prima, di natura sabbiosa, appaiono privi di vegetazione macroscopica, fatta eccezione per un ricco popolamento stagionale di *Acetabularia acetabulum* (L.) Silva di colore porpora lungo le sponde; i fondali della seconda, invece, sono ricoperti da una coltre intensamente colorata di microorganismi fototrofi (in prevalenza cianobatteri) che caratterizza molte delle altre vasche. La stratificazione di tali microorganismi, unitamente a quella di solfobatteri purpurei e verdi, è stata messa in relazione alla distribuzione qualitativa ed alla penetrazione delle varie componenti cromatiche della radiazione luminosa nell'acqua e nei sedimenti (GENCHI e al., 1982).

Della salina Genna (SG), situata nella parte meridionale dello Stagnone, è stata presa in considerazione soltanto una vasca adiacente il mare. Questa salina, in stato di completo abbandono, come già detto in precedenza, è anche soggetta a notevole influenza antropica. La vasca esaminata, in contatto con il mare tramite uno stretto passaggio, costituisce, da un punto di vista vegetazionale, un'area di transizione tra lo Stagnone e le lagune chiuse. Le caratteristiche biologiche e vegetazionali dettagliate sono date da CALVO e al. (1983).

MATERIALI E METODI

I prelievi sono stati effettuati con frequenza mensile (Maggio 1979-Aprile 1980) in superficie (data la scarsa profondità delle vasche) ed in vicinanza dei bordi.

In situ sono stati misurate la temperatura esterna ed interna (Termistore), la salinità (Salinometro YSI mod. 33), e la concentrazione di ossigeno disciolto (Monitore di O₂ YSI mod. 57). Per salinità eccedenti la portata dello strumento si è diluito il campione con H₂O deionizzata e ciò è stato possibile in quanto i valori massimi riscontrati erano al di sotto di possibili mutamenti nel rapporto ionico dell'acqua di mare. I valori di O.D., per salinità > 40‰, sono stati corretti manualmente.

Per l'analisi dei nutrienti i campioni d'acqua raccolti sono stati conservati in cassette termiche a bassa temperatura fino al ritorno in labora-

torio (4 h) dove sono stati filtrati su filtri Whatman GF/C prima di essere analizzati.

Le metodologie seguite sono state: N-NH₃ - Solorzano secondo le modifiche suggerite da GRAVITZ and GLEYE (1975); N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ e P_{reat} - STRICKLAND and PARSONS (1972); P_{tot} - MANUAL FAO (1975).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Principali processi chimico-fisici

Radiazione solare, temperatura e salinità controllano il turnover dei maggiori cicli biogeochimici degli elementi ed i cambiamenti del livello dell'acqua (evaporazione-pioggia) e regolano la deposizione o la solubilizzazione di numerosi sali minerali.

Il regime idrografico è così largamente dipendente dalla relazione tra apporti di acqua dolce (piovana) o marina (immessa durante il ciclo di lavorazione) e la velocità di evaporazione. Durante quest'ultimo processo l'acqua di mare passa da una dipendenza dal tampone carbonato-bicarbonato ad una composizione solfato-clorurata fino ad una prevalentemente clorurata (tab. 1):

Tab. 1 — Solubilità molari (20°C) dei principali sali presenti nell'acqua di mare.

	CO ₃ ⁻⁻	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻
Na ⁺	2.66	2.04	6.1
Mg ⁺⁺	1.3 × 10 ⁻³	5.89	8.2
Ca ⁺⁺	1.4 × 10 ⁻⁴	1.4 × 10 ⁻²	9.3

Tuttavia, nel caso dei laghi a bacino chiuso, la composizione chimica può essere determinata da differenti rapporti ionici, per cui diverso è il processo evolutivo. In zone umide la tendenza è verso acque cloruro-carbonatiche, in zone aride verso cloruro-solfatiche (KILHAM, 1971).

Ognuno dei processi descritti si ripercuote con impatto violento sulle comunità biotiche e sulla fisiologia degli organismi, determinando una rigida selezione. Fra gli effetti maggiori:

- 1) stress osmotici per l'aumentata forza ionica;
- 2) diminuzione dell'alcalinità per precipitazione dei carbonati;
- 3) forti variazioni nella solubilità dell'O.D.

