



Eletttra G.L.T.

***Studio sulla formazione naturale
di schiume***

Giugno 2002



Laboratorio di Biologia Marina

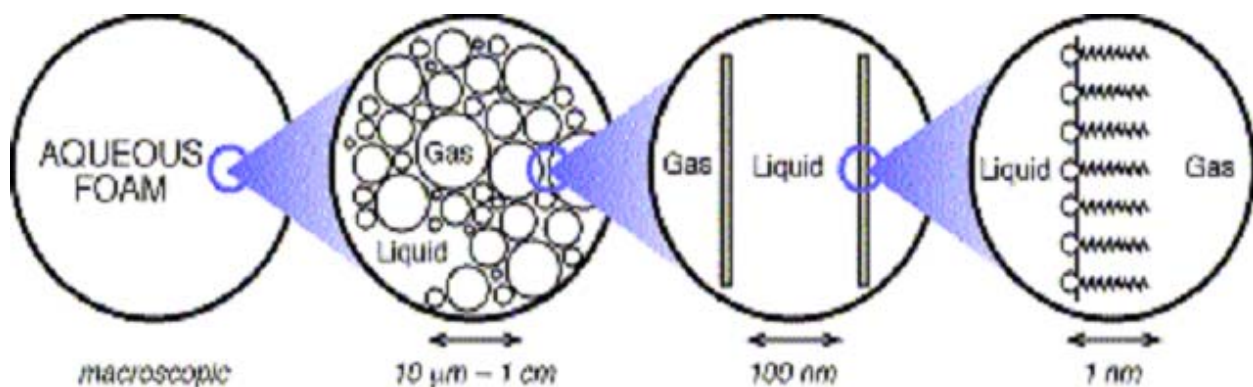
Via Auguste Picard 54
34010 Trieste

www.univ.trieste.it/~mabiolab/

INTRODUZIONE

La schiuma rappresenta, per definizione, una forma di disequilibrio nella dispersione delle bolle di gas in un volume di liquido a diminuita tensione superficiale. Numerose molecole organiche, dette surfattanti, sono in grado di ridurre la tensione superficiale e pertanto risultano responsabili sia della tendenza di un liquido a formare schiume sia della stabilità della dispersione risultante.

Le molecole surfattanti, essendo costituite da una parte idrofila e da una idrofoba, tendono a raccogliersi all'interfaccia aria/acqua, orientandosi per raggiungere la condizione energeticamente più stabile. Anche la superficie delle bolle d'aria che attraversano l'acqua rappresenta un'interfaccia aria/acqua e pertanto un sito di accumulo di molecole surfattanti che circondano la bolla e costituiscono un biofilm di sostanza organica. Quando numerose bolle raggiungono la superficie, l'insieme dei biofilms costituisce la schiuma (Aubert et al. 1986).



Le proprietà fisiche delle schiume sono condizionate dalla struttura delle bolle e dal loro impaccamento che, a loro volta, dipendono dalla quantità di liquido interstiziale: le bolle sono poliedriche in schiume secche e sferiche in schiume umide. Con il passare del tempo evolvono per una combinazione di tre eventi: il drenaggio, la rottura del biofilm e la coalescenza tra le bolle grandi e le bolle piccole dovuta alla diffusione del gas. Questi processi possono essere più o meno rapidi in relazione alle caratteristiche chimiche delle molecole surfattanti coinvolte che sono acidi organici, alcoli, fosfolipidi e proteine (Napolitano et al. 1995). La maggior parte dei surfattanti sono molecole artificiali nonostante siano ben note molecole naturali che derivano principalmente dalla decomposizione della sostanza organica. Possono essere oli, zuccheri, albumine o altre proteine. Gli acidi umici, ad esempio, molecole di origine vegetale, rappresentano i più comuni surfattanti nei laghi.

