



ICRAM

ISTITUTO CENTRALE PER LA RICERCA
SCIENTIFICA E TECNOLOGICA APPLICATA AL MARE



*Ministero dell' Ambiente
e della Tutela del Territorio*

LE MUCILLAGINI

NELL'ADRIATICO E NEL TIRRENO

A cura di Michele Giani, Daniela Berto, Michele Cornello, Gianfranco Sartoni ed Attilio Rinaldi

Editrice Millennium

I Quaderni dell'ICRAM

DIRETTORE RESPONSABILE
Folco Quilici

COMITATO EDITORIALE
Folco Quilici, Ezio Bussoletti, Anna Maria Cicero, Franco Capodarte

COMITATO SCIENTIFICO
Gian Tommaso Scarascia Mugnozza, Francesco Cinelli,
Carlo Da Pozzo, Federico de Strobel, Antonio Di Natale,
Giuseppe Manzella, Antonio Mazzola, Giancarlo Spezie

Autorizzazione del Tribunale di Roma n° 425/2005 del 19/10/2005

ICRAM, via di Casalotti 300, 00166 ROMA

Tel. 0661570412-15, fax 0661550581, www.icram.org

Al fine di favorire la diffusione e la utilizzazione dei dati e delle informazioni, l'ICRAM autorizza la riproduzione anche parziale dei "Quaderni", purché venga richiesta l'autorizzazione e siano consegnate 3 copie dei lavori pubblicati.

Editrice Millenium srl,
Corso Duca degli Abruzzi, 42, 10129 TORINO
media2000@tin.it

INDICE

Questo quaderno	5
Premessa	7
Introduzione	9
Le mucillagini pelagiche	11
La serie storica di eventi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico	11
Dove e quando si formano le mucillagini	16
Comparsa e diffusione delle mucillagini nell'Adriatico tra il 1988 ed il 2004	17
Le mucillagini pelagiche nel mar Tirreno	21
Le mucillagini pelagiche in altri mari	22
Come si formano	22
Scheda 1. IL RUOLO DELLE SOSTANZE COLLOIDALI E DELLE MICROPARTICELLE NEI PROCESSI DI AGGREGAZIONE SU MICROSCALA	24
Chi produce le mucillagini	25
Il ruolo dei batteri nella trasformazione della sostanza organica	25
Il ruolo delle diatomee	26
Il ruolo delle dinoflagellate	27
Il ruolo dei cianobatteri	28
Infezioni virali su batteri e fitoplancton	28
Gli aggregati come bioreattori	28
Scheda 2. L'EFFICIENZA DELLA PREDAZIONE DELLO ZOOPLANCTON SUL FITOPLANCTON	29
Scheda 3. LO SBILANCIAMENTO NELLA DISPONIBILITÀ DEI NUTRIENTI HA UN RUOLO NELLA PRODUZIONE DELLA BIOMASSA ORGANICA CHE COSTITUISCE LE MUCILLAGINI?	30
Quali fattori determinano la scomparsa delle mucillagini?	32
La natura chimica degli aggregati pelagici	35
La sostanza organica	37
La componente inorganica	38
Struttura microscopica degli aggregati	40
Scheda 4. SOSTANZE UMICHE	41
Scheda 5. LIPIDI E STEROLI	42

Scheda 6. FATTORI CHIMICI E FISICO-CHIMICI INFLUENTI SUI PROCESSI DI AGGREGAZIONE NELL'AMBIENTE MARINO	43
Il ruolo dei fattori meteorologici	45
Effetti della circolazione	45
La controcorrente istriana	45
Scheda 7. LE VARIAZIONI NELL'INGRESSIONE DI ACQUE MERIDIONALI NEL BACINO ADRIATICO ED IL LORO IMPATTO	46
L'ingressione di acque meridionali	47
Variazioni nella formazione di acque dense nel nord Adriatico	47
I venti e gli effetti della turbolenza sui processi di aggregazione	47
Gli apporti di acque dolci e la stabilità verticale della colonna d'acqua	48
L'incremento delle temperature primaverili-estive ed i possibili effetti sui processi biologici	49
Misure meteorologiche	49
Misure oceanografiche	51
Misure da satellite	52
Le mucillagini bentoniche e gli effetti sull'ecosistema	55
Scheda 8. <i>NEMATOCHRYOPSIS MARINA</i> (J. FELDMANN) BILLARD	62
Scheda 9. <i>CHRYSONEPHOS LEWISII</i> (TAYLOR) TAYLOR	63
Scheda 10. <i>ACINETOSPORA CRINITA</i> (HARVEY) KORNMANN	64
Scheda 11. FORME PALMELLOIDI	65
Composizione chimica delle mucillagini bentoniche	67
Carbonio, azoto, fosforo e zolfo negli aggregati bentonici	67
La sostanza organica	68
La componente inorganica	69
Gli effetti delle mucillagini pelagiche sull'ambiente e sulle attività umane	71
Effetti sulla salute dell'uomo	71
Effetti sul turismo	72
Effetti sulla pesca	73
Effetti sugli organismi del fondale	76
Abstract	85
Riferimenti bibliografici	87
Glossario	101
Ringraziamenti	109

QUESTO QUADERNO

La nuova serie de "I Quaderni dell'ICRAM" si apre con questo quaderno che affronta compiutamente uno dei fenomeni più complessi dei mari italiani: le mucillagini pelagiche e bentoniche. L'attento lavoro scientifico che il quaderno propone, su un tema seguito con interesse anche dall'opinione pubblica quando appaiono le mucillagini nel periodo estivo, ripercorre le tappe seguite dai ricercatori che si sono dedicati al problema e, ricco di dati e di osservazioni, delinea per la prima volta, un quadro completo del fenomeno e delle sue cause e manifestazioni. Va dunque riconosciuto giusto merito a questi ricercatori e all'ICRAM, che ha offerto un volto editoriale ai loro sforzi, sicuramente atteso anche dagli ambienti scientifici.

GIAN TOMMASO SCARASCIA MUGNOZZA

Riprendiamo con questo volume una vecchia tradizione dell'Istituto: la stampa sistematica de "I Quaderni dell'ICRAM", dedicati al lavoro dei nostri ricercatori.

I nuovi criteri editoriali seguiti tendono a valorizzare al massimo le pubblicazioni. Sono stati creati due Comitati, Editoriale e Scientifico, con i nomi di personalità del Consiglio di Amministrazione e del Comitato Scientifico dell'ICRAM.

L'importanza dei lavori scientifici dei nostri ricercatori merita una collocazione editoriale di rilievo e con tutti i crismi di una comunicazione libraria agile e moderna.

FOLCO QUILICI



Stella marina su fondale ricoperto di mucillagini. Foto: Andrej Jaklin

P R E M E S S A

Dopo le prime osservazioni sugli eventi di formazione massiva delle mucillagini avvenuti tra il 1988 e 1991, è iniziata una rilevante attività scientifica sullo studio della sostanza organica disciolta e particellata, e sui microorganismi, quali diatomee, dinoflagellate, batteri e virus, per stabilirne il ruolo nella formazione delle mucillagini.

Dalle prime episodiche osservazioni condotte dal CNR e dall'ICRAM (Brambati, 1988; Andreoli et al., 1992) si è passati all'individuazione e alla focalizzazione delle problematiche scientifiche poste dal fenomeno (Giani, 1992; Vollenweider & Rinaldi, 1995; Funari et al., 1999; Manganelli & Funari, 2004). Recentemente, in seguito a specifiche ricerche multidisciplinari portate avanti da vari gruppi di ricerca nell'ambito di specifici progetti scientifici (Fonda-Umani et al., 2001; Giani et al., 2003; Smolaka et al., 2004), si è giunti ad una migliore comprensione del processo di formazione delle mucillagini.

Il presente quaderno vuole riassumere lo stato delle conoscenze su un fenomeno che risulta essere complesso e di difficile approccio, poiché è sporadico ed è distribuito in modo disomogeneo nei mari.

Un altro obiettivo è quello di divulgare le conoscenze sulla formazione degli aggregati utilizzando le informazioni acquisite nel Progetto Mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (Giani et al., 2003) ed i risultati ottenuti nelle ricerche precedenti, così da fornire un quadro complessivo ed integrato dei fattori determinanti nella formazione delle mucillagini ed eliminare alcuni luoghi comuni che derivano anche dalla scarsa divulgazione pubblica dei risultati scientifici ottenuti.



Fondale roccioso riscoperto dalla deposizione di mucillagini pelagiche.

INTRODUZIONE

La formazione delle mucillagini nei mari italiani è divenuta un evento rilevante tra la fine degli anni ottanta e l'inizio degli anni novanta, quando il fenomeno ha interessato aree molto ampie sia dell'Adriatico (Brambati, 1988; Marchetti, 1990) che del Tirreno (Calvo et al., 1995; Innamorati, 1995; Rinaldi et al., 1995). Oltre a catalizzare nel corso dei mesi estivi l'attenzione dei mass media, il fenomeno ha attirato anche l'attenzione del mondo scientifico italiano. Inoltre, il fenomeno sembra essersi sviluppato anche in altre zone del Mediterraneo: lungo le coste meridionali della Sicilia, dello Ionio (Calvo et al., 1995) e della Grecia (Gotsis-Skretas, 1995). Le mucillagini erano conosciute già nel passato e lo testimoniano i nomi popolari con cui era descritto tale fenomeno: "mare sporco", "onto de mar", "limo de mar", "seeschleime" (in tedesco), "cvitanje more" (in croato), in Adriatico (Hauk, 1872; Fonda Umani et al., 1989) e "lappa", "bromo", "sbroma", "sbromu", in Tirreno (Innamorati, 1995). Le segnalazioni provenivano spesso dai pescatori e dalle descrizioni non era possibile distinguere l'origine degli aggregati. Le mucillagini che si formano nella colonna d'acqua sono dette pelagiche e possono essere costituite dal materiale organico prodotto dal plancton e non vanno confuse con le masse di organismi gelatinosi, facilmente riconoscibili, quali salpe e piccole meduse, che possono intasare le reti. Le mucillagini bentoniche, invece, si formano sul fondo, nella fascia costiera, e possono essere costituite sia da microalghe, quali le diatomee, che da macroalghe. Considerata la loro origine diversa tratteremo in sezioni separate le mucillagini pelagiche e quelle bentoniche.



Mucillagini pelagiche: una nube, giugno 2004, Isole Tremiti.

LE MUCILLAGINI PELAGICHE

La serie storica di eventi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico

Una delle prime osservazioni, relative all'affioramento di masse gelatinose su superfici estese, risale al 1729 (Bianchi, 1746), ma la prima descrizione a carattere scientifico si riferisce solo al 1872, quando venne ipotizzato che la formazione di tali sostanze fosse determinata dalla secrezione mucosa di diatomee del genere *Nitzschia* (Castracane, 1873, 1881, 1898). Fenomeni analoghi furono osservati anche negli anni 1880, 1891, 1903, 1905, 1920, 1949 (Tab. 1; Fig. 1), come documentato dalla raccolta delle segnalazioni dell'epoca (Fonda Umani et al., 1989).

Talvolta sono stati descritti solo affioramenti in aree limitate come, ad esempio, nel 1927, in una valle lagunare veneta (Schreiber, 1928), nel 1929, nel golfo di Fiume (Zanon, 1931), nel 1941, lungo il litorale veneto (Tiozzi, 1941), nel 1973, nel Quarnero (Zavodnik, 1977), nel 1983, nel golfo di Trieste e nell'isola dalmata di Veglia (Stachowitsch, 1984) in concomitanza con una crisi anossica, nel 1984, in varie parti dell'Adriatico settentrionale e meridionale (Vilicic, 1991), nel 1986, nel Quarnero (Herndl & Peduzzi, 1988) e nel 1990, nel Quarnero ed in un'area prossima alle coste dell'Emilia Romagna (Andreoli et al., 1992).

Gli aggregati mucilluginosi pelagici sono agglomerati amorfi di materiale organico ed inorganico in cui sono inglobati batteri, cellule fitoplanctoniche, organismi zooplanctonici, materiale detritico inorganico, "pallottole fecali" e quant'altro si trovi in sospensione.

Eventi di formazione massiva di mucillagini nell'Adriatico settentrionale 1872-2004

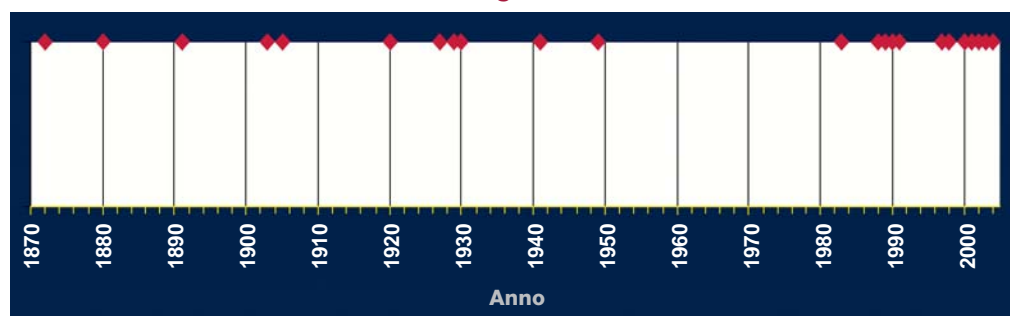


Figura 1. Serie degli eventi di formazione massiva delle mucillagini nell'Adriatico settentrionale dal 1872 al 2004.

Tabella 1. Descrizione degli eventi di formazione di mucillagini nell'Adriatico dal 1729 al 2004

Anno	Luogo	Periodo	Tipi di aggregati	Rif. bibliografico
1729	Litorale romagnolo	Estate	Aggregati gelatinosi sul fondo	Bianchi, 1746
1744	Rimini	?	?	In Molin et al, 1992 e Vollenweider 1995
1872	Golfo di Trieste		Limo	Dolnitscher et al., 1872
	Costa veneta, romagnola, istriana sino ad Ancona	Giugno-luglio	Piccoli fiocchi e grossi strati gelatinosi	Ninni, 1872
	Entrambe le coste dell'Adriatico settentrionale	Giugno-luglio	Nubi	Zanardini, 1872
	Costa marchigiana,romagnola, istriana, golfo di Trieste	Luglio	Filamenti galleggianti	Castracane, 1873
	Golfo di Trieste, costa istriana, isole dalmate	Giugno-luglio	Strati gelatinosi in sup. e sul Fondo	Syrski, 1874
1880	Da Ravenna ad Ancona	Giugno-luglio	Faldelle galleggianti	Castracane, 1881
1891	Acque occidentali ed orientali dell'Adriatico settentrionale	Agosto	Non specificato	Renier, 1891
	Da Chioggia a Trieste, Quarnero, fino alle isole ionie	Luglio	Strato gelatinoso 1-2 m sotto la sup.	Il Piccolo, 2/8/1891
	Da Trieste ad Ancona	Maggio-agosto	Strati gelatinosi in sup. ed aggregazioni nella colonna d'acqua	Levi-Morenos, L'Adriatico, 1/8/1891
	Da Trieste ad Ancona	Luglio-agosto	n.s.	Ninni, L'Adriatico, 7, 11 e 14/8/1891
	Da Trieste ad Ancona	Maggio-agosto	Filamenti e strati gelatinosi	Levi-Morenos, 1892
1903	Costa istriana, golfo di Trieste	Luglio	Strati gelatinosi sup.	Steuer, 1903
	Adriatico sett.	Agosto	Strato gelatinoso sup.	Il Piccolo, 28/8/1903
	Costa veneta, riporta le osservazioni di Steuer (1903)	Agosto	n.s.	Levi-Morenos, 1903
1905	Golfo di Trieste, costa istriana	Luglio	Fiocchi, nubi nella colonna, pellicola sup.	Cori, 1905
	Viene ripreso quanto scritto da Cori (1905)	Luglio		Il Piccolo, 6/8/1905
	Golfo di Trieste e di Venezia	Luglio	n.s.	Forti, 1906
1920	Costa istriana	Giugno-agosto	Fiocchi, nubi	Issel, 1920
	Golfo di Trieste	Agosto	Masse gelatinose sup.	Valle, 1920
	Coste romagnole, venete, istriane, golfo di Trieste, Quarnero	Luglio	Nubi subsuperficiali	Bellemo, 1920
	Costa veneta, romagnola, istriana	Agosto	Filamenti sotto a superficie	Il Piccolo della Sera, 4/8/1920
	Coste romagnole, venete, istriane, golfo di Trieste, Quarnero	Luglio-agosto	Masse gelatinose sotto la sup.	Il Giornale d'Italia, 3/8/1920