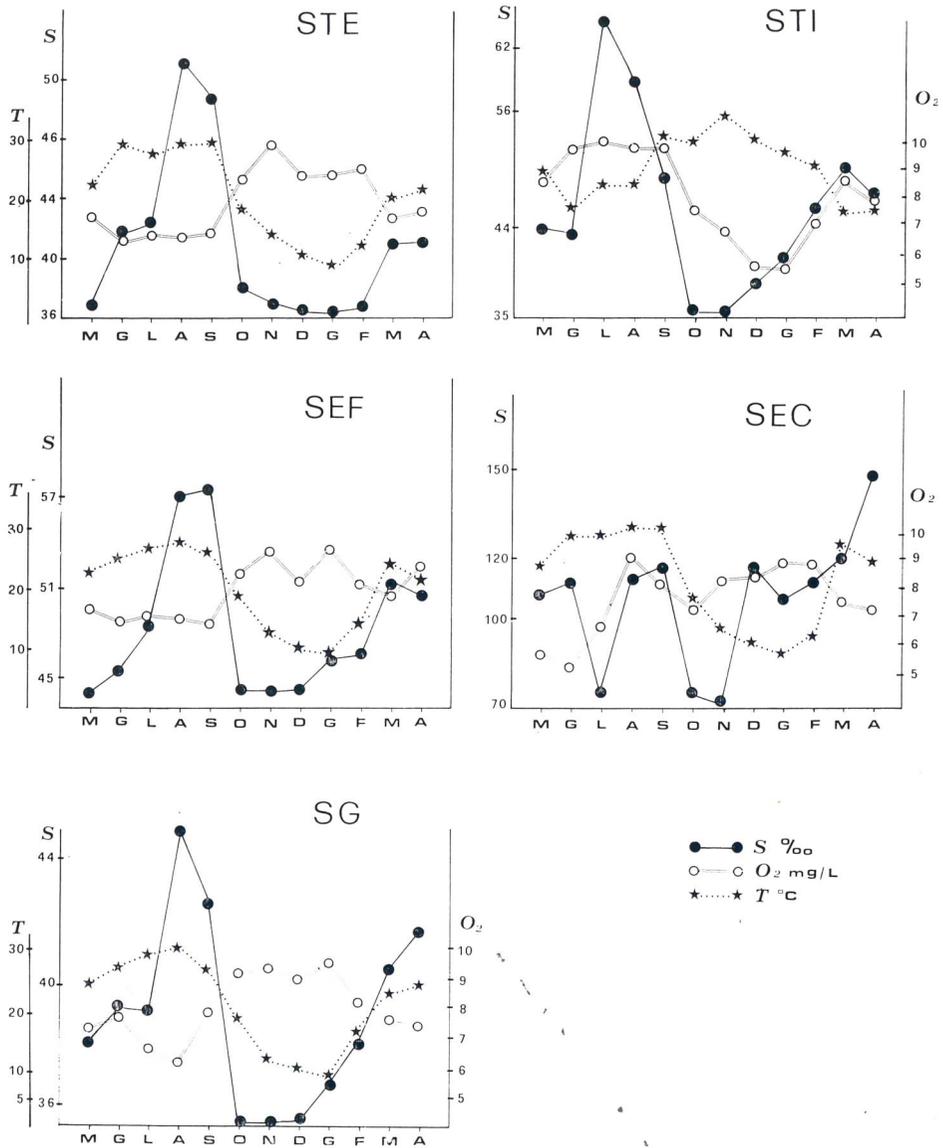


Fig. 2. — Variazioni mensili di T°C, O₂ e S‰ nelle saline di Marsala.

In fig. 2 vengono riportati gli andamenti di temperatura, O.D. e salinità nel periodo esaminato all'interno di bacini in cui i rapporti ionici fra i sali disciolti si mantengono simili all'acqua di mare.

Gli escursus termici dell'acqua nel corso dell'anno si presentano con-

siderevoli, in media 24°C, toccando punte di 35°C (dati non pubblicati), come del resto è caratteristica di bacini poco profondi e con capacità termica limitata. Le variazioni più marcate si registrano nelle vasche più interne, soggette a minori scambi con l'esterno e poste in posizione più riparata rispetto alle altre.