In natura il processo di formazione di schiume si verifica all'interfaccia aria/acqua di numerosi corsi d'acqua, laghi e aree costiere. Il moto ondoso o il vento determinano un forzato arricchimento d'aria lungo la colonna d'acqua e se la concentrazione di sostanza organica, parallelamente alla presenza di ioni come il calcio, è considerevole (Degens & Ittekkot 1986) si formano schiume. Le schiume rappresentano il substrato ideale per ulteriori aggregazioni di sostanza organica sia in forma disciolta che particellata e tale processo viene utilizzato industrialmente negli impianti di trattamento degli scarichi (Conway & Ross 1980) e negli impianti di trattamento degli acquari (Spotte 1979). Il materiale che viene rimosso dalle schiume comprende sostanze organiche come proteine, acidi grassi, polisaccaridi e fosfolipidi ma anche particelle biologiche di piccole dimensioni come virus, batteri ed altri microrganismi (Johnson et al 1986). In un lavoro del 1979, Spotte ha evidenziato, infatti, una considerevole riduzione del DOC (Dissolved Organic Carbon) e del POC (Particulate Organic Carbon) parallelamente ad un decremento della torbidità in mare a seguito della comparsa di schiume.

In mare le schiume sono spesso associate alla presenza di microalghe ed in particolare di generi e specie che, nel corso del loro ciclo di sviluppo, formano colonie nelle quali le cellule si raggruppano all'interno di matrici gelatinose. Un esempio molto studiato riguarda la primnesiofica *Phaeocystis* (Chang 1983) che, nei mari del Nord, è ritenuta il principale responsabile dei grandi ammassi schiumosi che si manifestano lungo le coste. Lo sviluppo di una fioritura di questi organismi che, nel loro stadio iniziale di sviluppo sono cellule flagellate ed evolvono come colonie globulari gelatinose, determina un incremento considerevole di materia organica la quale, associata ad un rimescolamento intenso della colonna d'acqua, forma schiume dense e abbondanti. Tale fenomeno avviene soprattutto alla fine della fioritura, quando la sostanza organica inizia il processo di decomposizione e l'idrolisi enzimatica libera, probabilmente, molecole surfattanti.

SCOPO DEL LAVORO

Durante l'ultima settimana di maggio (2002) è stata osservata un'intensa formazione di schiume nel tratto di mare prospiciente il comprensorio industriale siderurgico di Servola. Il fenomeno è stato studiato per evidenziare l'origine delle schiume stesse e verificare se la loro formazione potesse essere riconducibile a processi naturali o alla captazione d'acqua per il sistema di refrigerazione dell'impianto Elettra G.L.T.

Il giorno 31 maggio 2002 è stato effettuato un campionamento d'acqua sia ad alcuni metri dall'impianto di captazione, a circa 30 centimetri di profondità, sia all'uscita del collettore dell'acqua di raffreddamento, prima che venga scaricata nel bacino.

Su entrambi i campioni sono state eseguite analisi chimiche volte a determinare la presenza di tensioattivi anionici di sintesi, la concentrazione di carbonio organico disciolto (DOC) e di carboidrati totali, ed analisi biologiche per determinare l'abbondanza e la composizione dei popolamenti pico-, nano e microplanctonici.

Entrambi i campioni d'acqua sono stati sottoposti ad un esperimento di "bubbling" per verificare la capacità intrinseca di formare schiume.

METODI

Tensioattivi: i tensioattivi anionici sono stati determinati con il metodo del blu di metilene (MBAS) secondo gli Standard Methods (APHA, WEF, AWWA 1992).

DOC: il carbonio organico disciolto (DOC) è stato analizzato per ossidazione catalitica ad alta temperatura (Sugimura & Suzuki, 1988) utilizzando un analizzatore Shimadzu TOC-5000A. Soluzioni di potassio idrogeno ftalato sono state utilizzate come standard di riferimento. Il coefficiente di variabilità (C.V.) per ciascun campione analizzato è risultato sempre inferiore al 2%.

Carboidrati: i carboidrati totali sono stati analizzati con il metodo colorimetrico MBTH (Parsons et al., 1984) previa idrolisi acida con HCl 1N (Burney & Sieburth 1977)

Bubbling: per riprodurre in laboratorio una turbolenza nell'acqua, simile a quella stimata nelle condizioni naturali, aria compressa è stata insufflata in una colonna in vetro di circa due metri di altezza. L'aria è stata dispersa per mezzo di un setto poroso. Alla sommità della colonna è stato predisposto un collettore per raccogliere le eventuali schiume (Fig. 1).