LE MUCILLAGINI PELAGICHE

Anno	Luogo	Periodo	Tipi di aggregati	Rif. bibliografico
1927	Valle della laguna di Venezia	Aprile	Piccoli fiocchetti – zolle di qualche decimetro quadrato	Schreiber, 1928
1929	Golfo di Fiume	Agosto	Materiale gelatinoso raccolto sul fondo	Zanon, 1931
1930	Golfo di Trieste	Luglio	Strati gelatinosi sup.	Il Piccolo, 18/7/1930
1941	Litorale veneto	Agosto	n.s.	Tiozzi, 1941
1949	Litorale friulano, veneto, romagnolo e marchigiano	Agosto	n.s.	Marchesoni, 1954
1973	Golfo del Quarnero	Estate	Strato limoso sul fondo	Zavodnik, 1977
1983	Golfo di Trieste	Settembre	Filamenti e nubi nella colonna, aggregati sul fondo	Stachowitsch, 1984
	Isole dalmate	Agosto	Nubi e strati cremosi superficiali	Stachowitsch, 1990
1984	Adriatico sett. e mer. (solo in alcune stazioni)	Luglio	Filamenti e nubi nella colonna, aggregati in sup.	Vilicic, 1991
1986	Golfo di Trieste	Giugno-luglio	Fiocchi e filamenti < 20 cm di lungh.	Herndl & Peduzzi, 1988
1988	Golfo di Trieste	Luglio-sett.	Filamenti, strati gelatinosi sup., fronti estesi	Brambati, 1988
1989	Adriatico settentrionale	Luglio-agosto	Aggregati grandi fino a 2 m nella collana, strato gelatinoso sup.	Degobbis, 1989
	Adriatico settentrionale	Maggio-luglio	Aggregati gelatinosi sul fondo, nella colonna ed in sup.	Fonda Umani et al., 1989
	Golfo di Trieste	Maggio-sett.	Fiocchi, filamenti, nubi, strato gelatinoso sup. aggregati sul fondo	Stachowitsch et al., 1990
	Adriatico settentrionale	Luglio-agosto	Macroaggregati	Revelante & Gilmartin, 1991
	Adriatico settentrionale	Agosto-sett.	Strato gelatinoso sup. macroaggregati sul fondo	Giani et al., 1992
1990	Golfo del Quarnero	Giugno	Strati superficiali cremosi	Andreoli et al., 1991 e 1992
	Adriatico nord occidentale (in alcune stazioni)	Luglio	Filamenti fino a 2 m di lungh., nella colonna d'acqua	Andreoli et al., 1992
1991	Golfo di Trieste	Giugno-agosto	Filamenti e nubi fino a 5 m di lungh.	KaltenbEck & Herndl, 1992
	Adriatico nord-occidentale	Agosto	Nubi, fronti superficiali estesi	Andreoli et al., 1992
1997	Adriatico settentrionale	Luglio-agosto	Nubi, strati superficiali cremosi	Penna et al., 1999; MIPA, 1997
1998	Adriatico settentrionale, Emilia Romagna	Fine giugno	Scarsi affioramenti	Regione Emilia Romagna, 1999
2000	Adriatico settentrionale	Giugno-luglio	Nubi, nastri, falsi fondi, strati cremosi superficiali	Giani et al., 2003, Precali et al., in stampa
2001	Adriatico settentrionale, tra il Po e Rovigno	Giugno-luglio	Nubi, nastri, falsi fondi, strati cremosi superficiali	Giani et al., 2003; Precali et al., in stampa
2002	Adriatico settentrionale	Giugno-luglio	Nubi, nastri, falsi fondi, strati cremosi superficiali	Giani et al., 2003; Precali et al., in stampa
2003	Adriatico settentrionale	Giugno-luglio	Nubi, nastri, strati cremosi superficiali	Osservatorio Alto Adriatico, 2003
2004	Bacino Adriatico	Giugno-agosto	Nubi, nastri, strati cremosi superficiali	Giani & Cornello, 2004



1. Fiocchi



2. Macrofiocchi



3. Filamenti



4. Nastri



5. Ragnatele



6. Nubi



7. Falso fondo



8. Coltri



9. Strato superficiale cremoso



10. Strato superficiale gelatinoso

Figura 2. Tipologie di aggregati gelatinosi (Precali et al., in stampa).

Tabella 2. Descrizione delle tipologie di aggregati gelatinosi pelagici

Tipologia	Descrizione
Fiocchi	Aggregati di piccole dimensioni, lunghi da 0,5 mm a circa 1 cm.
Macrofiocchi	Aggregati con forma subsferica, irregolare, generalmente biancastra delle dimensioni di 1-5 cm.
Filamenti	Aggregati di forma allungata che presentano dimensioni da 2 a 25 cm circa. Lo spessore è dell'ordine di alcuni millimetri. Si presentano tipicamente nella forma a cometa, cioè consistono di una "testa" a forma sferica allungata od ovale e di una "coda" allungata.
Nastri	Aggregati di forma allungata con spessore dell'ordine dei centimetri, che possono essere lunghi da alcune decine di centimetri fino ad oltre un metro; possono presentarsi anche come festoni che si estendono orizzontalmente.
Ragnatele	Aggregati, in genere di colore bianco, formati da filamenti intrecciati che possono arrivare a dimensioni dell'ordine del metro estendendosi orizzontalmente su ampie aree.
Nubi	Aggregati di grandi dimensioni tipicamente da 0,5 a 3-4 m. Possono affondare o risalire nella colonna d'acqua grazie alle bollicine di gas incorporate negli aggregati. Possono presentarsi in forma compatta allungata con una "testa" ed una o più "code" (di apparenza spettrale, <i>ghost-like</i>).
Strato cremoso superficiale	Strato superficiale di filamenti o fiocchi liberi disposti all'interfaccia acqua-aria, di consistenza cremosa spesso fino a 15 cm di colore biancastro quando è di recente formazione. Lo strato cremoso non è propriamente galleggiante sulla superficie ma è piuttosto disposto al di sotto dell'interfaccia acqua-aria.
Strato gelatinoso superficiale	Strato molto consistente e di aspetto spugnoso, galleggiante sulla superficie marina. Gli strati tendono ad essere prevalentemente di colore giallastro o marrone piuttosto che biancastri. Tali strati tendono a disporsi in bande larghe fino a 100 m e lunghe anche diverse decine di chilometri.
Falso fondo	Filamenti e macrofiocchi, in genere di colore biancastro, tendono a disporsi talvolta in uno strato ben definito in corrispondenza del picnoclino subsuperficiale formando una specie di orizzonte con spessore che va da alcuni millimetri ad alcune decine di centimetri in genere molto esteso. I filamenti o i macrofiocchi sono molto densi ma meno compatti rispetto allo strato cremoso superficiale.
Coltre o lenzuolo	Strato di aggregati gelatinosi che copre in modo uniforme rocce ed organismi sessili.

ne nella colonna d'acqua. Gli aggregati possono avere dimensioni e morfologia molto diverse e sono pertanto stati classificati in relazione alla loro forma strutturale e alla loro disposizione spaziale lungo la colonna d'acqua (Stachowitsch et al., 1990; Precali et al., in stampa). Le differenti tipologie (Fig. 2) sono descritte sinteticamente nella Tabella 2.

Dove e quando si formano le mucillagini

Le mucillagini pelagiche si formano frequentemente nel mare Adriatico, mentre meno frequentemente sono state segnalate come fenomeno su scala di bacino in altri mari italiani, quali il Tirreno. Alcune zone dell'Adriatico, quali il golfo del Quarnero e la zona centrale compresa tra il delta del Po e l'Istria, sembrano essere favorevoli alla genesi e allo sviluppo degli aggregati (Precali et al., in stampa). Il fenomeno generalmente si manifesta, dapprima, lungo le coste dalmate ed istriane e, successivamente, lungo le coste italiane, interessando talvolta anche l'Adriatico centrale e meridionale.

Gli aggregati, in particolare quelli di grandi dimensioni, tendono ad accumularsi nelle zone frontali d'incontro tra le acque pelagiche e quelle costiere, oppure in corrispondenza dei gradienti di densità dovuti alla stratificazione termica stagionale ed agli apporti di acque dolci fluviali (Fig. 3).

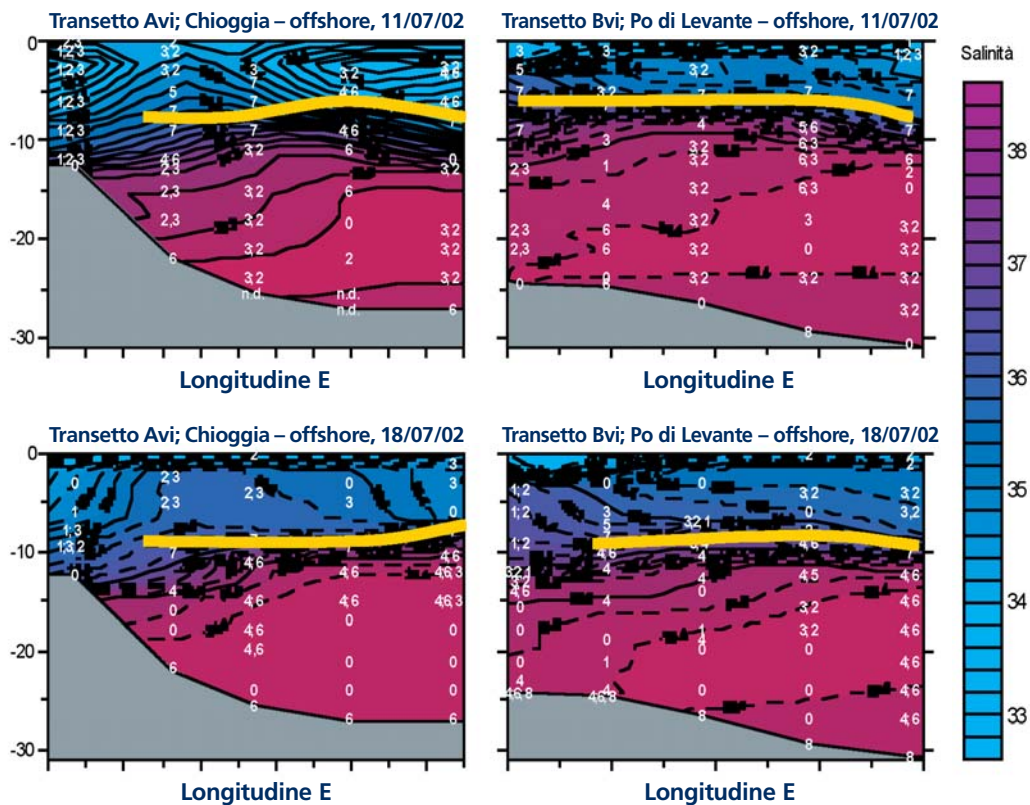


Figura 3. Formazione di un falso fondo in corrispondenza del picnolino verificato mediante osservazioni con telecamera subacquee ed ecoscandaglio l'11 luglio 2002.

L'ipotesi della formazione degli aggregati a livello del fondale (Castracane, 1873), ripresa anche in tempi recenti (Piccinetti, 1988; Bruno et al., 1993), non ha trovato conferma in molti altri studi, che hanno invece dimostrato che la formazione degli aggregati avviene in ambiente pelagico (Herndl et al., 1992; Giani et al., 1992; Malej, 1995; Degobbis et al., 1999; Precali et al., in stampa). Gli aggregati di piccole dimensioni, quali fiocchi e filamenti, si formano soprattutto dopo le fioriture fitoplanctoniche stagionali, quindi nel periodo invernale-primaverile ed in autunno, a differenza degli aggregati pelagici di grandi dimensioni che invece si formano solo nella tarda primavera ed in estate, quando si creano le condizioni di stratificazione e di circolazione che favoriscono l'accumulo di materiale organico di origine planctonica.

Comparsa e diffusione delle mucillagini nell'Adriatico tra il 1988 ed il 2004

Dopo il fenomeno massivo del 1949 (Marchesoni, 1954) per oltre tre decenni non vi furono segnalazioni della presenza di aggregati mucilluginosi, se non in aree limitate del Quarnero (Zavodnik, 1977), della Dalmazia e del golfo di Trieste (Stachowitsch, 1984).

Nell'estate del 1988, le mucillagini, sviluppatasi dapprima nelle acque orientali dell'Adriatico settentrionale (Franco, 1988), si accumularono lungo i fronti costieri occidentali penetrando all'interno della zona costiera e giungendo sino agli arenili. Gli aggregati furono segnalati già a partire dalla prima decade di luglio, nel golfo di Trieste, e nel mese di agosto il fenomeno interessò anche le coste romagnole (Regione Emilia-Romagna, 1989), marchigiane ed abruzzesi (Piccinetti, 1988). Nell'Emilia-Romagna i maggiori accumuli si osservarono nell'area immediatamente a sud del delta del Po, dove i venti di scirocco ne favorirono l'accumulo (Regione Emilia-Romagna, 1989). Il fenomeno perdurò finché, nella seconda metà di agosto, i venti da nord est e le piogge rimescolarono la colonna d'acqua, disperdendo parzialmente le masse mucilluginose e confinandole sul fondo. Tuttavia gli ammassi mucilluginosi continuarono ad essere presenti fino agli inizi di settembre.

Nel 1989 gli aggregati furono osservati nella fascia costiera emiliano-romagnola (Regione Emilia-Romagna, 1990), fin dagli inizi di luglio, coprendo un'area di centinaia di chilometri quadrati (Zambianchi et al., 1992) dalle coste italiane fino a quelle croate, dove si verificarono estesi affioramenti (Degobbis, 1990).

Nel 1990 furono osservate aggregazioni sporadiche solo in certe aree del nord Adriatico, in particolare al largo del Po (Andreoli et al., 1992) e nel golfo del Quarnero, dove si manifestarono estesi affioramenti alla fine di giugno (Andreoli et al., 1992; Degobbis et al., 1995).

Nell'ultima settimana di luglio del 1991, aggregati di grandi dimensioni furono osservati nella colonna d'acqua nell'area nord-orientale dell'Adriatico, incluso il Quarnero. Nelle due settimane successive il fenomeno si intensificò, con affioramenti in superficie nella gran parte dell'area (ad eccezione del Quarnero), per esaurirsi dopo la metà di agosto (Degobbis et al., 1995). Anche nelle acque dell'Emilia-Romagna gli aggregati furono osservati nell'ultima settimana di luglio, dapprima al largo e, successivamente, in tutta la fascia costiera, con spiaggiamenti nel ravennate e nel ferrarese tra la

prima e la seconda decade di luglio. Il fenomeno con fasi alterne si protrasse fino ad agosto (Regione Emilia-Romagna, 1992).

Dopo sei anni di assenza, almeno in forma massiva e con estesi affioramenti, le mucillagini ricomparvero nel 1997. Quando, a partire da fine giugno, furono osservate lungo le coste dell'Emilia-Romagna, sia nella colonna d'acqua che in superficie, soprattutto nel mese di agosto. Gli aggregati per azione dei venti di scirocco furono sospinti verso costa ed ammassati nei porti. Il fenomeno si protrasse con intensità variabile fino alla metà di settembre quando si verificarono delle forti mareggiate (Regione Emilia-Romagna, 1998).

Nel 1998, la formazione di mucillagini (fiocchi, filamenti, reticoli) fu osservata nella colonna d'acqua lungo le coste dell'Emilia-Romagna, alla fine di giugno. Il fenomeno si riacutizzò in agosto, soprattutto al largo, senza che vi fossero affioramenti degli aggregati sotto costa (Regione Emilia-Romagna, 1999). Le forti mareggiate che si verificarono nella prima decade di settembre contribuirono alla disgregazione e dispersione del materiale mucillaginoso.

Le informazioni riguardanti la presenza delle mucillagini dal 1992 al 1999 sono frammentarie e derivano in gran parte dai rapporti sullo stato di eutrofizzazione delle acque costiere dell'ARPA Emilia-Romagna. Con l'attivazione del progetto Mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT), finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio è stato possibile seguire l'evoluzione del fenomeno delle mucillagini in modo mirato anche in mare aperto, non solo nell'Adriatico ma anche nel Tirreno (Giani et al., 2003).

Nel 2000, le prime segnalazioni di mucillagini, nella colonna d'acqua del bacino nord Adriatico, si ebbero alla fine di maggio. Nella prima metà di giugno, si aggiunsero le osservazioni di aree più meridionali quali il Conero, nelle Marche, Termoli, in Molise, e le Tremiti, in Puglia. Nella seconda metà di giugno gli aggregati furono osservati, sia in superficie (strati cremosi) sia nella colonna d'acqua (reticoli e falsi fondi), lungo tutta la fascia costiera adriatica dall'Istria fino all'Emilia-Romagna (Fig. 4). Gli intensi eventi di Bora, che si verificarono tra la seconda e la terza settimana di luglio, portarono alla disgregazione e alla dispersione degli aggregati (Giani et al., 2003).

Nel giugno del 2001, dapprima, si verificò un aumento dell'abbondanza della neve marina e, successivamente, a partire dalla terza settimana di giugno, furono osservati aggregati in forma di nastri e ragnatele, limitatamente agli strati profondi della colonna d'acqua, nella parte più orientale e meridionale del bacino Adriatico. Al largo della fascia costiera dell'Emilia-Romagna e più a sud fino alle isole Tremiti, furono osservati accumuli di materiale mucillaginoso più consistenti senza che però si verificassero affioramenti in superficie (Fig. 4). Durante il mese di luglio il fenomeno si ridusse d'intensità e, già nella terza settimana del mese, non c'era più traccia degli aggregati nella colonna d'acqua (Giani et al., 2003).