I profili di salinità appaiono abbastanza delineati con i massimi valori localizzati nel periodo Luglio-Settembre. Le differenze maggiori tra le varie vasche si notano nel periodo invernale e primaverile. Tutte, però, si differenziano dalla salina Genna nei valori medi, in quanto quest'ultima risente del continuo scambio col mare.

La vasca « calda » della salina Ettore-Infersa, essendo una vasca da « coltivo », presenta salinità notevolmente superiori, con minimi di 70‰ e massimi di 150‰. Le fluttuazioni, spesso considerevoli, sono dovute proprio al passaggio dell'acqua a vasche successive con conseguente apporto di acqua nuova a salinità inferiore.

Il pH da valori invernali intorno ad 8 sale fino ad oltre 8.70 nel periodo Marzo-Agosto, a testimonianza dei sensibili processi di fotosintesi che hanno luogo.

In contrasto con le alte temperature registrate in estate ed i corrispondenti valori di salinità, il contenuto in O.D. delle acque si è mantenuto su livelli notevoli, non scendendo mai sotto 5 mg/l. La causa è da ricercare nell'azione concomitante del mescolamento delle acque ad opera del vento, dell'attività degli organismi fotosintetici (CALVO e al., 1983) e del basso consumo di O.D. da parte dei sedimenti.

Ciclo dell'azoto

L'azoto presenta un ciclo annuale abbastanza marcato ed insolito. In fig. 3 sono riportati gli andamenti percentuali delle forme inorganiche.

Azoto ammoniacale e nitrico sono nettamente predominanti rispetto ad azoto nitroso. Tenendo conto del tipo di substrato dei bacini (condizioni anossiche al di sotto di alcuni millimetri della superficie), l'azoto ammoniacale è rilasciato alla superficie di contatto acqua-sedimento nel corso di processi di ammonificazione. GENOVESE (1969), del resto, ha già segnalato la presenza di batteri ammonificanti per le acque attigue dello Stagnone.

Successivamente, per via ossidativa (nitrificazione), $N-NH_3$ può arrivare fino a $N-NO_3^-$. In ogni caso tale processo appare regolato da un equilibrio dinamico, la cui risultante più evidente è la scarsa presenza di azoto nitroso.

Come si vede in fig. 2, nel ciclo annuale, la composizione percentuale delle varie forme appare invertita stagionalmente. Infatti, se si esclude