Picoplancton: il picoplancton comprende organismi di dimensioni variabili tra 0.2 e 2 μm (Sieburth et al. 1978). In questa classe dimensionale vengono compresi i batteri (sia eterotrofi che chemiotrofi), i cianobatteri, alghe, alcuni funghi, piccoli protozoi, gameti e spore di animali e piante superiori

(Bruni & Acosta Pomar 1990). Le abbondanze cellulari sono state stimate utilizzando il metodo di Porter & Feig (1980) che prevede l'uso del fluorocromo DAPI (4' 6-diamidino-2-fenil indolo). Aliquote pari a 10 ml di campione, fissate in formalina (concentrazione finale 2%) precedentemente sterilizzata, sono state colorate con 10 μ l di una soluzione di DAPI (1 mg/ml) per ottenere una concentrazione finale pari a 1 μ g/ml. 3 ml di campione sono stati filtrati su membrane di policarbonato scuro (Nuclepore) con porosità di 0.2 μ m operando con una depressione inferiore a 48 KPa. Immediatamente dopo la filtrazione le membrane sono state osservate in microscopia ad epifluorescenza utilizzando un microscopio Olympus BX 60, con un ingrandimento finale di 1000x.



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

Nanoplancton: il nanoplancton è costituito da organismi di dimensioni comprese tra 2 e 20 μ m. La componente eterotrofa è formata prevalentemente da protozoi flagellati come i coanoflagellati, crisomonadi autotrofi facoltativi o non pigmentati, euglenoidi non pigmentati, dinoflagellati ed elioflagellati (Fenchel 1988) e da piccoli ciliati alorici (Sherr et al. 1986). Alla componente autotrofa si possono ascrivere fondamentalmente primnesiofitee, prasinofitee, crisofitee, criptofitee, dinofitee e piccole diatomee (Shapiro & Guillard 1986). Le abbondanze cellulari vengono stimate utilizzando il metodo di Sherr & Sherr (1991) che prevede l'uso del fluorocromo DAPI. Aliquote pari a 50 ml di campione sono state fissate in glutaraldeide (concentrazione finale 1%) precedentemente sterilizzata e filtrate, immediatamente dopo la colorazione con DAPI (concentrazione finale pari a 1 μ g/ml) su membrana di policarbonato scuro (Nuclepore) con porosità di 0.6 μ m operando con una

depressione inferiore a 48 KPa. L'osservazione in microscopia ad epifluorescenza è stata condotta utilizzando un microscopio Olympus BX 60, con un ingrandimento finale di 1000x.

Microfitoplancton: la comunità microfitoplanctonica comprende organismi autotrofi di dimensioni variabili tra 10 e 200 μm . Il popolamento del Golfo di Trieste è principalmente rappresentato da diatomee, dinofitofite ed altri flagellati appartenenti alle classi delle clorofitofite, coccolitine, criptofitofite, crisofitofite, dictiocofitofite, euglenofitofite, primnesiofitofite e prasinofitofite (Cabrini et al., 2000). I campioni per l'analisi del microfitoplancton sono stati fissati in formalina neutralizzata (concentrazione finale inferiore al 2%). L'analisi quali-quantitativa del popolamento è stata eseguita, previa sedimentazione di subcampioni di 20 ml (metodo Utermöhl), utilizzando un microscopio rovesciato a contrasto di fase (Leitz Fluovert), ad un ingrandimento di 320X.

Microzooplancton: il microzooplancton è costituito da tutti gli organismi eterotrofi (protozoi e prime fasi larvali di metazoi) di dimensioni comprese tra 20 e 200 μm . L'analisi dei popolamenti microzooplanctonici è stata effettuata su subcampioni di 50 ml ottenuti dalla sedimentazione, e successiva concentrazione, di campioni di 2 l d'acqua, fissati in formalina neutralizzata (concentrazione finale inferiore al 2%). La determinazione ed il conteggio sono stati eseguiti in camere di sedimentazione utilizzando un microscopio rovesciato (Leitz Fluovert) a contrasto di fase, ad un ingrandimento di 200 X.

RISULTATI

L'acqua campionata lungo il tratto di costa prospiciente la ferraia di Servola non evidenzia presenza di tensioattivi sintetici anionici sia prima della captazione sia al momento del rilascio.