Anche nel maggio del 2002, come nell'anno precedente, si verificò un netto aumento della densità della neve marina e, nella seconda metà del mese, al largo di Rovigno (Croazia), fu osservata la formazione dei primi reticoli di mucillagine (Fig. 4). Nella prima metà di giugno, nel bacino del nord Adriatico la presenza di aggregati di piccole dimensioni fu abbondante, mentre nei bacini centrale e meridionale fu elevata la presenza di

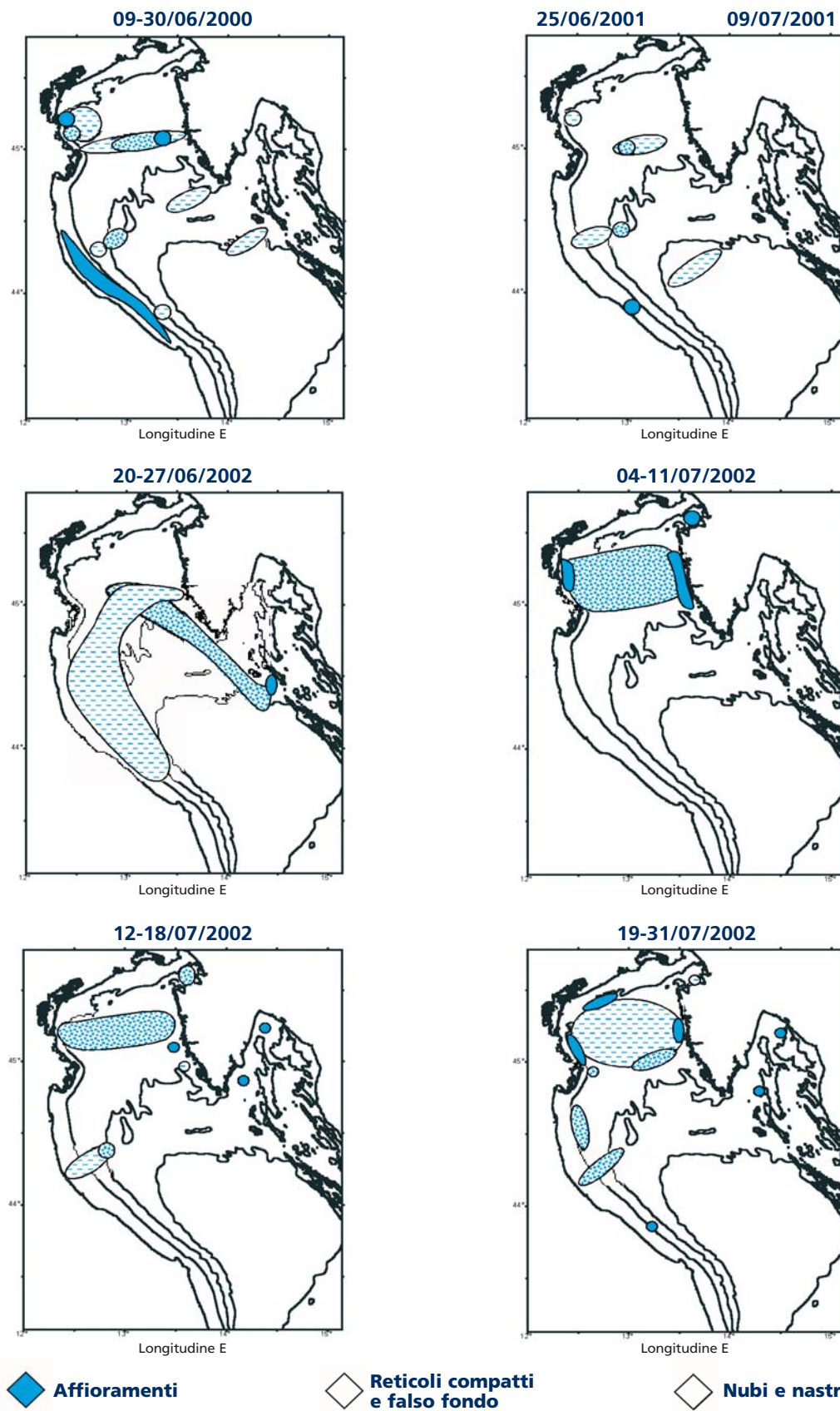


Figura 4. Evoluzione temporale nella formazione di mucillagini nell'Adriatico settentrionale nelle estati 2000, 2001, 2002 (Precali et al., in stampa).

fiocchi e filamenti. Nella seconda metà di giugno furono segnalati affioramenti lungo le coste istriane e dalmate ed il processo di formazione e diffusione delle mucillagini interessò anche le coste occidentali del bacino settentrionale dell'Adriatico. Nella seconda metà di luglio il fenomeno, malgrado fosse in regressione nell'intero bacino, continuò a mantenersi, con formazione di falsi fondi, in tutta l'area compresa tra la laguna di Venezia, il delta del Po e l'Istria. Inoltre, gli aggregati si formarono anche nell'Adriatico centrale e furono trasportati fino alle isole Tremiti (Fig. 4; Giani et al., 2003).

Nell'estate del 2003 le mucillagini furono segnalate nelle acque slovene e croate dell'Istria a partire da giugno, mentre nelle coste italiane il fenomeno non si manifestava, se non con un aumento dell'abbondanza e delle dimensioni della neve marina. A causa degli eventi meteorologici e idrodinamici, nel mese di luglio il fenomeno si esaurì in tutto il bacino (Osservatorio Alto Adriatico, 2003).

Nel 2004, a partire dal mese di maggio, si osservò un aumento del materiale in sospensione (neve marina), che alla fine del mese, nelle coste venete, iniziava ad organizzarsi in strutture filamentose di ridotte dimensioni (ARPAV, 2004). Anche nelle acque delle isole Tremiti e presso Rovigno, nella costa istriana, si verificò un aumento dell'abbondanza della neve marina. Nella prima metà di giugno, a circa 40 km al largo del delta del Po, furono individuati nella zona centrale del bacino nord Adriatico, aggregati rilevabili all'ecoscandaglio, probabilmente falsi fondi, mentre giungevano le prime segnalazioni dall'Istria. Nella seconda metà del mese fu osservata alle isole Tremiti e lungo la costa istriana, nei pressi di Rovigno, la presenza massiva di mucillagini in fase di aggregazione (reticoli e falsi fondi), mentre estesi strati cremosi erano osservabili in superficie (Giani & Cornello, 2004). Alla fine del mese di giugno e durante la prima settimana di luglio, le mucillagini risultarono presenti al largo, sia in superficie che nella colonna d'acqua, lungo gran parte della costa adriatica italiana, dal Friuli-Venezia Giulia sino al Molise, interessando localmente anche le zone di balneazione (Fig. 5). A partire dalla seconda decade di luglio le segnalazioni di aggregati mucillaginosi si fecero meno frequenti (Giani & Cornello, 2004). Il fenomeno che a luglio si esaurì nelle coste italiane, a seguito di una forte libecciate, proseguì in quelle istriane sino alla metà di agosto (Devescovi, comunicazione personale).

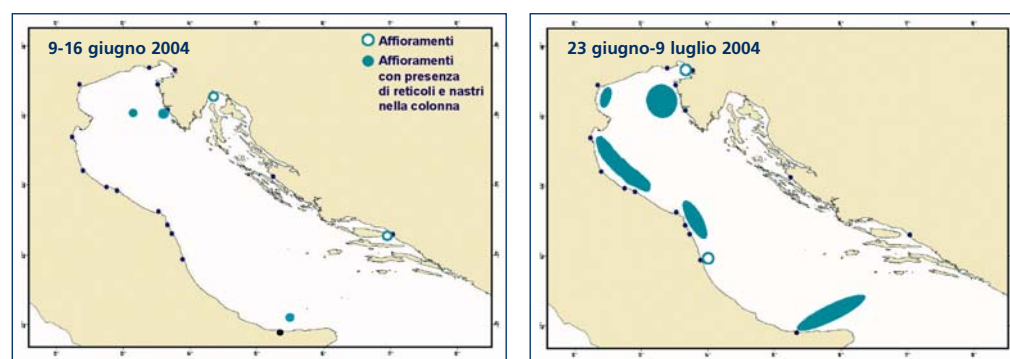


Figura 5. Evoluzione temporale nella formazione di mucillagini nell'Adriatico settentrionale nell'estate del 2004.

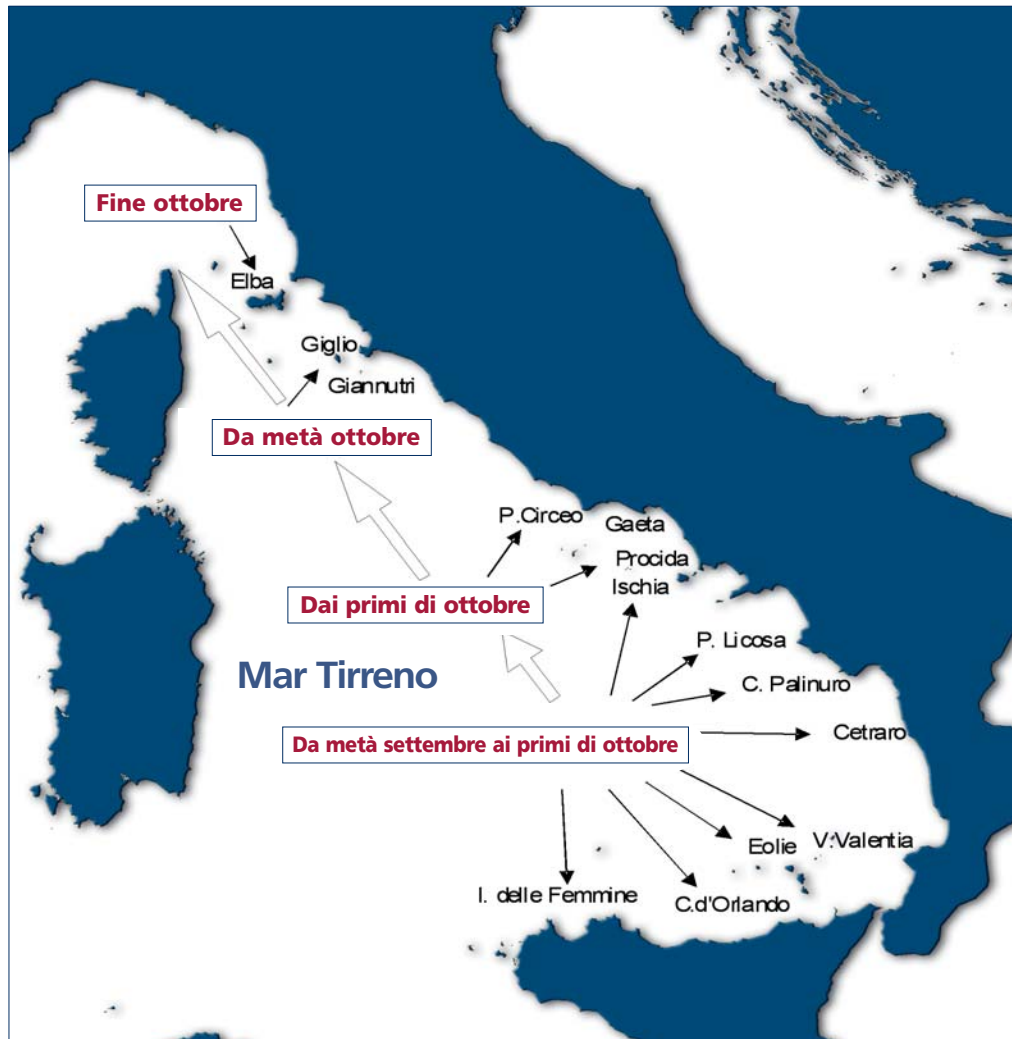


Figura 6. Diffusione delle mucillagini pelagiche da sud verso nord nel Mar Tirreno da settembre a novembre 2000.

Le mucillagini pelagiche nel mar Tirreno

Le mucillagini pelagiche nel Tirreno appaiono più raramente, almeno in forma massiva e su scala di bacino, anche se gli studi specifici a riguardo sono limitati. La prima segnalazione di un fenomeno su scala di bacino in tempi recenti risale al 1991, quando il fenomeno interessò progressivamente il Tirreno meridionale, in primavera-estate, ed il Tirreno centrale e settentrionale, in piena estate. La manifestazione fu di notevole intensità, in quanto nel golfo di Salerno le reti a strascico dei pescherecci si riempirono di mucillagine al punto tale da non poter essere salpate. Nel luglio ed agosto del 1991 furono osservate quantità rilevanti di mucillagini sotto forma di fiocchi, filamenti, cordoni e ragnatele in sospensione nella colonna d'acqua, ma nessun affioramento (Diviacco, 1992; Innamorati, 1995; Rinaldi, 1995).

Nel corso del 2000 le mucillagini pelagiche si manifestarono anche nel mar Tirreno a partire dalla seconda metà di settembre fino alla fine di ottobre. Le segnalazioni evidenziarono una diffusione da sud verso nord del fenomeno, che, in tempi successivi, interessò la Sicilia, la Calabria, la Campania, il Lazio e la Toscana (Fig. 5; Giani et al., 2003).

Le mucillagini pelagiche in altri mari

La formazione di aggregati di piccole dimensioni è un processo diffuso in tutti gli oceani, ma aggregati pelagici di grandi dimensioni simili a quelli riscontrati nel mare Adriatico si formano anche nelle acque costiere della Nuova Zelanda dove sono indicati con il termine “marine slime”, ossia “limo marino”. Presso Tasman Bay e Golden Bay, South Island, in Nuova Zelanda, il fenomeno di produzione di grandi quantità di “marine slime” è stato osservato nelle estati 1960-62, 1964, 1979 e 1981-82 (Hurley, 1982; MacKenzie et al., 2002). La formazione di queste mucillagini è già stata descritta nel passato lungo le coste neozelandesi nel 1860, 1900-1901, 1936, 1938, 1954; lo “slime” si presenta in forma di strisce bianco-giallastre e scompare improvvisamente quando si alzano forti venti. Vari studi effettuati nel periodo 1960-61 non sono riusciti ad individuare un organismo con un’abbondanza numerica tale da giustificare le grosse quantità di materiale gelatinoso: ciò ha portato alla convinzione che l’organismo produttore scompaia prima che il fenomeno diventi evidente. Generalmente le masse gelatinose intasavano le reti, impedendo la pesca a strascico, causando talvolta morie di molluschi, ma non di pesci. Recentemente MacKenzie et al. (2002) hanno individuato quale causa del fenomeno verificatosi nella Tasman Bay (Nuova Zelanda) gli essudati polisaccaridici della dinoflagellata *Gonyaulax hyalina*.

La flocculazione di aggregati gelatinosi in seguito a bloom di diatomee, capaci di secernere polisaccaridi extracellulari è stata documentata nel canale della Manica (in seguito ad una fioritura della diatomea *Coscinodiscus nobilis*; Boalch & Harbour, 1977) e nel golfo di California (Alldredge & Gotschalk, 1989). Tali flocculazioni avvengono nella colonna d’acqua e, successivamente, gli aggregati tendono a sedimentare sul fondo, talvolta però gli aggregati gelatinosi hanno una struttura amorfa che non permette di risalire facilmente agli organismi produttori.

Anche nel mare del Nord (Southern Bight) sono stati osservati macroaggregati gelatinosi, formati, in questo caso, da colonie della primnesiofitea *Phaeocystis pouchetii*. Le prime segnalazioni risalgono all’inizio del secolo e più recentemente sono stati osservati nel giugno 1980 e 1986 (Lancelot et al., 1987; Lancelot, 1995). Sebbene i batteri attacchino le colonie di *Phaeocystis* durante la fase finale della fioritura, almeno una parte del muco non viene degradata rapidamente e la schiuma derivata dal muco si accumula dopo le fioriture.

Come si formano

L’origine delle mucillagini pelagiche non è ancora del tutto chiara, anche se i risultati di recenti ricerche hanno evidenziato la formazione di un accumulo di sostanza orga-

nica particellata di origine planctonica in conseguenza alla proliferazione e decadimento di organismi quali diatomee, dinoflagellate, non sufficientemente predati dallo zooplancton (*grazing*), né degradati efficacemente dai batteri nella fase di decadimento (Giani et al., 2003). Numerosi sono gli studi che hanno accertato l'origine planctonica della matrice organica che costituisce le mucillagini sia nel golfo di Trieste (Posedel & Faganeli, 1991; Faganeli et al., 1995; Kovac et al., 1998; Kovac et al., 2002), che nell'Adriatico settentrionale (Berto et al., in stampa; Giani et al., in stampa).