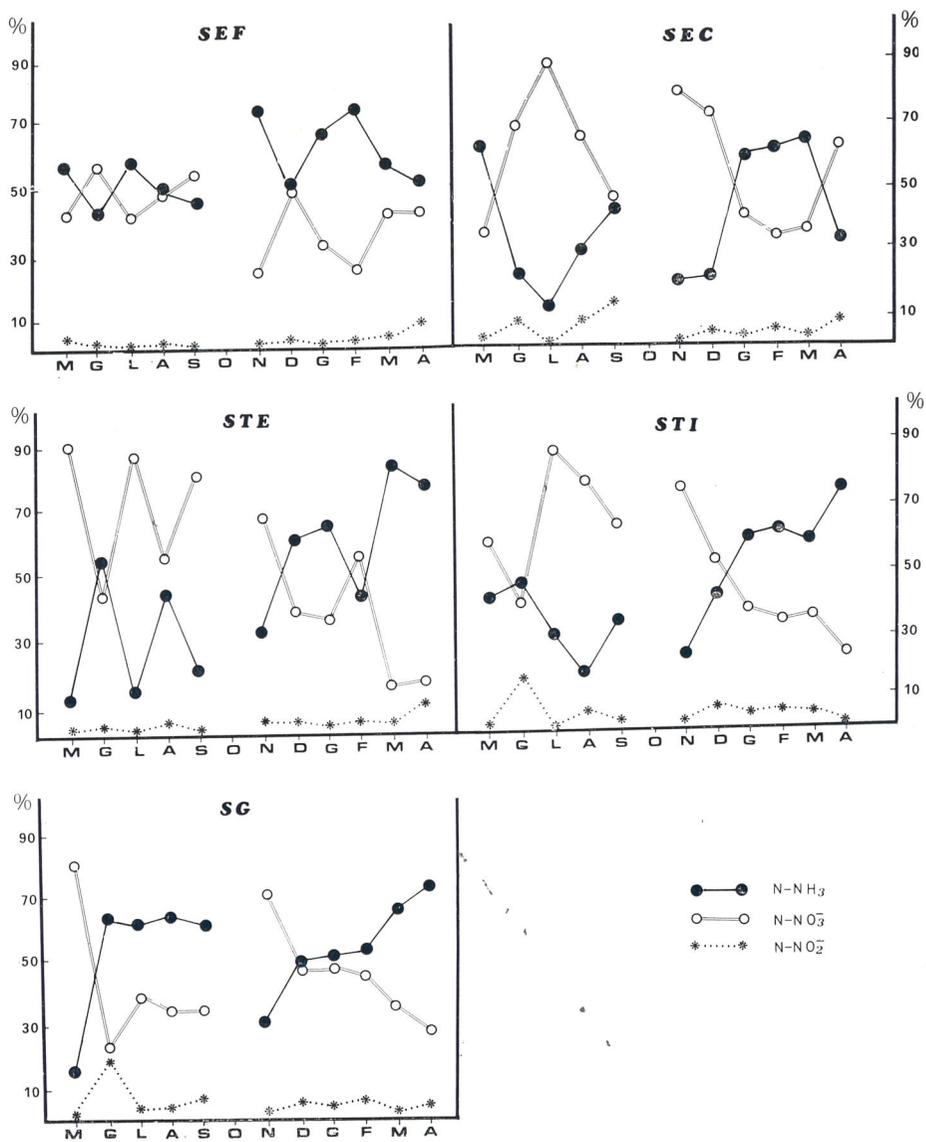


Fig. 3. — Distribuzione percentuale delle diverse forme di azoto nelle saline di Marsala.

la vasca della salina Genna, l'azoto ammoniacale è predominante in inverno, mentre il nitrico in estate. Più precisamente, nelle vasche interne delle saline S. Teodoro (STI) ed Ettore-Infersa (SEC), tale fenomeno appare accentuato soprattutto tra Maggio-Settembre, mentre l'elevata temperatura estiva non sembra apparentemente influire sui meccanismi di rilascio di $N-NH_3$ da parte dei sedimenti.

Non c'è dubbio, come prima accennato, che esiste una complessa interrelazione fra i processi in gioco. Con ogni probabilità alcune cause vanno ricercate nell'assimilazione preferenziale dello ione ammonio, rispetto al nitrico, da parte di organismi autotrofi e/o ad una diminuita attività dei batteri ammonificanti in relazione all'elevata salinità, che contrasterebbe la velocità di diffusione di NH_3 per l'aumentata temperatura.

Alcuni riscontri sperimentali (prima ipotesi) si sono ottenuti su colture in laboratorio di *Spirulina subsalsa* Oersted (CALVO et al., 1982) rinvenuta nelle vasche esaminate.

La seconda ipotesi è avvalorata dal fatto che il fenomeno risulta più accentuato nelle vasche a salinità elevata, mentre è assente nella salina Genna, in costante comunicazione con il mare aperto.

Ciclo del fosforo

La quantità di fosforo reattivo solubile riscontrata nell'arco del periodo esaminato è risultata particolarmente bassa. Da un confronto con i valori del fosforo totale si ricava che l'elemento si trova prevalentemente in forma particolata sospesa (fig. 4). Il fosforo reattivo, infatti, presenta livelli oscillanti fra il 3 ed il 20% del totale.

L'equilibrio dinamico P (soluzione) \rightleftharpoons P (sedimento) ampiamente discusso nel corso di questi anni per lagune costiere, agirebbe come un tampone per mantenere nell'acqua una concentrazione relativamente stabile in accordo con la capacità di scambio dei sedimenti, la velocità di scambio tra acqua e sedimento, e la rapidità di mescolamento (STUMM and MORGAN, 1970).