Le concentrazioni di DOC sono lievemente più elevate prima della captazione con valori superiori a quanto mediamente rilevato nel Golfo di Trieste nel periodo ottobre 1998-settembre 2001 (De Vittor et al. 2002).

DOC	Campione	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	\pm Dev. St.
	Entrata TQ	2.665	0.014
	Uscita TQ	2.241	0.030

La concentrazione di carboidrati risulta analoga nei due campioni. La quantità di zuccheri è paragonabile a quanto si osserva in stazioni costiere del Golfo di Trieste in periodi seguenti fioriture fitoplanctoniche. L'essudazione algale contribuisce, infatti, massicciamente ad aumentare la presenza di molecole saccaridiche in acqua.

L'analisi biologica evidenzia, al contrario, una drastica differenza tra acqua in ingresso ed acqua in uscita soprattutto relativamente alla comunità autotrofa.

CARBOIDRATI TOTALI	Campione	C / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	\pm Er. St.
	Entrata TQ	1.235	0.017
	Uscita TQ	1.228	0.005

Il picoplancton autotrofo, costituito prevalentemente da cianobatteri, risulta estremamente abbondante nell'acqua in entrata raggiungendo 10^9 cell L^{-1} , valori decisamente più elevati rispetto a quanto rilevato nel Golfo di Trieste (Del Negro et al 1995). Anche la frazione nanoplanctonica autotrofa è ben rappresentata, le cellule di dimensione $>5 \mu m$ raggiungono 10^6 cell L^{-1} mentre le più piccole ($<5 \mu m$) superano il valore di 5×10^7 cell L^{-1} . Anche questa componente risulta più abbondante rispetto alle precedenti osservazioni nel Golfo di Trieste (Larato et al. 2002).

Il popolamento microfitoplanctonico si conferma costituito da diatomee, dinoficee e da numerosi altri piccoli fitoflagellati. Tra le diatomee risulta molto abbondante il genere *Cyclotella* e tra le dinoficee la specie *Prorocentrum minimum*. Il particolare più interessante è dato dalla presenza cospicua di cloroficee coloniali appartenenti probabilmente al genere *Oltmannsiella*. Tali cloroficee hanno raggiunto l'85% del popolamento fitoplanctonico totale. Alcuni stadi di crescita di molte cloroficee comprendono fasi palmelloidi in cui le cellule si aggregano favorite dalla produzione di una matrice gelatinosa.

L'intera comunità fotosintetizzante risente sensibilmente del passaggio nell'impianto, in uscita i cianobatteri non sono più evidenziabili e gli organismi nanoplanctonici subiscono una riduzione di un fattore 5.

Picoplancton (cells mL^{-1})	entrata	uscita
picoplancton eterotrofo	1161800	708513
picoplancton autotrofo	469132	0

Nanoplancton (cells L^{-1})	entrata	uscita
nanoplancton* autotrofo $< 5 \mu m$	5908224	1034944
nanoplancton* autotrofo $> 5 \mu m$	643072	160768
nanoplancton* eterotrofo	1326336	1755051

*nanoflagellati

Le abbondanze microfitoplanctoniche si riducono di un ordine di grandezza Tab1.

La componente eterotrofa, invece, sembra non risentire del percorso forzato attraverso l'impianto. Il picoplancton diminuisce lievemente mentre il nanoplancton addirittura aumenta.

Il microzooplancton (Tab 2), molto abbondante nell'acqua in entrata con un popolamento caratterizzato soprattutto da dinoflagellati tecati di piccole dimensioni appartenenti al gruppo *Diplopsalis* ($30 \mu m$) ed al genere *Protoberidinium* ($50-70 \mu m$), si riduce di quasi cinque volte ed in particolare le abbondanze degli organismi flagellati si abbassano del 20%. Nel campione prelevato all'uscita del collettore sono risultati assenti i ciliati oligotrichida di piccole dimensioni presenti, con abbondanze discrete, nel campione in entrata. Tutti gli organismi osservati nell'acqua in uscita non sembrano in ottime condizioni e soprattutto gli individui più delicati e privi di rivestimenti, quali teche o loriche, come i ciliati oligotrichida sembrano risentire maggiormente del passaggio nell'impianto di raffreddamento.