Le forme di aggregazione costituite da piccoli fiocchi di dimensioni inferiori al centimetro e filamenti, poco più lunghi, sono costituenti normali del particellato delle acque Adriatiche e sono indicati con il termine generico di "neve marina". Mentre gli aggregati di grandi dimensioni, osservati in questi ultimi anni, possono essere considerati dei fenomeni eccezionali, per lo meno quando si formano in modo massivo su scala di bacino.

Il materiale organico accumulato nella colonna d'acqua può aggregarsi attraverso due meccanismi principali (Fig. 7):

- 1) formazione "istantanea" per gelificazione di microaggregati (Degobbis, 1995; Zutic & Svetlicic, 2000) con successiva formazione di macroaggregati;
- 2) aggregazione successiva di microaggregati in corrispondenza dei gradienti di densità fino a formare macroaggregati di dimensioni crescenti (Herndl, 1988; Stachovitsch, 1984; Giani et al., 1992; Precali et al., in stampa).

È stata inoltre ipotizzata anche un'aggregazione della sostanza organica colloidale refrattaria che potrebbe accumularsi da un anno all'altro nell'alto Adriatico o essere trasportata dall'ingressione di acque meridionali (Fonda Umani, comunicazione personale). Al momento però non vi sono dati sufficienti per supportare tale ipotesi. L'elevato rapporto tra carbonio organico ed azoto che caratterizza la sostanza organica colloidale disciolta (Castelli et al., 2002) sembrerebbe incompatibile con i valori non molto elevati.

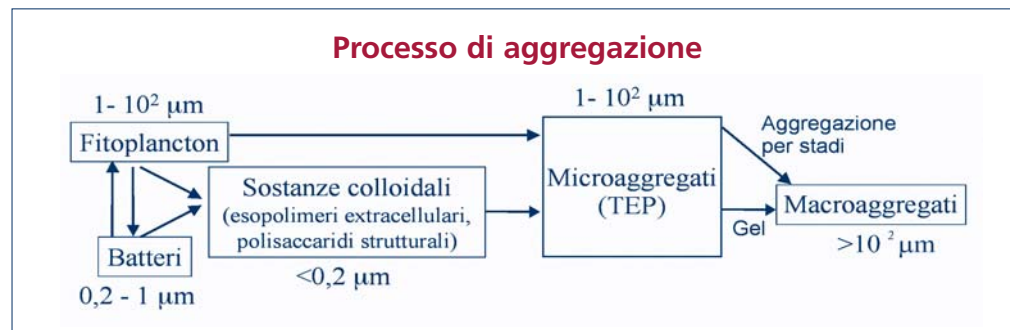


Figura 7. Schema del processo di aggregazione; il passaggio da sostanze colloidali a TEP avviene in funzione della concentrazione, del pH, delle variazioni di forza ionica, della natura dei polielettroliti e della concentrazione dei cationi Ca²⁺ e Mg²⁺. Il range dimensionale è nell'ordine dei micrometri (μm).

Scheda 1. Il ruolo delle sostanze colloidali e delle microparticelle nei processi di aggregazione su microscala

Le fioriture fitoplanctoniche producono un incremento delle concentrazioni di surfattanti disciolti e particellati nell'Adriatico settentrionale (Gasparovic & Cosovic, 2003), ascrivibile principalmente a sostanze di natura polisaccaridica e proteica. Secondo Zutic & Svetlicic (2000) grandi popolamenti microalgali producono polimeri extracellulari, principalmente polisaccaridici che possono accumularsi come sospensioni colloidali nello strato fotico sopra al picnoclino nella colonna d'acqua altamente stratificata. Con un tempo di residenza prolungato il materiale organico colloidale, eventualmente trasformato dall'attività batterica, può aggregare formando microaggregati nel range dimensionale di 1-100 μm che se, raggiungono una concentrazione critica valutata in $5 \cdot 10^7 \text{ L}^{-1}$, possono passare alla fase di gel. La persistenza e la stabilità transiente dei macroaggregati è governata da due possibili vie: il collasso del gel dovuto alla transizione gel-solido, che è un processo lento, oppure la disaggregazione e l'export del gel causato da processi fisici su grande scala, quali forti venti e correnti.

I gel di carboidrati noti come particelle esopolimeriche trasparenti (TEP) giocano un ruolo importante nell'aggregazione delle particelle che formano la neve marina alla fine delle fioriture fitoplanctoniche, specialmente di diatomee (Alldredge et al., 1993; Logan et al., 1995; Engel, 2000; Engel et al., 2002). Il TEP si origina dai carboidrati extracellulari essudati dai microorganismi, la cui formazione, differentemente dal biota vivente, non è necessariamente legata alla disponibilità di nutrienti (Corzo et al., 2000). Le particelle esopolimeriche trasparenti si possono formare anche da materiale organico $<0,2 \mu\text{m}$ soggetto a un flusso laminare (Passow, 2000). La possibilità che la transizione disciolto-particellato avvenga è stata dimostrata in vari studi (Biddanda, 1985; Robertson et al., 1982; Kepkay & Jhonson, 1988; Alber & Valiela, 1994; Stoderegger & Herndl, 1999; Chin et al., 1998). Le particelle esopolimeriche trasparenti consistono di polisaccaridi fortemente solfatati arricchiti in desossizuccheri e galattosio (Mopper et al., 1995; Zhou et al., 1998) in accordo con i risultati ottenuti sulle mucillagini (Giani et al., in stampa).

L'aggregazione di polisaccaridi disciolti prodotti dal fitoplancton è condizionata principalmente dalla formazione di TEP e, negli stadi finali della fioritura fitoplanctonica, i polisaccaridi, appena rilasciati, non si accumulano nella fase disciolta, ma vengono rapidamente sequestrati dalle particelle polisaccaridiche (Engel et al., 2004). Un incremento rapido delle concentrazioni di TEP pertanto determina un'improvvisa amplificazione del volume particellato totale nell'acqua marina. Di conseguenza aumentano le collisioni e la coagulazione con altre particelle sospese quali il fitoplancton e si forma la neve marina.

Un'ipotesi lega i processi di formazione della neve planctonica al picnoclino (Herndl & Malacic, 1987) con la formazione di masse gelatinose di grandi dimensioni. Tale ipotesi prevede un'aggregazione successiva in stadi intermedi quali filamenti, ragnatele fino alla formazione di nubi e strati superficiali cremosi (Stachovitsch et al., 1990; Giani et al., 1992; Precali et al., in stampa).

In particolare la sedimentazione sul picnoclino o l'affioramento sembrano essere alcuni dei meccanismi principali che permettono la formazione di aggregati di dimensioni superiori al metro.

È stata evidenziata una corrispondenza tra gli eventi di mucillagine verificatesi nel 2000, 2001 e 2002 e l'incremento di particelle esopolimeriche trasparenti, ben correlato con l'abbondanza microfitoplanctonica precedente all'evento (Radic et al., in stampa).

ti trovati nelle mucillagini di recente formazione (Giani et al, in stampa). Sarebbe però possibile un ruolo di una sostanza organica colloidale di recente formazione. Ulteriori ricerche sono necessarie per verificare queste ipotesi.

Chi produce le mucillagini

Le sostanze di tipo mucoso, come le mucillagini, sono molto diffuse nell'ambiente marino poiché possono essere secrete da un'ampia varietà di vegetali, di animali e dalla flora microbica (Decho, 1990). Il rilascio di sostanza organica extracellulare da parte del fitoplancton è un processo fisiologico normale, gli escreti polisaccaridici del fitoplancton possono essere rilasciati in seguito ad essudazione, lisi delle cellule, morte programmata, predazione dello zooplancton, ecc. In genere i prodotti algali extracellulari consistono principalmente di piccole molecole (< 900 Daltons) che sono utilizzabili con alta efficienza da vari organismi marini (Moller Jensen, 1983). Tra le differenti sostanze organiche rilasciate, la frazione maggiore è costituita dai carboidrati (Myklestad, 1974).

In particolare, dopo l'esaurimento dei nutrienti disciolti nell'acqua, le fioriture di diatomee rilasciano rapidamente materiale cellulare nell'ambiente circostante formando delle strutture a forma di fiocchi (Smetacek, 1985). Queste frazioni, seppur non di grandi dimensioni ed in parte soggette a degradazione batterica, potrebbero costituire la sostanza organica degli aggregati mucilluginosi. L'essudazione del fitoplancton è inoltre molto importante nella rete trofica, in quanto fornisce una parte sostanziale dell'energia necessaria per la successiva crescita batterica (Lancelot, 1984).

IL RUOLO DEI BATTERI NELLA TRASFORMAZIONE DELLA SOSTANZA ORGANICA

I batteri rappresentano gli organismi che maggiormente si concentrano negli aggregati, anche se in termini di biomassa il loro contributo non risulta essere così determinante (Herndl, 1988, 1992). Tuttavia l'elevata attività enzimatica batterica osservata negli aggregati può contribuire a determinare notevoli effetti sull'intero ciclo della sostanza organica marina (Smith et al., 1992; Smith et al., 1995; Del Negro et al., 2001). I batteri potrebbero avere un ruolo importante sia modificando le molecole organiche già presenti nell'aggregato, incrementando la formazione di una frazione più refrattaria e meno degradabile, sia producendo nuovi composti organici (Azam et al., 1999; Del Negro et al., in stampa).

Si è anche osservato che la presenza dei batteri sembra stimolare il fitoplancton ad una maggior produzione ed estrusione di sostanze polisaccaridiche resistenti alla degradazione e che pertanto possono accumularsi nell'ambiente marino (Guerrini et al., 1998).

Il materiale che costituisce le pareti cellulari dei batteri rappresenta una delle maggiori fonti di azoto organico presente negli oceani (McCarthy, 1998) ed il rilascio e la coagulazione di carbonio organico derivato dalle capsule batteriche può costituire un importante meccanismo per la formazione di particelle esopolimeriche (Stoderegger &

Herndl, 1999). Infatti i batteri ogni volta che rinnovano la capsula, rilasciano nell'ambiente circostante i polimeri che la costituiscono e tale sostanza organica risulta alquanto resistente alla degradazione (Heissenberger et al., 1996; Stoderegger & Herndl, 1999). Gli esopolimeri possono esistere sia come capsule che circondano la cellula batterica sia come un muco che non è in apparente associazione con alcuna cellula (Decho, 1990). Tali polimeri sono in gran parte costituiti da polisaccaridi che possono avere per i batteri diverse funzioni tra cui: migliorare l'adesione alle superfici, proteggere dalla predazione e dall'essiccamento, possono svolgere un ruolo nelle interazioni ioniche, come stabilizzatori degli enzimi localizzati sulla superficie cellulare, come concentratori, come materiali di riserva e come emulsionanti per liberare i batteri dalle superfici già utilizzate (Dudman et al., 1977; Weiner et al., 1995).

Una modificazione delle attività enzimatiche dei batteri potrebbe determinare un'alterazione dell'equilibrio dinamico degradativo tra la materia organica disciolta e quella particellata marina che porterebbe ad una limitata degradazione degli aggregati e che favorirebbe quindi l'incremento (Del Negro, in stampa).

La velocità e l'efficienza dei batteri nella degradazione della sostanza organica prodotta nell'Adriatico dal plancton dipende da diversi fattori:

- disponibilità dei nutrienti, in quanto i batteri possono essere limitati dalla carenza di fosforo. Le attività idrolitiche batteriche sono infatti prevalentemente rivolte al recupero del fosforo (Obernosterer & Herndl, 1995; Azam et al., 1999; Guerrini et al., 1998, Danovaro et al. stampa);
- qualità della sostanza organica, che può essere refrattaria alla degradazione batterica (es. sostanze umiche; Mecozzi et al., 2001; Berto et al., in stampa; Giani et al., in stampa);
- tipologia dei batteri presenti. I batteri associati agli aggregati sono differenti da quelli che vivono sospesi nella colonna d'acqua (Rath et al., 1998); questa differenza di potrebbe essere legata all'ingresso di acque meridionali che ospitano popolamenti diversi con diversa ecologia;
- infezioni virali con rottura (lisi) delle cellule (Baldi et al., 1997, 1998; Fonda Umani et al., in stampa; Del Negro et al., in stampa);
- efficienza dei predatori sui batteri (Fonda Umani et al., in stampa; Bochsansky & Herndl, 1992a; Malej & Harris, 1993).

IL RUOLO DELLE DIATOMEE

La produzione di essudati polisaccaridici da parte delle diatomee è stata dimostrata da numerosi studi (Myklestad et al., 1972; Myklestad, 1977; Degobbi et al., 1999; Najdek et al., 2002), anche se le diverse specie mostrano una certa variabilità nella produzione di polisaccaridi extracellulari (Pistocchi et al., in stampa).

Numerosi studi hanno considerato la diatomea epipelica *Cylindrotheca closterium* come la principale produttrice della sostanza mucillaginosa, dato che si ritrova molto abbondante all'interno degli aggregati (Stachowitsch, 1990; Revelante & Gilmartin, 1991; Cabrini et al., 1992; Monti et al., 1992; Cortese & Talarico, 1993; Degobbi et

al., 1995; Monti et al., 1995). Anche Mingazzini et al. (1995) sulla base di studi dei prodotti extracellulari essudati da *Cylindrotheca closterium* la indicano come la specie che sembra contribuire maggiormente alla produzione di materia organica disciolta negli aggregati di recente formazione.

Alcoverro et al. (2000) considerano la *Cylindrotheca closterium* come una specie che non colonizza semplicemente gli aggregati dopo esservi rimasta intrappolata, ma che sarebbe responsabile della produzione delle mucillagini grazie all'iperproduzione di carboidrati extracellulari soprattutto in condizioni di limitazione da nutrienti. Inoltre, esperimenti condotti su questa diatomea hanno dimostrato che gli essudati rilasciati in condizioni di limitazione da fosforo sono maggiormente resistenti alla degradazione batterica (Puddu et al., 2003) favorendo un loro accumulo.

Sebbene *Cylindrotheca closterium* sia una delle specie fitoplanctoniche più frequentemente presente nelle mucillagini, non è stata ritrovata sistematicamente in tutti gli aggregati (Degobbis et al., 1995), mentre altre specie di diatomee del genere *Chaetoceros* (specie: *fragilis*, *affinis*, *insignis*) e la diatomea *Nitzschia delicatissima* erano presenti. Quindi nonostante la rilevante presenza negli aggregati delle diatomee, la specie dominante può essere diversa da un'anno all'altro: *Skeletonema costatum* nel 1988, *Thalassiosira* sp. nel 1989 e *Nitzschia closterium* nel 1991 (Honsell et al., 1992).

Anche un'altra diatomea bentonica *Amphora coffeaeformis* var. *perpusilla* è stata indicata come una produttrice di esopolisaccaridi, in condizione di limitazione di nutrienti (Bruno et al., 1993; Buzzelli et al., 1997) e come specie coinvolta nella formazione della mucillagine. Ma il suo ruolo non risulta importante poiché questa specie non è stata riscontrata frequentemente nelle mucillagini e quest'ultime, come dimostrato da molti studi, non hanno un'origine bentonica.

IL RUOLO DELLE DINOFLAGELLATE

Già agli inizi del 1900 la formazione delle mucillagini era stata attribuita alle dinoflagellate (Steuer, 1903; Cori, 1905), anche se in associazione con le diatomee. Si riteneva infatti che nelle varie formazioni gelatinose poteva prevalere un gruppo fitoplanctonico o l'altro in funzione della storia dell'aggregato (Forti, 1906). Secondo Steuer (1903) e Cori (1905) l'insediamento delle diatomee poteva avvenire nel muco, solo dopo la formazione del muco stesso da parte delle dinoflagellate. Il ruolo di produttrici di grandi quantità di mucopolisaccaridi da parte delle dinoflagellate è stato riconosciuto da Alldredge (1998). Nella mucillagine oltre alle diatomee è stata riscontrata in grandi quantità anche la dinoflagellata *Gonyaulax fragilis*, in particolare nel 1988 nel golfo di Trieste, nel 1989, lungo le coste dell'Emilia Romagna e nel 1991 ancora nel golfo di Trieste (Honsell et al., 1992). La comparsa delle mucillagini, nelle acque dell'Emilia Romagna, sembra sia associata alla presenza di *Gonyaulax fragilis* (Pompei et al., 2003; Pistocchi et al., in stampa), ciò è supportato anche dalla presenza di steroli (4 α -metilsteroli) negli aggregati analizzati che sono caratteristici indicatori delle dinofite (Volkman et al., 1998; Mansour et al., 1999; Serrazanetti et al., 2003).

IL RUOLO DEI CIANOBATTERI

I cianobatteri possono contribuire in modo significativo alla produzione di aggregati, soprattutto in condizione di stratificazione della colonna d'acqua, caratteristica del periodo estivo. I tassi di produzione dei cianobatteri aumentano, infatti, quando le cellule sono immerse in matrici gelatinose contribuendo, a loro volta, alla produzione del muco. Alcuni studi hanno infatti attribuito alla formazione delle mucillagini avvenuta nel luglio 1991 nel golfo di Trieste, un ruolo rilevante ai cianobatteri. Essi possono arrivare a costituire circa il 70% del contenuto di carbonio presente nelle mucillagini (Herndl, 1992; Kaltenböck & Herndl, 1992).