Il tempo di riciclo dell'elemento è abbastanza veloce nei più comuni ambienti naturali, tuttavia mancano esperienze dirette in ambienti a salinità elevata. I fosfati, infatti, oltre ad avere una forte tendenza ad essere adsorbiti su particelle argillose, formano sali metallici poco solubili con Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{+++} e Al^{+++} . Entrambe le condizioni sono favorite in questo caso particolare, per cui il sedimento potrebbe diventare una trappola per l'elemento ed influire in maniera determinante per le concentrazioni in soluzione.

Poiché, inoltre, non si verifica che gli strati anossici riescano a rag-

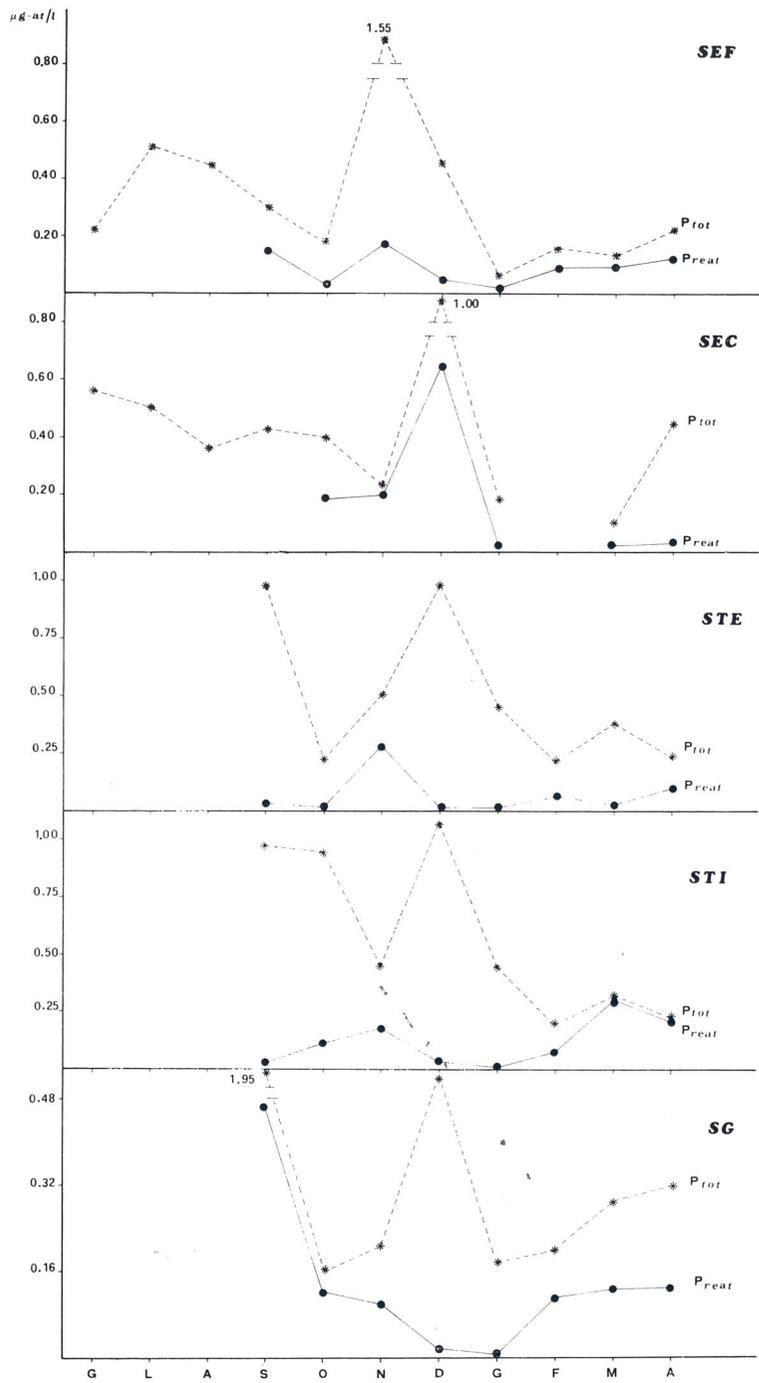


Fig. 4. — Ciclo del fosforo nelle saline di Marsala.

giungere la superficie di contatto acqua-sedimento, permettendo così il passaggio $\text{Fe}^{+++} \rightarrow \text{Fe}^{++} \rightarrow \text{FeS}$ e il conseguente rilascio di P-PO_4^{---} , il fosfato tende a rimanere intrappolato nello strato superficiale del sedimento.