Gli esperimenti di bubbling, eseguiti su entrambi i campioni d'acqua, hanno evidenziato la comune proprietà di formare schiume. Nell'acqua prelevata in ingresso le schiume si formano più velocemente e risultano più compatte rispetto a quelle prodotte dall'acqua in uscita. Schiume più

compatte derivano da una maggior disponibilità di molecole surfattanti in grado di formare rapidamente biofilms intorno alle bolle d'aria.

Il DOC, infatti, determinato proprio sulle schiume, è risultato più concentrato in entrata. La schiuma formata dall'acqua in uscita è risultata, invece, più concentrata in carboidrati.

DISCUSSIONE

Dalle analisi effettuate si evidenzia come, nel periodo esaminato, la comunità planctonica, soprattutto quella autotrofa, si trovi in una fase di incremento di biomassa. Pico-, nano- e microfitoplancton, infatti, raggiungono valori più elevati di quelli medi del periodo (Fonda Umani 2001).

E' interessante osservare come il popolamento microfitoplanctonico sia caratterizzato dalla presenza di una microalga di piccole dimensioni (*Oltmannsiella*), scarsamente rilevata nel Golfo di Trieste, che vive libera in un determinato stadio di sviluppo ma, analogamente ad altre microalghe associate a fenomeni di formazione di schiume, sviluppa una colonia che produce una massa gelatinosa che funge da matrice.

Lo sviluppo di una comunità autotrofa così costituita può far supporre, inoltre, il rilascio di discrete quantità di materiale organico essudato, le concentrazioni di DOC risultano, infatti, superiori a quanto mediamente evidenziato per il Golfo di Trieste (De Vittor et al. 2002) e la concentrazione di carboidrati conferma l'arricchimento tipico di periodi di post-bloom. L'osservazione microscopica ha, infatti, permesso di evidenziare come il popolamento a cloroficee sia in una fase di senescenza, molte cellule appaiono rovinare, degradate e ciò favorirebbe il rilascio della matrice geligena delle colonie nonché di parte del contenuto cellulare. Le discrete quantità di batteri presenti, stante una disponibilità di substrato organico probabilmente di elevata labilità, potrebbero aver iniziato i processi di degradazione liberando così molecole surfattanti. L'acqua in entrata, infatti, sottoposta ad un forzato bubbling, forma schiuma molto rapidamente confermando la presenza di tali molecole. La schiuma, infatti, risulta considerevolmente arricchita in DOC ma non risulta particolarmente arricchita in carboidrati. Gli zuccheri prodotti dell'essudazione, che risultano generalmente più biodisponibili, vengono, infatti, utilizzati prontamente dai batteri prima che questi inizino il processo di degradazione della rimanente matrice organica.

All'uscita dall'impianto la comunità autotrofa viene drasticamente ridotta. Il biossido di cloro esercita un effetto tossico acuto sulle cellule vegetali e soprattutto su quelle di più piccole dimensioni. Il trattamento non sembra interferire, invece, con la comunità eterotrofa di piccole dimensioni mentre il popolamento microzooplancton, ed in particolare gli organismi sprovvisti di rivestimenti protettivi, risentono del passaggio nell'impianto di raffreddamento.

La quantità di sostanza organica non risulta modificata significativamente, la concentrazione di DOC e di carboidrati è praticamente identica tra il campione in entrata e quello in uscita cambiano, probabilmente, gli equilibri all'interno del pool della sostanza organica disciolta. A conferma di ciò si evidenzia come anche l'acqua in uscita, sottoposta a bubbling, formi schiume. Il processo risulta lievemente rallentato rispetto a quanto osservato con l'acqua in entrata poiché la schiuma potrebbe essere "appesantita" dalla qualità della sostanza organica che aderisce al biofilm la cui origine potrebbe essere riconducibile alla lisi cellulare cloro-mediata che si verifica lungo il percorso dell'impianto. La schiuma così formata, infatti, risulta fortemente arricchita in carboidrati, molecole forse ad elevato peso molecolare che potrebbero rallentare i processi di formazione del biofilm.