Fioriture estive di cianobatteri sono state osservate però anche in anni in cui non si sono manifestate le mucillagini (Vanucci et al., 1994), mentre nell'estate 2000, quando le mucillagini erano presenti in tutta la colonna d'acqua, le fioriture di cianobatteri erano limitate solamente agli strati di fondo (Vanucci, 2003). Pertanto i cianobatteri non sembrano avere un ruolo determinante nella formazione delle mucillagini.

INFEZIONI VIRALI SU BATTERI E FITOPLANCTON

Sia la produzione primaria che la distribuzione dimensionale degli aggregati possono essere alterate da un'elevata abbondanza di virus (Peduzzi & Weinbauer, 1993; Weinbauer & Peduzzi, 1995), poiché essi possono infettare sia i produttori primari sia i batteri favorendo la formazione e la persistenza degli aggregati (Peduzzi & Weinbauer, 1993). L'effetto di un'infezione virale può scatenare una serie successiva di eventi quali: lisi delle cellule infettate, con conseguente liberazione del contenuto citoplasmatico, stimolazione della ipersecrezione, come barriera di difesa ai virus stessi ed infine una ridotta degradazione batterica. La biomassa algale soggetta ad infezione virale può essere convertita interamente in carbonio organico disciolto durante la lisi virale ed essere rapidamente ed efficacemente utilizzata per la crescita batterica (Bratbak & Heldal, 1999). Pertanto l'ampio intervallo dei valori di abbondanza virale e l'elevata variabilità del rapporto virus/batteri suggeriscono che la relazione che si instaura tra i virus ed i loro ospiti preferenziali, i batteri, sia estremamente dinamica e possa giocare un ruolo fondamentale soprattutto nel funzionamento del circuito microbico dell'Adriatico (Corinaldesi et al., 2003).

È stato ipotizzato che le mucillagini possano essere determinate dal rilascio del contenuto cellulare in seguito alla lisi delle cellule fitoplanctoniche come conseguenza di un'infezione. Infatti Baldi e collaboratori (1997, 1998) hanno evidenziato, mediante studi di microscopia, la presenza di cellule lisate all'interno del muco. Tuttavia l'ipotesi, che vedeva i virus indirettamente coinvolti nei processi di formazione delle mucillagini, perde di importanza dal momento che è stato osservato che nei periodi antecedenti il manifestarsi del fenomeno, le abbondanze virali diminuiscono drasticamente (Del Negro, in stampa).

Gli aggregati come bioreattori

Gli aggregati possono essere considerati dei piccoli bioreattori (Fig. 8) in cui la sostanza organica disciolta, colloidale o particellata, può restare intrappolata e successivamente essere rimobilizzata dalle attività enzimatiche dei batteri (Kepkay, 1994). Le

mucillagini costituiscono quindi una sorta di microcosmo in cui le cellule fitoplanctoniche possono continuare a svolgere i loro processi di fotosintesi utilizzando i nutrienti disponibili in elevate quantità, mentre i batteri possono svilupparsi utilizzando la sostanza organica disponibile e rimineralizzando i nutrienti (Del Negro et al., in stampa). I batteri eterotrofi presenti negli aggregati possono essere oltre 100 volte più elevati in termini di concentrazione rispetto ai batteri che vivono normalmente liberi nella colonna d'acqua, raggiungendo valori paragonabili a quelli presenti nei sedimenti superficiali, pari a $2-65 \cdot 10^8$ batteri g^{-1} (Herndl & Peduzzi, 1988).

All'interno degli aggregati, la produzione primaria può essere più elevata, fino a 10 volte maggiore, rispetto all'acqua circostante, sia nella neve planctonica che in aggregati di dimensioni maggiori (Kaltenböck & Herndl, 1992), anche se l'efficienza (per unità di clorofilla) risulta inferiore.

Nutrienti inorganici e carbonio organico sono più concentrati all'interno degli aggregati, neve planctonica e nubi (Kaltenböck & Herndl, 1992; Rinaldi et al., 1995) rispetto all'acqua circostante. In particolare il carbonio può raggiungere valori di arricchimento

Scheda 2. L'efficienza della predazione dello zooplancton sul fitoplancton

Lo zooplancton può contribuire direttamente ed indirettamente alla produzione e all'accumulo di sostanza organica, esercitando generalmente un controllo sulla densità algale. La predazione dei copepodi sulle diatomee è inibita da carboidrati ad alto peso molecolare essudati dalle cellule fitoplanctoniche (Malej & Harris, 1993), che potrebbero esercitare un ruolo di impedimento meccanico del pascolo zooplanctonico aumentando la viscosità del mezzo liquido in cui si trovano. Inoltre, alcune delle sostanze rilasciate dalle alghe sembrano essere tossiche o repellenti nei confronti dello zooplancton. In questo modo la popolazione algale può continuare a crescere e a rilasciare essudati (Malej & Harris, 1993). Le specie di copepodi del nord Adriatico non sembrano essere in grado però di predare il fitoplancton associato alla neve marina (Bochdansky et al., 1992a). Questo è stato confermato dall'analisi degli acidi grassi dello zooplancton durante un fenomeno di mucillagine nel 1991, che indicava una condizione di forte denutrizione, con conseguente consumo delle proprie riserve di grassi (Najdek et al., 1997).

Il muco sembra influenzare in modo negativo popolazione di naupli dei copepodi che infatti sono diminuiti fortemente durante gli eventi estivi di mucillagine avvenuti negli anni 1989 e 1991 (Krsinic, 1995). La ragione potrebbe risiedere nel fatto che la maggior parte dello zooplancton erbivoro filtratore è incapace di utilizzare il fitoplancton intrappolato nella matrice mucillaginosa (Bochdansky & Herndl, 1992a).

Le "pallottole fecali" prodotte dallo zooplancton possono inoltre arricchire, fino a 3800 volte, l'interno della neve planctonica, giungendo a costituire fino al 37% del carbonio presente nell'aggregato (Bochdansky & Herndl, 1992b).

Il ruolo di predazione dello zooplancton è risultato efficiente nel 2001, in assenza degli aggregati, mentre nel 2000 e nel 2002, in presenza di grandi ammassi mucilluginosi si è osservata un'attività predatoria ridotta (Fonda Umani et al., in stampa). Tale meccanismo impedirebbe il trasferimento di carbonio ai livelli trofici superiori.

Scheda 3. Lo sbilanciamento nella disponibilità dei nutrienti ha un ruolo nella produzione della biomassa organica che costituisce le mucillagini?

Molteplici sono gli effetti della disponibilità dei nutrienti sulla produzione fitoplanctonica e batterica. È noto che le cellule fitoplanctoniche rilasciano polisaccaridi nell'ambiente esterno in maggior quantità durante la fase di crescita stazionaria. Diversi studi sull'ecofisiologia delle diatomee condotti in laboratorio hanno evidenziato che la carenza di nutrienti aumenta la produzione di essudati extracellulari (Myklesstad et al., 1972; Myklesstad, 1977). Dipendentemente dalla disponibilità di nutrienti, soprattutto in condizioni di ridotta concentrazione, anche i batteri possono competere con il fitoplancton (Azam et al., 1983) per l'utilizzo dei nutrienti disponibili nell'ambiente.

Nella maggior parte degli studi (Viviani et al., 1995a; De Angelis et al., 1993, Faganeli et al., 1995; Mingazzini et al., 1995; Najdek, 1997) è risultato evidente che poiché la natura della sostanza organica coinvolta nella formazione delle mucillagini è di origine fitoplanctonica, la sua produzione è condizionata dallo sviluppo di fioriture microalgali, a loro volta influenzate dalla disponibilità di nutrienti. Ma nonostante ciò, non si è osservata una correlazione diretta tra biomassa fitoplanctonica e mucillagini. Infatti le mucillagini si sono formate anche in aree dove l'apporto di nutrienti è molto limitato, come nelle acque orientali dell'Adriatico.

Negli anni '70 in cui gli apporti di nutrienti di origine antropica sono stati in genere molto elevati (Degobbis et al., 1979), con frequenti episodi di maree colorate (Boni, 1989; Selner & Fonda Umani, 1999), non ci sono state manifestazioni significative di mucillagini. Inoltre, come testimoniano le serie storiche (Fonda Umani et al., 1989), le mucillagini si sono formate anche prima della diffusione dell'agricoltura intensiva di tipo moderno nel bacino padano, anche se variazioni nel carico di nutrienti possono essere avvenute pure nel seicento in seguito a processi di disboscamento nella pianura padana (Molin et al., 1992).

La formazione della mucillagine potrebbe essere indotta dal crearsi di una combinazione di eventi che portano ad un'elevata produzione primaria, in connessione a carichi improvvisi di nutrienti di provenienza fluviale, con uno sbilanciamento dei nutrienti stessi nella fase di decadimento della fioritura fitoplanctonica, in cui il cambiamento del nutriente limitante potrebbe essere più importante della costante carenza di fosforo (Cozzi et al., 2004).

Lo sbilanciamento nei rapporti azoto e fosforo dovuto alla riduzione delle immissioni di fosforo nel bacino potrebbe aver favorito i processi di essudazione di polisaccaridi extracellulari da parte del fitoplancton. Non vi sono però evidenze che questa sia una causa scatenante del fenomeno, in quanto esso non si è verificato negli anni in cui il rapporto azoto/fosforo nel bacino continuava ad essere sbilanciato (ad esempio dal 1993 al 1996 inclusi e nel 1999). Tuttavia, sia nel 1989 che durante il 1991 e 1997, anni in cui si sono formate le mucillagini, il contenuto di acque dolci nel bacino nord adriatico era due volte maggiore rispetto agli anni senza aggregati dal 1992 al 1998 (Cozzi et al., 2004). Va inoltre considerato che organismi quali le dinoflagellate, potrebbero essere coinvolti nella formazione di aggregati, infatti essendo mixotrofi, cioè in grado di utilizzare anche i substrati organici in caso di scarsità di nutrienti disciolti nell'acqua, il loro sviluppo potrebbe essere indipendente dagli apporti di nutrienti di origine fluviale, determinante invece per il plancton autotrofo. Anche nella formazione di mucillagini pelagiche nel Tirreno è stato ipotizzato un ruolo dell'incremento del rapporto N/P (Innamorati, 1995), per lo meno come condizione necessaria, ma non sufficiente per la loro formazione.

Limitazione da fosforo

Diversi studi hanno evidenziato che al formarsi delle mucillagini, il mare Adriatico si trovava in condizioni di fosforo limitazione (Rinaldi et al., 1990; Penna et al., 1993; Degobbis et al., 1995). Questa condizione non sembra però possa essere il fattore determinante in quanto, pur in condizioni di fosforo limitazione, non necessariamente si sviluppano fenomeni mucilluginosi massivi (Degobbis et al., in stampa).

L'aggiunta di nutrienti inorganici in microcosmi con popolamenti microbici naturali ha stimolato maggiormente la produzione primaria rispetto alla produzione batterica. Infatti il picco di biomassa autotrofica nei microcosmi con aggiunta di tutti i nutrienti è stato raggiunto dopo 4-7 giorni ed era di un ordine di grandezza superiore alla biomassa batterica che raggiungeva il picco massimo, raddoppiando, dopo 2-5 giorni dall'aggiunta di nutrienti (Malej et al., 2003). La fase esponenziale di crescita, in presenza elevata di diatomee, era dominata dal carbonio organico particellato con un incremento graduale del contributo dei carboidrati particellati ed un parallelo decremento dei nutrienti. La transizione verso la fase stazionaria ed il decadimento della comunità autotrofica era accompagnato da un netto accumulo di carbonio organico disciolto, ricco in carboidrati (Malej et al., 2003).

L'insorgere del fenomeno mucilluginoso osservato negli anni 1988 e 1989 potrebbe essere stato determinato, in particolare nella zona costiera emiliano-romagnola, dallo squilibrio tra i principali nutrienti, caduta del rapporto azoto/fosforo, in seguito alla riduzione degli apporti fluviali di azoto nel triennio 1988-1990 (Rinaldi, 1990). Sulla base invece delle osservazioni idrologiche effettuate nel golfo di Trieste nel 1988 e negli anni precedenti, Fanuko & Turk (1990) hanno ritenuto che il fenomeno sia naturale e non legato agli effetti di un incremento degli apporti antropici di nutrienti.

Basse concentrazioni di fosforo inorganico, piuttosto che l'impoverimento di azoto inorganico, favoriscono un incremento del rilascio dei prodotti extracellulari che non verrebbero, però, utilizzati efficientemente dai batteri quando si trovano in condizioni di fosforo-limitazione (Obernosterer & Herndl, 1995).

Il rapporto tra il consumo apparente di ossigeno ed il contenuto di ortofosfati (AOU/PO₄) durante i mesi da maggio ad agosto del periodo 1987-92 era molto più alto rispetto agli stessi mesi dei periodi precedenti (1970-1986) indicando una produzione di sostanza organica con un contenuto in fosforo più basso rispetto al periodo precedente, probabilmente a causa di un incremento nella fosforo limitazione della produzione primaria (Degobbis et al., 2000). Tuttavia i rapporti tra il consumo apparente di ossigeno e l'azoto inorganico (AOU/TIN) erano negli stessi periodi abbastanza costanti.

Limitazione da azoto

Non solo la scarsità di fosforo ma anche la scarsità di azoto può causare un incremento del rilascio di prodotti extracellulari in colture della diatomea *Chaetoceros affinis* durante la fase di crescita esponenziale (Obernosterer & Herndl, 1995). Tale materiale essudato non viene utilizzato però efficacemente dai batteri eterotrofi, rendendo possibile un accumulo di composti organici di origine fitoplanctonica.

È stato dimostrato che la produzione di esopolisaccaridi è favorita dalla limitazione di nutrienti, in particolare dalla limitazione da fosforo (Penna et al., 1999, Alcoverro et al., 2000), anche se il rilascio di esopolisaccaridi non avviene da parte di tutte le diatomee nella stessa maniera, in quanto non è influenzato dalla limitazione di un solo nutriente (Penna et al., 1999). La produzione di esopolisaccaridi dipende pertanto anche dalla fase di crescita in cui si trova l'alga.

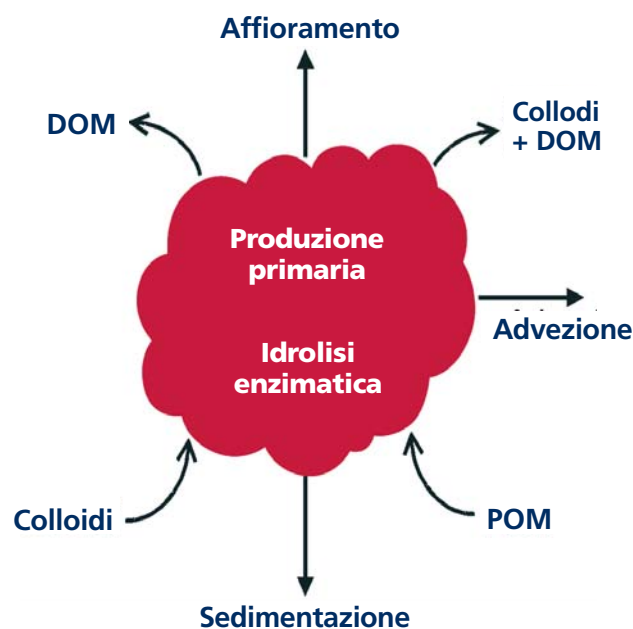


Figura 8. Gli aggregati si possono considerare come dei bioreattori nei quali avvengono processi di produzione primaria e di degradazione batterica.

mento pari a 10-100 volte le concentrazioni nell'acqua circostante (Herndl et al., 1992; Giani et al., in stampa). Gli aggregati normalmente presenti nel sistema marino, come la neve planctonica, possono essere una fonte di sostanze organiche e di nutrienti che causano un aumento della crescita e dell'attività batterica, non solo all'interno e attorno alla matrice mucosa che costituisce i fiocchi, ma anche nell'acqua circostante (Herndl, 1988). I batteri associati alla neve marina presentano attività enzimatiche extracellulari (α e β glucosidasi e 1-aminopeptidasi) più elevate rispetto ai batteri liberi nella colonna d'acqua (Karner & Herndl, 1992).

Con il passare del tempo e il compattarsi dell'aggregato le parti più interne possono divenire anossiche. Questa carenza di ossigeno può facilitare l'innescio di processi di degradazione batterica anaerobici che prevalgono su quelli di produzione fotosintetica, limitati anche dalla ridotta penetrazione della luce all'interno degli aggregati, soprattutto se di grandi dimensioni. Inoltre, la diffusione dell'ossigeno è limitata dall'elevata viscosità del mezzo.

Quali fattori determinano la scomparsa delle mucillagini?

I processi che determinano la rapida scomparsa delle mucillagini sono soprattutto la disaggregazione, che avviene in seguito al rimescolamento indotto dai venti, e l'export dal bacino per effetto della circolazione.