Ciò è dimostrato dai picchi in concentrazione riscontrati in mesi in cui, per rimescolamento ad opera dei venti, le acque presentavano un accentuata concentrazione di materiale in sospensione, incrementando così i valori del fosforo totale (fig. 4). Nessuna distinzione, tuttavia, si è potuta fare fra materiale biologico e materiale detritico.

BIBLIOGRAFIA

- BROCK T. D., 1979 — Ecology of saline lakes. In « Strategies of microbial life in extreme environments », (M. Shilo ed.) pp. 29-47. Berlin: Dahlem Konferenzen 1978. — *Verlag Chemie*, Weinheim.
- CALVO S., CANNATA A. M., DI STEFANO L., MEZZASALMA V., PIAZZESE S., 1982 — Colture massive di *Spirulina subsalsa* Oersted come fonte di proteine. — XIV Congresso S.I.B.M., Massalubrense, *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova*, 50 (suppl.).
- CALVO S., GENCHI G., LUGARO A. e RAGONESE S., 1982 — Le saline di Marsala. 2. Caratteristiche biologiche. — *In questo stesso volume*: 209-218.
- COLE G. A., 1968 — Desert limnology. In « Desert biology », (Ed. Brown G.W.), vol. 1, 423-486. — *Academic Press*, London.
- FAO (1975) — Manual of methods in aquatic environment research. Part 1. Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution. — *FAO Fish. Tech. Pap.* (137), 238 pp.
- GENCHI G. e RIGGIO S., 1980 — The nutrient cycles in the salt basins along the marine lagoon of Marsala (Western Sicily). — *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 27: 205-206. Pté de Monaco.
- GENCHI G. e RIGGIO S., 1981 — The study of salt ponds as model of artificial ecosystems: the ecology of the salt ponds near Marsala. — *Atti I Congr. Naz. SITE*, Salsomaggiore, 1980, p. 534. Parma.
- GENCHI G., CALVO S., LUGARO A. e RAGONESE S., 1982 — Distribuzione verticale dei pigmenti fotosintetici nei sedimenti delle saline di Marsala. — *Giorn. Bot. Ital.* 116 (suppl.).
- GENOVESE S., 1969 — Données écologiques sur le Stagnone de Marsala (Sicile Occidentale). — *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 19: 823-826. Pté de Monaco.
- GOLUBIĆ S., LE CAMPION-ALSUMARD T. and SCHNEIDER J., 1977 — The salt works of Sečovlje (Portorož, Jugoslavia). A natural model for geochemistry and microbiology of evaporitic environments. — *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 24: 125-126. Pté de Monaco.
- GRAVITZ N. and GLEYE L., 1975 — A photochemical side reaction that interferes with the phenol-hypochlorite assay for ammonia. — *Limnol. Oceanogr.*, 20: 1015-1017. Lawrence.
- KILHAM P., 1971 — Geochemical evolution of closed basin water. — *Geol. Soc. Am. Absts. with Progs.*, 3: 770-772. New York.
- KUSHNER D. J., 1978 — Microbial life in extreme environments. — *Academic Press*, London.
- KUSHNER D. J., 1980 — Extreme environments. In « Contemporary microbial ecology »,

- Ellwood D. C., Hedger J. N., Latham M. J., Slater J. H. and Lynch J. M. (Eds.) 29-54. — *Academic Press*, London.
- SHILO M., 1979 — Strategies of microbial life in extreme environments. pp. 514. Berlin, Dahlem Konferenzen 1978. — *Verlag Chemie*, Weinheim.
- STRICKLAND J. D. H. and PARSONS T. R., 1972 — A practical handbook of seawater analysis. — *Bull. Fish. Res. Bd.*, Canada 167. Ottawa.
- STUMM W. and MORGAN J. J., 1970 — *Aquatic chemistry*, John Wiley & Sons, New York.

Indirizzo degli Autori. — G. GENCHI, A. LUGARO - Laboratorio di Ecologia, Istituto di Zoologia, via Archirafi 18, 90123 Palermo (I). — S. CALVO - Istituto di Botanica, via Archirafi 38, 90123 Palermo (I).