CONCLUSIONI

In conclusione si può sostenere che la formazione di schiume nel tratto di mare antistante la ferriera di Servola è un fenomeno messo in evidenza dal rimescolamento dell'acqua di mare in prossimità dell'uscita dell'impianto di raffreddamento. L'arricchimento in bolle d'aria che ne consegue agisce in modo sincrono con il parallelo incremento di sostanze surfattanti naturali in acqua, legate allo sviluppo di una comunità fitoplanctonica sostenuta da organismi in grado di formare capsule geligene analoghe a quelle tipiche delle microalghe associate alla produzione di schiume. Tutta la comunità planctonica, comunque, sembra essere in uno stato di incremento di biomassa e pertanto di incremento di sostanza organica la cui degradazione porta alla formazione di molecole surfattanti.

La clorazione, che viene effettuata durante il percorso dell'acqua lungo l'impianto, e l'eventuale incremento termico non influenzano il fenomeno di formazione di schiume.

MICROFITOPLANCTON	Entrata	Uscita
31-05-2002	0 m	0 m
BACILLARIOPHYCEAE	cell L ⁻¹	cell L ⁻¹
Cerataulina pelagica		800
Cyclotella sp.	170000	2600
Cylindrotheca closterium	2500	
Dactyliosolen fragilissimus		200
Leptocylindrus danicus	2500	
Navicula sp.p.		400
Pseudo-nitzschia delicatissima	2500	200
Pseudo-nitzschia seriata		400
DINOPHYCEAE		
Ceratium furca	2500	200
Ceratium fuscus	10000	400
Dinophysis sacculus	2500	200
Gonyaulax polyedra	7500	
Gymnodinium sp.		3000
Oblea sp.	7500	
Prorocentrum minimum	97500	23800
Prorocentrum micans	20000	1000
Prorocentrum sp.		200
Forme indeterminate	20000	2600
CHLOROPHYCEAE		
cf. Oltmannsiella sp.	1705000	
CRYPTOPHYCEAE		
Forme indeterminate	150000	15000
EUGLENOPHYCEAE		
Forme indeterminate	17500	1400
PRASINOPHYCEAE		
Forme indeterminate	12500	
PRYMNESIOPHYCEAE		
Forme indeterminate	5000	2000
Fitoflagellati indeterminati	42500	4000
Diatomee	177500	4600
Dinoficee	167500	31400
Altri	1932500	22400
TOTALE	2277500	58400

Tab 1

MICROZOOPLANCTON	Entrata	Uscita
31/05/2002	ind L ⁻¹	ind L ⁻¹
PROTOZOA		
SARCOMASTIGOPHORA		
MASTIGOPHORA		
Dinoflagellida		
Diplopsalis group	164	6
Phalacroma rotundatum		2
Protoperidinium conicum	200	44
Protoperidinium cf. crassipes	4	8
Protoperidinium depressum	8	
Protoperidinium divergens	396	76
Protoperidinium cf. mediterraneum	80	20
Protoperidinium oblongum	20	4
Protoperidinium oceanicum	36	4
Protoperidinium steinii		2
Protoperidinium cf. steinii	4	
Protoperidinium spp.	80	20
Noctiluca scintillans	4	
Noctilucaceae indet.		4
CILIOPHORA		
SPIROTRICHIA		
Oligotrichida		
Strombidium spp.	292	
Tontonia spp.	4	
Strombidiidae indet.	12	
Oligotrichida indet.	136	
METAZOA		
Metazoa uova indet.	28	14
Metazoa larvae indet.	4	
ARTHROPODA		
CRUSTACEA		
COPEPODA		
Copepoda nauplii	188	104
Copepodite indet.	4	2
MICROZOOPLANCTON	Entrata	Uscita
31/05/2002	ind L-1	ind L-1
Dinoflagellida	996	190
Ciliophora non Tintinnida	444	0
Micrometazoa	224	120
TOTALE	1664	310