La turbolenza meteo-marina provocata da venti come la Bora causa il mescolamento delle acque, provocando la rottura dei fronti flottanti e delle aggregazioni nella colonna, mentre la circolazione può contribuire alla dispersione degli aggregati ed alla loro



Figura 9. Sedimentazione di nubi al fondo con formazione di condizioni anossiche all'interfaccia nube/sedimento.

esportazione. Si tratta di processi su scala abbastanza ampia (a livello di sottobacino) e relativamente veloci.

I processi che facilitano la degradazione degli aggregati sono invece legati all'affioramento in superficie ed alla sedimentazione sul fondale (Fig. 9), e dipendono dalla loro dimensione, dalla loro età e dalle componenti microbiche.

L'affioramento degli aggregati, dovuto all'inglobamento di bollicine d'aria causato dalla turbolenza superficiale e dalla produzione gassosa da parte dei microrganismi che vivono negli aggregati, porta a innescare dei processi di fotossidazione nelle mucillagini (Kovac et al., 2002) a causa del forte irraggiamento solare estivo. La componente ultravioletta della radiazione solare, può influire molto sul processo degradativo della sostanza organica che costituisce gli aggregati, rendendola chimicamente più refrattaria o più labile. Tuttavia il destino finale degli aggregati superficiali, dopo aver vagato nelle acque è lo spiaggiamento dove i processi degradativi già in atto potranno continuare.

Le mucillagini, nella colonna d'acqua, tendono a sedimentare sul fondo e una volta adagiate sul fondale i processi degradativi a carico dei batteri intervengono modificandone la struttura originaria (Fig. 9). È stato calcolato infatti che il turnover del carbonio organico disciolto (DOC) si esplica in 24 giorni negli aggregati giovani e in 9 giorni in quelli invecchiati, a differenza del carbonio organico particellato (POC) che invece presenta tempi più lunghi, rispettivamente 80 giorni per gli aggregati giovani e 105 giorni per gli aggregati invecchiati (Herndl et al., 1992). Da questi studi si può constatare che la sostanza organica costituente gli aggregati può persistere per alcuni mesi se non subisce processi di dispersione o di esportazione.



Campionamento di aggregati pelagici.



Aggregato pelagico campionato con siringa.

LA NATURA CHIMICA DEGLI AGGREGATI PELAGICI

Gli aggregati pelagici dell'Adriatico sono caratterizzati da un elevato contenuto in acqua che rappresenta il 90-99% del peso dell'aggregato. La restante frazione secca è costituita per il 30-60% da sostanza organica, in cui il carbonio organico varia tra il 17 ed il 33% mentre l'azoto tra il 1,2 ed il 3,6% (Fig. 10). Tali valori confermano su un areale più vasto i risultati ottenuti in precedenza negli aggregati raccolti nel 1991 (Posedel & Faganeli, 1991; Giani et al., 1992; Pettine et al., 1992).

Contenuti in carbonio organico inferiori al 5% sono stati riscontrati solo in aggregati depositati campionati sul fondale, mentre in quasi tutte le altre tipologie di aggregati gelatinosi, la percentuale di carbonio organico è più elevata. Il basso contenuto di carbonio inorganico, che varia tra lo 0,5 ed il 5,7% del peso secco dell'aggregato è dovuto

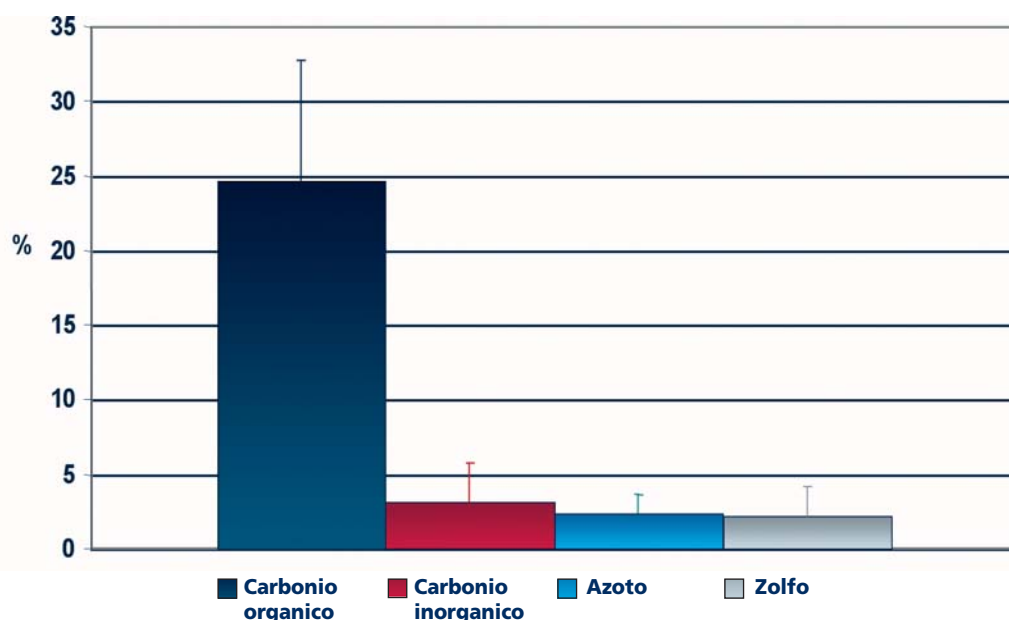


Figura 10. Contenuto percentuale medio sul peso secco di carbonio organico ed inorganico, azoto e zolfo per aggregati pelagici adriatici. Le barre di errore indicano le deviazioni standard.

soprattutto all'inglobamento casuale di gusci carbonatici o di particolato ricco di carbonati, specialmente negli aggregati che costituiscono il falso fondo e le nubi depositate.

L'azoto, quantitativamente inferiore rispetto al carbonio organico, potrebbe essere associato alla presenza di composti di origine proteica o di carboidrati contenenti azoto.

Il rapporto atomico tra carbonio organico ed azoto (C_{org}/N) negli aggregati analizzati è pari a 13 ± 5 (Giani et al., in stampa) ed è maggiore rispetto a quello misurato per il plancton (6 ± 2). L'aumento di questo rapporto, sino a valori molto elevati pari a circa 20, si verifica soprattutto quando gli aggregati sono molto compatti e di grandi dimensioni, come nel caso delle nubi più vecchie. A seconda della tipologia dell'aggregato, il rapporto C_{org}/N aumenta con l'aumentare delle dimensioni, dello stato di compattazione e, presumibilmente, dell'età. Si è osservato infatti, che il rapporto C_{org}/N aumenta progressivamente nel seguente ordine: nastri \Rightarrow ragnatele \Rightarrow falso fondo \Rightarrow nubi \Rightarrow nubi sedimentate sul fondo (Giani et al., in stampa). Tali risultati confermano anche per queste tipologie di aggregati quanto riscontrato da Alldredge (1998) nella neve marina dove tale rapporto aumenta con le dimensioni.

Il contenuto di zolfo negli aggregati varia tra 0,2% e 4,4% del peso secco. Tali concentrazioni sono simili a quelle trovate in campioni di mucillagini dell'estate 1991 (Pettine et al., 1995). Il rapporto carbonio organico e zolfo (C_{org}/S) è generalmente più basso (51 ± 22) rispetto al plancton (64 ± 5 ; Giani et al., in stampa). Dato che il contenuto di carbonio organico del plancton è simile a quello delle mucillagini si evidenzia un possibile arricchimento in zolfo nelle mucillagini, soprattutto in quelli di maggiore dimensione come ragnatele, nubi e falso fondo. Un maggior contenuto di zolfo però potrebbe anche derivare da una maggior presenza di alcuni aminoacidi o di polisaccaridi solforati (Urbani & Sist, 2003).

La presenza di specie chimiche ridotte dello zolfo (solfuri) prodotti dall'attività microbica gioca un importante ruolo nella formazione e nella stabilità degli aggregati formando dei composti solfo-organici (Ciglenc̆ki et al., 2000, Ciglenc̆ki et al., 2003). Infatti all'interno degli aggregati di grandi dimensioni, si formano delle microzone, in cui le concentrazioni di ossigeno possono diminuire anche drasticamente (Marini, comunicazione personale), determinando così l'insorgere di processi anaerobici (tra cui la solfato riduzione) che spiegherebbero l'incremento dello zolfo (e quindi dei solfuri) e la diminuzione del rapporto atomico C_{org}/S negli aggregati più vecchi.

Il contenuto di fosforo nelle mucillagini adriatiche (896 ± 410 mg/kg) risulta inferiore a quello del fitoplancton e dello zooplancton (rispettivamente 1811 ± 998 e 7308 ± 2398 mg/kg) confermando i precedenti risultati del 1991 (Giani et al., 1992, Pettine et al., 1995). Essendo il rapporto atomico tra carbonio organico e fosforo ($C_{org}/P = 677 \pm 278$) significativamente più elevato rispetto a quello del fitoplancton e dello zooplancton (159 ± 104 e 117 ± 37 rispettivamente) si può assumere che la sostanza organica negli aggregati sia povera, anche in origine, di fosforo. Questa carenza può essere resa più marcata anche da un'intensa attività enzimatica (fosfatasi) batterica o fitoplanctonica, che idrolizza i gruppi ortofosforici presenti negli aggregati (Azam et al., 1999; Kaltenböck & Herndl, 1992).

La sostanza organica

Nelle mucillagini analizzate il contenuto di carboidrati prevale sul contenuto proteico (Fig. 11; Giani et al., in stampa), ad eccezione degli aggregati affiorati oppure sedimentati sul fondale. La maggiore quantità di carboidrati potrebbe avere origine da un'elevata produzione fitoplanctonica, soprattutto in condizioni di particolare carenza di nutrienti (Mykkestad, 1977).

L'analisi monosaccaridica dei carboidrati ha evidenziato una dominanza del galattosio, seguito dal glucosio e da altri monosaccaridi (Fig. 12).

Il contenuto di galattosio tende ad aumentare nel falso fondo e nelle nubi, mentre il glucosio diminuisce negli aggregati più grandi e più vecchi, anche se un utilizzo preferenziale di tali zuccheri non è dimostrato (Urbani, 2003).

Analizzando la percentuale di gruppi anionici (gruppi carichi negativamente) presenti nelle catene polisaccaridiche degli aggregati (gruppi uronici e solfato) si evidenzia un discreto carattere polielettrolitico. I gruppi carichi positivamente e negativamente di questi biopolimeri permettono infatti di determinare un'elevata capacità di interazione con i metalli, quali il calcio, magnesio, ferro ed alluminio (Urbani, 2003). La percentuale di gruppi solfato, inoltre, tende ad aumentare con l'invecchiamento dell'aggregato suggerendo una certa refrattarietà degli stessi. Zhou et al. (1998) hanno dimostrato infatti un arricchimento in gruppi solfato nei polisaccaridi che costituiscono le particelle esopolimeriche trasparenti (TEP), che hanno un ruolo importante nel processo di aggregazione (Passow, 2000; Prieto et al., 2002).

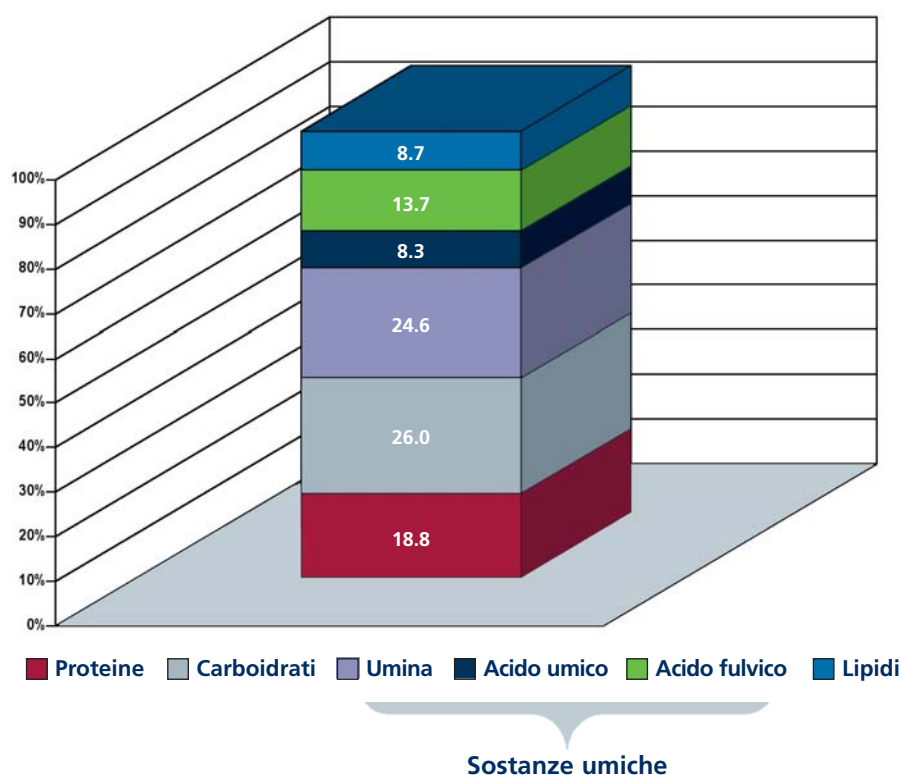


Figura 11. Percentuali di proteine, carboidrati, umina, acido umico e fulvico e lipidi riferiti al carbonio organico totale che costituiscono gli aggregati pelagici adriatici.

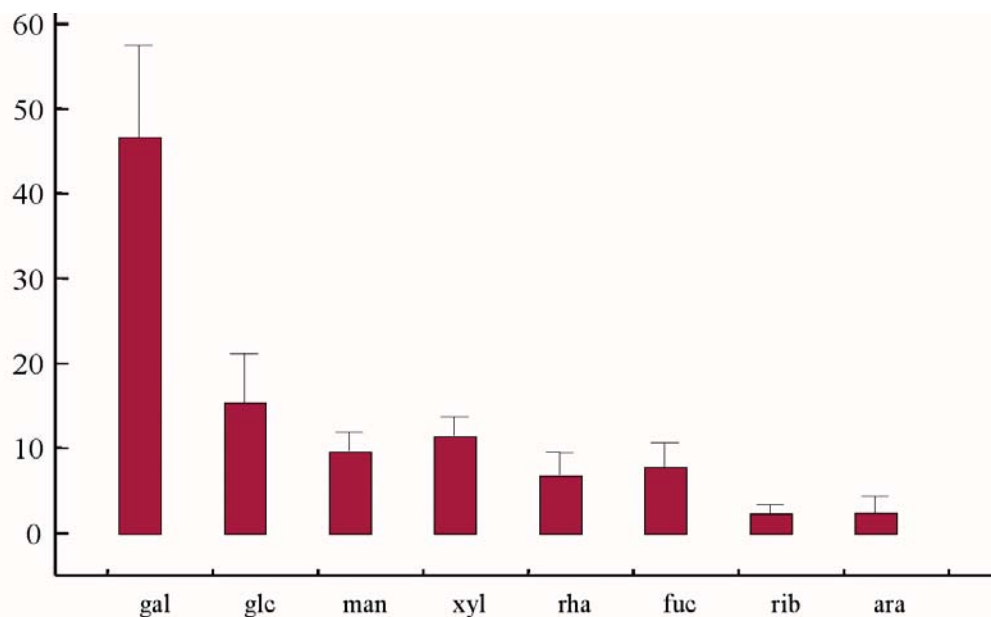


Figura 12. Composizione media relativa (%) dei monosaccaridie negli aggregati pelagici adriatici (gal, galattosio; glc, glucosio; man, mannosio; xyl, xilosio; rha, ramnosio; fuc, fucosio; rib, ribosio; ara, arabinosio) (Urbani et al., 2003).

Ciglenc̆ki et al. (2000) hanno dimostrato, specialmente nei microambienti anossici che si instaurano all'interno degli aggregati di grandi dimensioni, la presenza di legami disolfuro tra le catene polisaccaridiche con elevata attività surfattante, probabilmente determinate dalla trasformazione della sostanza organica in strutture solfopolisaccaridiche (Ciglenc̆ki et al., 2003).

La componente inorganica

La componente inorganica (circa il 46% del peso secco della mucillagine) pu0 essere rilevante nell'aggregato in seguito all'inglobamento di frazioni minerali provenienti da processi di risospensione sedimentaria o di particolato fluviale soprattutto quando gli aggregati arrivano da zone costiere.

La componente inorganica 0 costituita soprattutto da elementi maggiori, cio0 presenti in quantit0 rilevanti nell'ambiente (calcio, alluminio, ferro, magnesio, potassio; Fig. 13) e microelementi (rame, cromo, manganese), quindi in ridotta concentrazione; questi ultimi potrebbero essere presenti nella costituzione biologica degli organismi o derivare da un apporto antropico. Il contenuto in rame negli aggregati 0 basso, 19 ± 10 mg/kg e risulta confrontabile con i valori trovati per il fitoplancton adriatico, mentre il contenuto in cromo (74 ± 81 mg/kg) 0 inferiore a quello del fitoplancton (161 ± 46 mg/kg; Giani et al., in stampa). La concentrazione di zinco negli aggregati adriatici (256 ± 115 mg/kg) 0 simile ai campioni di fitoplancton e zooplancton campionati nel nord Adriatico con concentrazioni medie di 379 e 364 mg/kg rispettivamente (Giani et al., in stampa).

L'arricchimento in calcio negli aggregati adriatici potrebbe essere dovuto alla risospensione di sedimenti ricchi di carbonato di calcio derivante da residui biogenici quali gusci di conchiglie (Fig. 13).

I rapporti atomici tra calcio e magnesio rientrano nell'intervallo dei valori trovati per il fitoplancton e lo zooplancton dell'Adriatico (Giani et al., in stampa). Mentre i rapporti Ca/P e Mg/P sono più elevati negli aggregati adriatici (rispettivamente 25,1 e 31,0) rispetto ai valori riportati in letteratura per il fitoplancton (0,21-0,36; Martin & Knauer, 1973), non tanto per un arricchimento di calcio, quanto per un impoverimento di fosforo. Ciò potrebbe indicare che, mentre il calcio rimane intrappolato nell'aggregato, la sostanza organica, derivante dalla degradazione del fitoplancton, durante i processi degradativi viene impoverita di fosforo.

La scarsa presenza di alluminio e ferro invece indica un contenuto parziale negli aggregati di particellato inorganico di origine fluviale, caratterizzato da valori elevati di tali elementi (Boldrin et al., 1988), confermando l'inglobamento di particellato fluviale o di di sedimenti risospesi. L'ipotesi di un ruolo rilevante nei processi di aggregazione delle mucilagini delle zeoliti (Pettine et al., 1992), costituiti da alluminosilicati derivati dall'utilizzo dei detersivi, non trova conferma. Infatti il contenuto di alluminio dovrebbe essere elevato in tutti gli aggregati. I rapporti atomici Fe/Al maggiori di 1 nelle nubi, nei nastri e nelle ragnatele, sono comparabili con quelli trovati nel particellato sospeso nelle zone del picnoclino nell'Adriatico (Tankere et al., 2000), e confrontabili anche con i rapporti che caratterizzano il fitoplancton e lo zooplancton (Martin & Knauer, 1973). Valori più bassi del rapporto (<0,5) si trovano nel falso fondo, nelle nubi di fondo e negli aggregati superficiali probabilmente dovuti a processi di risospensione e agli apporti fluviali nelle acque superficiali

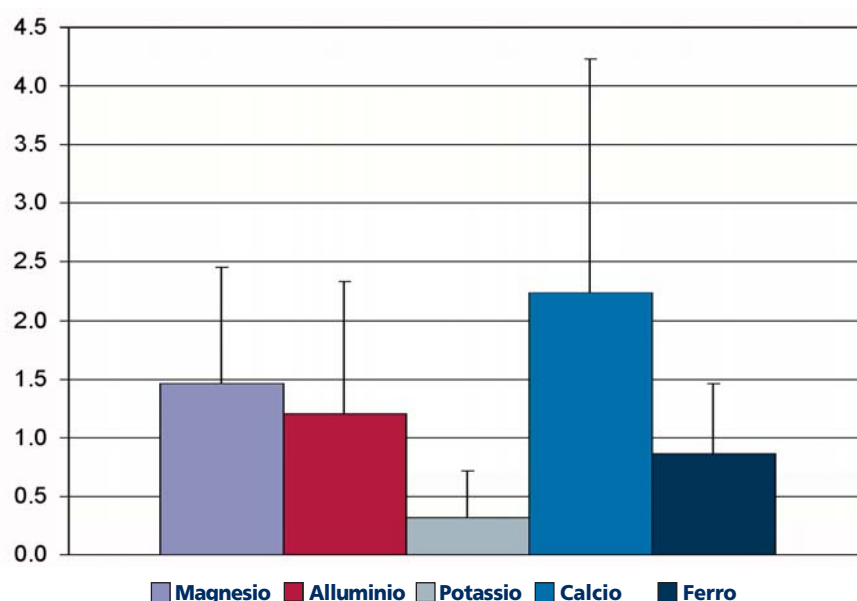


Figura 13. Contenuto (% di peso secco) di magnesio, alluminio, potassio, calcio e ferro in aggregati pelagici adriatici.

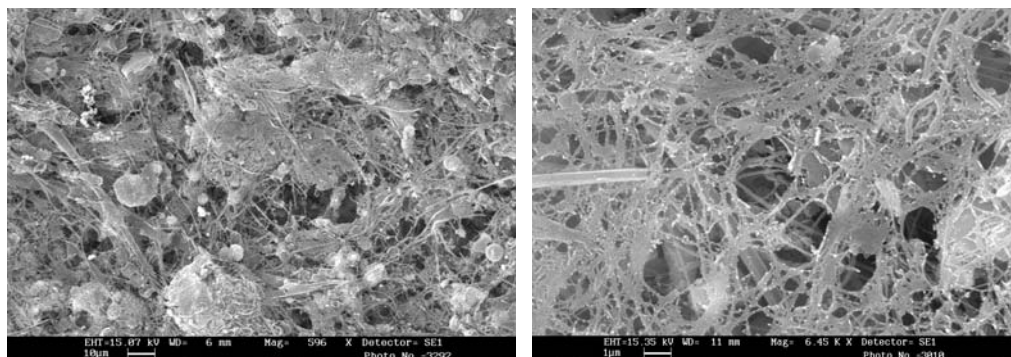


Figura 14. Immagini al microscopio elettronico a scansione (SEM) di mucillagini adriatiche, campionate a -18m (A) e in superficie (B) il 4 luglio 2001 (Urbani & Sist, 2003).

che causa un incremento dell'alluminio. L'aumento del rapporto Fe/Al negli aggregati che generalmente si formano in corrispondenza del picnolino potrebbe essere dovuto all'inglobamento di componenti planctoniche più ricche in ferro quali le diatomee.

Il contenuto medio di silice biogenica (espresso come SiO_2) determinata negli aggregati adriatici è molto elevato ($29 \pm 18\%$) ed è soprattutto dovuto alla presenza di diatomee. I rapporti atomici tra silicio biogenico e carbonio organico ($\text{Si}_{\text{biog}}/\text{C}_{\text{org}}$) determinati negli aggregati adriatici risultano comparabili con i valori riportati per le diatomee da Paasche & Ostergren (1980). È interessante notare che anche negli aggregati costituiti da *Noctiluca scintillans* (dinoflagellato) in fase di degradazione si trovano rapporti $\text{Si}_{\text{biog}}/\text{C}_{\text{org}}$ analoghi. Ciò evidenzia come probabilmente le diatomee trovano un substrato di crescita idoneo negli aggregati. Va però evidenziato anche che le dinoflagellate possono avere silicio al loro interno e presentare valori solo leggermente inferiori alle diatomee, come è stato evidenziato da Paasche & Ostergren (1980). Dai valori dei rapporti atomici $\text{Si}_{\text{biog}}/\text{C}_{\text{org}}$ negli aggregati adriatici si evidenzia quindi che le diatomee sono sempre presenti, anche se non si può definire se siano gli organismi produttori o se si siano sviluppati successivamente negli aggregati mucillaginosi.

Struttura microscopica degli aggregati

Le immagini ottenute mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) delle mucillagini permettono di comprendere meglio la costituzione degli aggregati. Le immagini SEM sono state effettuate sia su campioni di mucillagine che su soluzioni acquose concentrate delle frazioni polisaccaridiche estratte dalla matrice mucillaginosa (Urbani & Sist, 2003). Le immagini (Fig. 14) mostrano a diversi ingrandimenti l'eterogeneità dei campioni mucillaginosi. Infatti si evidenzia dalle immagini come il materiale inorganico e biologico sia immerso in una matrice organica altamente strutturata, di natura fibrillare e reticolare, con filamenti molto allungati.

Le strutture che si osservano nelle immagini possono essere originate solo attraverso aggregazioni successive di macromolecole con conformazione molto rigida ed estesa, confermata dalle misure chimico-fisiche (mediante tecniche quali la diffusione del-

Scheda 4. Sostanze umiche

Le sostanze umiche si formano come risultato di un'intensa attività batterica di degradazione e riorganizzazione della sostanza organica a partire da carboidrati e proteine (Ishiwatari, 1992). Esse sono costituite da una miscela eterogenea di composti organici la cui struttura chimica non è ancora del tutto nota. In base alla loro diversa solubilità in soluzioni acide o basiche le sostanze umiche vengono suddivise in tre gruppi: acidi umici, solubili in soluzioni basiche ma non in soluzioni acide; acidi fulvici, solubili in soluzioni acide e basiche, ed umina, insolubile in soluzioni acide e basiche. La loro struttura chimica-fisica (Fig. 4.1) può facilitare il processo di aggregazione, sia offrendo un'estesa superficie molecolare di contatto (catena lunga, lineare e flessibile), sia interagendo chimicamente con gruppi funzionali organici (ossidrilici, carbossilici ed aminici-amidici) e con gli ioni metallici (Ca, Mg, Fe, Al) normalmente presenti nel sistema marino. Analizzando la composizione elementare della frazione umica estratta dagli aggregati si evidenzia un elevato contenuto di carbonio organico ($28,7 \pm 10,4\%$) ed azoto ($3,6 \pm 1,6\%$), con rapporti atomici C_{org}/N (7-10) molto simili a quelli trovati negli aggregati prima dell'estrazione degli acidi umici. I bassi valori del rapporto C_{org}/N indicano un'origine prevalentemente marina (Ertel & Hedges, 1983). Mediante l'analisi degli spettri ultravioletto-visibile (Fooker & Liebezeit, 2000), si è osservato che quasi tutti i campioni adriatici analizzati presentano un'origine costiera-marina, ma mai terrestre.

Gli spettri infrarossi degli aggregati e delle frazioni estratte confermano la presenza della componente organica (alcoli, alifatici, amidi primarie e secondarie, gruppi carbossilici ed eteri), ma anche di una componente inorganica costituita prevalentemente da fosfati e solfati (Berto et al., in stampa). La presenza di gruppi aromatici si rileva solo in campioni di aggregati affiorati e in campioni raccolti in prossimità del delta del Po. Un maggior contenuto di composti aromatici è generalmente indice di origine terrestre, per la presenza di composti polifenolici derivanti dalla degradazione della lignina delle piante terrestri.

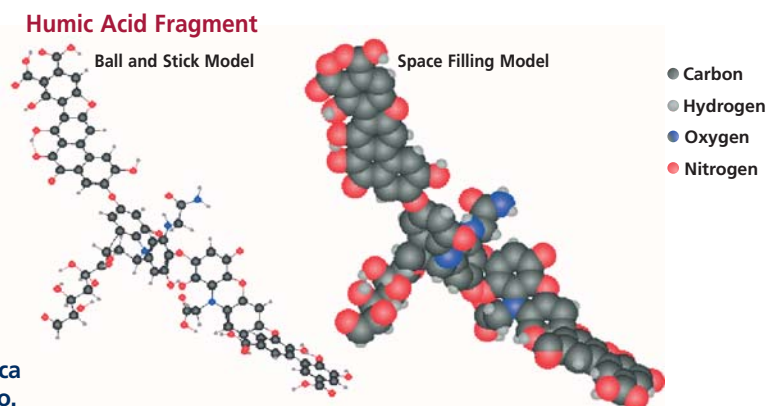


Figura 4.1.
Struttura chimica
dell'acido umico.

Infatti gli acidi umici estratti da sedimenti terrestri, a differenza di quelli marini, presentano una maggiore percentuale di aromaticità ed un contenuto inferiore di carboidrati e proteine (Ertel & Hedges, 1983). Il segnale costiero negli acidi umici delle mucillagini adriatiche potrebbe essere determinato dalla zona di accumulo preferenziale degli aggregati, cioè in corrispondenza dei gradienti di densità dovuti alla stratificazione dell'acqua di origine fluviale. L'assenza di composti aromatici nelle mucillagini campionate lontano dalla costa e dal delta del Po, quindi di origine esclusivamente marina, conferma che la formazione degli aggregati avviene anche in assenza di contributi di sostanza organica di origine terrestre (Berto et al., in stampa, Giani et al., in stampa) come ipotizzato anche da Faganeli et al. (1995).

Scheda 5. Lipidi e steroli

La componente lipidica negli aggregati non è molto elevata e costituisce circa tra il 3 ed il 10% del peso secco. I lipidi sono classificati in lipidi complessi e lipidi semplici. I primi contengono acidi grassi e sono chiamati anche lipidi saponificabili poiché formano i saponi (sali di acidi grassi) mentre i secondi, i lipidi semplici, terpeni e steroli, non contengono acidi grassi e non sono quindi saponificabili.

Lo studio della composizione degli acidi grassi può essere utile per individuare dei possibili marcatori che permettano di identificare le diverse specie marine (batteri, fitoplancton e zooplancton) presenti nelle mucillagini. Lo spettro degli acidi grassi osservato negli aggregati adriatici si avvicina molto a quello degli essudati delle alghe prodotte in colture di laboratorio, ossia:

- ricca presenza di acidi grassi saturi (60-70% del totale);
- ridotta quantità di acidi grassi polinsaturi di origine prevalentemente marina.

L'analisi degli steroli (lipidi semplici) negli aggregati adriatici ha evidenziato che in generale è dominante il colesterolo, con percentuali talvolta superiori al 50%. L'abbondanza di colesterolo nei campioni di mucillagine può fare pensare ad una probabile contaminazione di piccoli crostacei, ma anche alla presenza di diatomee e dinoflagellate, nelle quali è rilevante il contenuto di colesterolo (Pistocchi et al., in stampa).

Il β -sitosterolo sempre presente e caratteristico dei batteri, non è mai risultato dominante e ciò può portare ad escludere, anche se non in via definitiva, un contributo determinante dei batteri tra gli organismi maggiormente responsabili nella produzione di essudati nella formazione delle mucillagini (Pistocchi et al., in stampa).

L'analisi della composizione sterolica nelle diverse diatomee (fitoplancton) analizzate in coltura ha mostrato una differente distribuzione a seconda della specie analizzata (elevati contenuti di brassicasterolo in *Achnanthes brevipes*, di colesterolo in *Cylindrotheca fusiformis*, di 24-metilcolesterolo in *Skeletonema costatum* e di colesterolo in *Pseudonitzschia seriata*. Le diverse condizioni di coltura considerate, normali o in carenza di fosforo, sembrano però influenzare in maniera significativa la distribuzione quantitativa di questi composti.

Il ritrovamento dei 4 α -metilsteroli negli aggregati, esclusivi indicatori delle dinoflagellate (Piretti et al., 1997; Volkman et al., 1999), indica un contributo di questa classe di alghe alla formazione degli aggregati mucilluginosi (Serrazanetti et al., 2003). Nell'unica specie di dinoflagellata analizzata, *Gonyaulax fragilis*, il colesterolo è stato isolato come sterolo principale portando un nuovo contributo alle conoscenze relative a questo gruppo di steroli nelle dinoflagellate (Serrazanetti et al., 2003).

la luce, Static Laser Light Scattering – SLLS, e la viscometria capillare) effettuate sui medesimi campioni. L'aggregazione di macromolecole e la separazione di fase sono favorite dagli alti pesi molecolari, ma se la conformazione presenta proprietà di ordine strutturale (eliche) o di particolare rigidità ed elongazione, allora anche pesi molecolari più modesti possono dare associazione di catene e formazione di aggregati macroscopici o strutture reticolari tipiche dei gel e dei sistemi polimerici solidi amorfi.

In definitiva, la caratterizzazione chimico-fisica e la microscopia SEM dimostrano che i polisaccaridi estratti dagli aggregati sono biopolimeri a peso molecolare non molto elevato, ma di notevole rigidità, prerequisito quest'ultimo all'aggregazione ed alla separazione di fase.

Scheda 6. Fattori chimici e fisico-chimici influenti sui processi di aggregazione nell'ambiente marino

Vi sono diversi fattori chimici che possono favorire l'aggregazione della sostanza organica prodotta dagli organismi marini.

L'effetto dell'incremento della forza ionica

L'ingresso di acque meridionali ad elevata salinità potrebbe portare ad un processo di flocculazione più marcato nella zona di mescolamento delle acque fluviali poiché un aumento della forza ionica favorisce la transizione gel-solido dei polisaccaridi (Degobbis et al., 1995).

Marcati gradienti di forza ionica in corrispondenza ai gradienti di salinità sono però usuali nell'Adriatico settentrionale, inoltre i processi di flocculazione nel mixing di acque fluviali con acque marine avvengono generalmente già a salinità < 30. Poiché la formazione delle mucillagini non avviene sempre e si manifesta anche in aree distanti dai pennacchi fluviali, non sembra che questo processo sia determinante per la formazione della mucillagine. Non si può però escludere che non vi sia un ruolo nella stabilizzazione della matrice mucillaginosa nella zona del picnoclino determinato dall'incremento della forza ionica.