Tab 2

BIBLIOGRAFIA

- APHA, WEF, AWWA (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. Greenberg AE, Clesceri LS, Eaton AD (Eds) 18th edition.
- Aubert JH, Kraynik AM, Rand PB (1986). Aqueous foams. *Scientific American* 254(5): 58-66.
- Bruni V, Acosta Pomar MLC (1990). Le conoscenze attuali sul picoplancton. *Oebalia*, 16: 405-426.
- Burney CM, Sieburth JMcN (1977). Dissolved carbohydrates in seawater. II, A spectrophotometric procedure for total carbohydrate analysis and polysaccharide estimation. *Mar Chem* 5: 15-28.
- Cabrini M, Cok S, Pechciar I (2000). Dinamica e struttura del fitoplancton nella fascia costiera del Golfo di Trieste. *Biol Mar Medit* 7: 850-853.
- Chang FH (1983). The mucilage producing *Phaeocystis pouchetii* (Prymnesiophyceae) cultured from the 1981 "tasman Bay Slime". *NZ J Mar freshw Res* 17: 165-168.
- Conway RA, Ross RD (1980). Handbook of industrial waste disposal. Van Nostrand Reinhold Comp., New York.
- De Vittor C, Barbieri PL, Reisenhofer E, Fonda Umani S (2002). Distribuzione spazio temporale del carbonio organico disciolto nel Golfo di Trieste: tre anni di studio. /^o Congresso Nazionale Chimica Ambientale, Venezia giugno 2002.
- Degens ET, Ittekkot V (1986). Ca²⁺-stress, biological response and particle aggregation in the aquatic habitat. *Netherland J Sea Res* 20(2/3): 109-116.
- Del Negro P, Ramani P, Martecchini E, Celio M (1995). Distribuzione annuale del picoplancton in una stazione costiera del Golfo di Trieste. Atti 11^o Congresso A.I.O.L. Alberelli G, De Maio A, Piccazzo M (Eds): 747-756.
- Fenchel T (1988). Marine Plankton food chain. *Ann Rev Ecol Syst* 19: 19-38.
- Fonda Umani S (2001) Progetto di Monitoraggio dell'Alto Adriatico. Interreg II Italia-Slovenia. Relazione conclusiva.
- Johnson BD, Xianliang Z, Wangersky PJ (1986). Surface coagulation in sea water. *Netherland J Sea Res*, 20(2/3): 201-210.
- Larato C, Rorato M, Crevatin E, Del Negro P, Fonda Umani S (2002). Variazioni temporali dell'abbondanza nanoplanctonica nel Golfo di Trieste. *Biol Mar Medit*, in stampa.
- Napolitano GE, Richmond JE (1995). Enrichment of biogenic lipids, hydrocarbons and PCRs in Stream-surface foams. *Environ Toxicol Chem* 14: 197-201.
- Parsons TR, Maita Y, Lalli CM (1984). A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon, New York. pp. 52-71.
- Porter KG, Feig YS (1980). The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol Oceanogr* 25: 943-948.
- Shapiro LP, Guillard RRL (1986). Physiology and ecology of the marine eucaryotic ultraplankton. In: Photosynthetic picoplankton. Platt T, Li WKW (eds). *Can Bull Fish Aquat Sci* 214: 371-389.

Sherr BF, Sherr EB (1991). Proportional distribution of total numbers, biovolume, and bacterivory among size classes of 2-20 μm nonpigmented marine flagellates. *Mar Microb Food Webs* 5 (2): 227-237.

Sherr EB, Sherr BF, Paffenhofer G (1986). Phagotrophic protozoa as food for metazoans: a "missing" link in marine planktonic food webs? *Mar Microb Food Webs* 1: 61-80.

Sieburth JMcN, Smetacek V, Lenz J (1978). Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol Oceanogr* 23: 1256-1263.

Spotte S (1979). *Seawater aquariums: the captive environment*. John Wiley and Sons, N. Y.

Sugimura Y, Suzuki Y (1988). A high-temperature catalytic oxidation method for the determination of non-volatile dissolved organic carbon in seawater by direct injection of a liquid sample. *Mar Chem* 24: 105-131.



Direttore:

Prof.ssa Serena Fonda Umani

Analisi Chimiche:

Dott. S. Predonzani - carboidrati, tensioattivi, bubbling

Dott.ssa C. De Vittor - DOC

Analisi Biologiche:

Dott. A. Beran - pico e nanoplancton

Dott.ssa M. Cabrini - microfitoplancton

Dott.ssa L. Milani - microzooplancton