Il ruolo di cationi bivalenti

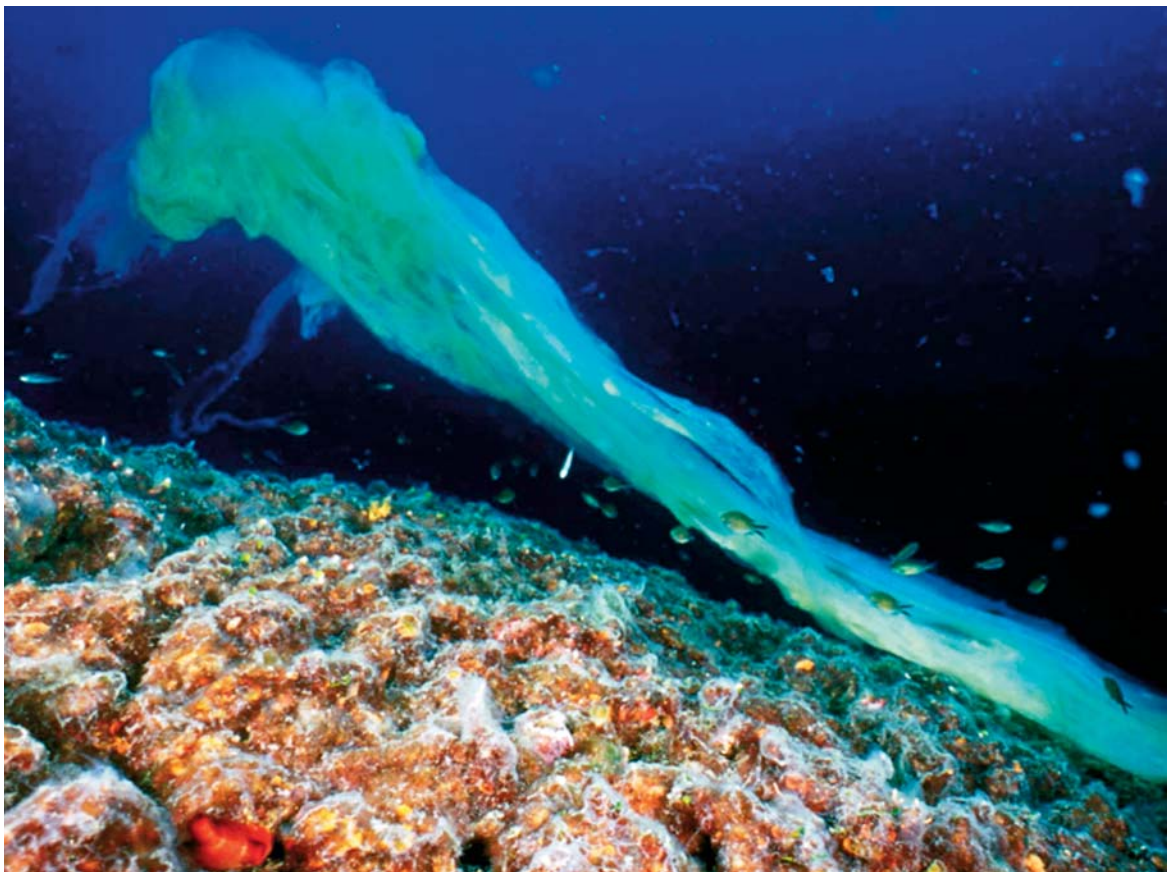
I cationi bivalenti quali calcio (Ca^{2+}) e magnesio (Mg^{2+}), comunemente presenti nell'acqua marina, possono formare ponti ionici creando legami trasversali tra zuccheri di differenti catene polisaccaridiche e determinando una stabilizzazione della matrice polisaccaridica dell'aggregato. La presenza di calcio potrebbe avere un ruolo determinante nella fase iniziale nel processo di aggregazione della matrice polisaccaridica come ipotizzato da Thornton et al. (1999) mentre successivamente altre reazioni potrebbero intervenire, tra cui la formazione di legami disolfuro tra le catene polisaccaridiche (Ciglenc̆ki et al., 2000), nei microambienti anossici che si istaurano all'interno degli aggregati di grandi dimensioni. Infatti il calcio aggiunto a colture limitate di azoto della diatomea *Skeletonema costatum* determina un aumento della viscosità del mezzo, indicando quindi un possibile un cross-linking dei polisaccaridi presenti nelle colture (Thornton et al., 1999). Tale processo ha fatto ipotizzare un ruolo del calcio che aumenta di concentrazione nel processo di mescolamento di acque a bassa salinità con quelle ad alta salinità, nel processo di formazione delle mucillagini (Thornton et al., 1999). Il ruolo del calcio non spiegherebbe il fatto che il fenomeno si formi anche in aree dell'Adriatico orientale dove gli apporti di acque fluviali sono limitati. Nonostante ciò il calcio non sembra avere una rilevante importanza nel processo di aggregazione. Infatti da esperimenti di prove di disaggregazione mediante misure di torbidità degli aggregati dopo aggiunta di acido etilendiamminotracetico (EDTA) non si è evidenziata una dispersione di materiale dopo aggiunta di questo chelante agli aggregati (Mecozzi et al., 2001). Tuttavia effettuando delle misure spettroscopiche del surnatante degli aggregati dopo aggiunta di EDTA, si è osservato un incremento di assorbanza a 280 nm (Giani et al., 2003) potrebbe indicare una parziale solubilizzazione della matrice mucillaginosa anche se non tutta la matrice mucillaginosa viene disaggregata.

L'ipotesi del ruolo delle zeoliti nei processi di aggregazione

Dopo l'introduzione di detergenti senza fosforo in ottemperanza alla legislazione italiana introdotta nel 1986, in sostituzione ai polifosfati, la zeolite A (allumino-silicati) e gli acidi poliacrilici (derivati dell'acido acrilico) sono stati considerati come possibili nuclei di aggregazione delle mucillagini, in quanto potrebbero aumentare la coagulazione e la flocculazione nell'ambiente marino (Pettine et al., 1992). Studi condotti in laboratorio non hanno evidenziato però un ruolo ambientale rilevante di tali composti nella formazione degli aggregati (Monti et al., 1996). Nemmeno le analisi chimiche sulle mucillagini (Faganelli et al., 1995, Giani et al., in stampa; Berto et al., in stampa; Giani et al., 2004) evidenziano un ruolo rilevante di sostanza organica di origine terrestre o di composti alluminosilicatici nella formazione delle mucillagini.



Striature di mucillagini causate dal vento.



Nube in fase di sedimentazione.

IL RUOLO DEI FATTORI METEOCLIMATICI

Le condizioni meteoclimatiche connesse con il perdurare di campi di alta pressione atmosferica nel bacino settentrionale dell'Adriatico, quali lo scarso idrodinamismo con ridotto ricambio delle acque, la scarsa piovosità, le temperature medie elevate (sia sul fondo che sulla superficie del mare), sommate all'“effetto memoria” delle condizioni idrologiche del bacino degli anni precedenti, sono state considerate le condizioni necessarie per lo scatenarsi del fenomeno (Tomasino, 1989, 1996). In particolare, l'inverno mite e le basse velocità delle correnti nel periodo estivo potrebbero aver favorito, secondo Degobbis (1989), lo sviluppo eccezionale degli aggregati gelatinosi nell'estate 1988. E già in tempi passati Castracane (1881) scriveva: “la calma prolungata del mare si riconosceva quale circostanza determinante o almeno favoreggiante il fenomeno”.

Effetti della circolazione

Il bacino nord dell'Adriatico è un'area molto produttiva e la circolazione marina gioca un ruolo fondamentale nella dispersione della sostanza organica e nell'esportazione verso gli altri bacini. Un suo rallentamento e l'instaurarsi di ricicli aumentano il tempo di residenza delle acque favorendo l'accumulo del materiale organico sospeso.

Vari processi possono determinare una variazione dei tempi di residenza delle acque adriatiche ed influenzare i processi di aggregazione:

- a) la formazione della controcorrente costiera istriana;
- b) l'ingressione di acque meridionali ad elevata salinità;
- c) la formazione delle acque dense nord adriatiche.

LA CONTROCORRENTE ISTRIANA

La controcorrente istriana avrebbe causato la formazione di un vortice anticiclonico nel 1977, 1988, 1989, 1992 e 1997, anni in cui vi sono state ipossie estive, legate alla degradazione della sostanza organica sul fondo, o formazione di mucillagini. La sua attivazione sembra essere stata concomitante alla formazione massiva delle mucillagini nel 1988, 1989, 1991, 1997 (Supic et al., 2000; Supic et al., 2001, 2002). Il vorti-

Scheda 7. Le variazioni nell'ingresso di acque meridionali nel bacino Adriatico ed il loro impatto

Le analisi di serie temporali di dati oceanografici relativi alla fossa di Pomo (nel centro del bacino Adriatico) hanno evidenziato una tendenza all'incremento della salinità tra il 1951 e il 1989 (+0,0036 all'anno) e al decremento dell'ossigeno disciolto (-0,022 mL/L all'anno; Vilibić, 2003). Variazioni in tal senso sono state osservate anche in altre aree dell'Adriatico e vengono attribuite ad un incremento nell'advezione della Levantine Intermediate Water (LIW, Acqua Intermedia Levantina) connesso alle variazioni nel gradiente di pressione sul bacino Adriatico (Grbec & Morović, 1997; Grbec et al., 1998).

Il più recente grande cambiamento nella circolazione nel Mediterraneo è avvenuto tra il 1987 ed il 1995, quando circa 1/3 del bacino orientale profondo del Mediterraneo è stato invaso da acqua formatasi nell'Egeo (Klein et al., 1999).

I mutamenti nei processi di formazione delle acque dense (fredde e salate) nel Mediterraneo orientale descritti da Klein et al. (1999) hanno determinato delle variazioni nell'ingresso delle acque meridionali nel bacino Adriatico (Samuel et al., 1999; Manca, 2000). Tra il 1988 ed il 1993 la dispersione della LIW nello Ionio è stata alterata e la mancata penetrazione di queste acque nell'Adriatico, attraverso lo stretto di Otranto, ha causato un collasso della formazione delle acque dense nord adriatiche (Samuel et al., 1999). Successivamente, a partire dal 1997 acque intermedie levantine più saline penetrate nel sud Adriatico hanno riportato alla situazione precedente al transiente iniziato alla fine degli anni '80 (Klein et al., 1999), permettendo la formazione delle acque dense nord adriatiche.

L'ingresso delle acque intermedie levantine modificate (MLIW) nell'Adriatico sembra essere controllato dalla differenza di pressione tra il nord ed il sud Adriatico, come parte del centro di distribuzione su larga scala (dall'Atlantico all'Europa) delle basse ed alte pressioni. Le acque levantine modificate sono più calde ($T = 14,00 \pm 0,30^\circ\text{C}$), salate ($s = 38,75 \pm 0,15$) e povere di ossigeno. Queste acque entrano generalmente nell'Adriatico meridionale a profondità comprese tra -100 e -500 m (Zore-Armanda, 1963).

Gli anni con differenze di pressione positive, cioè con pressioni più elevate sul medio Atlantico e più basse nel Mediterraneo sudorientale, favoriscono la formazione di acque intermedie levantine, LIW, nel Mediterraneo orientale ed intensificano l'entrata di acque intermedie levantine modificate, MLIW, più saline nell'Adriatico ed anche la formazione di acque dense nel nord Adriatico, fenomeni che sembrano coincidere (Grbec et al., 2002).

Gli anni in cui c'è un'intensificazione del flusso delle acque intermedie levantine, la salinità aumenta ($> 38,5$) e aumentano pure la produttività del fitoplancton e le catture di alcune specie di pesce pelagico planctivoro come le sardine (Grbec et al., 2002). Nell'aprile 1987 una fioritura estesa causò una grande quantità di schiuma superficiale, che si accumulò lungo la costa dell'Adriatico meridionale verso la fine di maggio (Vilicic et al., 1989). La fioritura, dovuta principalmente a diatomee, si verificò dopo un intenso raffreddamento invernale ed un'ingresso nella zona fotica di acque meridionali più saline ($> 38,65$), relativamente calde ($> 14^\circ\text{C}$) e dense ($> 29 \text{ kg m}^{-3}$).

ce anticiclonico nel quale viene ricircolata acqua meno salata e più calda di origine padana favorisce l'accumulo del materiale gelatinoso nel centro del bacino nord Adriatico (Supic et al., 2000).

L'INGRESSIONE DI ACQUE MERIDIONALI

Le differenze di pressione tra nord e sud Adriatico sono tra le cause che determinano l'intrusione nell'Adriatico di acque meridionali più salate, più calde e povere di nutrienti che influenzano i parametri biochimici delle acque nord Adriatiche. Anche la turbolenza del vento solare sembra implicata in questo fenomeno, infatti l'attività geomagnetica che determina è correlata con le differenze di pressione alle medie latitudini, tra il 35° e il 55° parallelo N, in Europa ed anche nell'Adriatico (Ferraro & Mazzarella, 1998). Le fluttuazioni della pressione atmosferica, causando variazioni del livello marino, influenzano la circolazione nel bacino Adriatico; un modello meteorologico lega gli eventi massivi di mucillagine del 1988, 1989 e 1991 alle differenze di pressione del periodo gennaio-aprile, precedente all'evento (Crisciani & Ferraro, 1990; Crisciani et al., 1992).

VARIAZIONI NELLA FORMAZIONE DI ACQUE DENSE NEL NORD ADRIATICO

La formazione di acque dense nel Nord Adriatico è dovuta alla perdita di calore dovuta ai venti, quindi non è costante e vi possono essere variazioni interannuali rilevanti, che dipendono oltre che dalle condizioni climatiche anche dalle caratteristiche delle acque che entrano nel bacino. Inizialmente il processo, riduce la stratificazione termica e contribuisce al rimescolamento, favorendo il ricambio delle acque di fondo e l'ossigenazione, influenzando profondamente gli ecosistemi dell'Adriatico.

Tra il 1988 ed il 1993 si è verificato un collasso nella formazione di acque dense nord adriatiche (Samuel et al., 1999) dovuto ad una variazione nel flusso delle acque intermedie levantine (scheda n. 7). Nel 2000 e 2002 si è avuta la formazione di acque dense nord adriatiche e gli eventi di formazione di mucillagini sono stati intensi, mentre nel 2001, anno in cui non si è avuta la formazione, il fenomeno è stato ridotto (Russo, 2003).

I venti e gli effetti della turbolenza sui processi di aggregazione

I venti possono favorire il trasporto e la dispersione degli aggregati (Precali et al., in stampa). Nell'Adriatico sono soprattutto i venti di Bora ad operare in tal senso, mentre i venti meridionali tendono a mantenerli nel bacino, anche se localmente gli effetti possono essere diversi, ad esempio nel luglio del 2003 e del 2004 venti di Libeccio hanno contribuito all'allontanamento e dispersione delle mucillagini dalle coste dell'Emilia Romagna (Montanari, comunicazione personale). L'impatto degli aggregati gelatinosi nell'agosto del 1988, è stato marcato sulle coste occidentali dell'Istria poiché furono trasportate da venti di Maestrale, che soffiavano dal mare verso terra. Nel

1989 invece non sono state interessate le acque istriane poiché prevalsero i venti da terra verso il mare.

Il regime dei venti nel Mediterraneo centrale e nell'area Adriatica è cambiato nel corso degli ultimi decenni mostrando una variazione marcata intorno alla metà degli anni '70 (Pirazzoli & Tomasin, 2003). A Trieste si è avuta una drastica diminuzione nella frequenza e velocità dei venti predominanti da nord-est, non accompagnata da un rafforzamento dei venti da altre direzioni, mentre si è assistito ad una maggior frequenza delle situazioni di calma con un incremento dei venti di Scirocco in tutto l'Adriatico settentrionale e centrale, sia come frequenza che intensità (rilevamenti a Tesserà, Falconara e Termoli; Pirazzoli & Tomasin, 2002). L'effetto ecologico di queste variazioni non è ancora stato studiato, sembra comunque che le dinoflagellate, possibili responsabili della formazione delle mucillagini, siano particolarmente favorite dall'assenza di turbolenza (Pistocchi, comunicazione personale).

Una turbolenza limitata può anche favorire la coagulazione delle particelle trasparenti esopolimeriche (Schuster & Herndl, 1995), la formazione di particelle più grandi (Stoderegger & Herndl, 1999) ed anche l'affioramento di aggregati come è avvenuto nel 2004 (Rinaldi, comunicazione personale) per l'inglobamento di bollicine d'aria negli aggregati. Altresì, i modelli di McCave (1984) dimostrano che le collisioni tra colloidali e particelle più grandi sono accelerati dal flusso turbolento. Ciò significa che il sequestro di colloidali da parte di aggregati più grandi è maggiore in regioni dove la turbolenza è più elevata, come in prossimità della superficie marina (Kepkay, 1994). Ne consegue che condizioni di limitata turbolenza possono favorire il processo di aggregazione, ma al superamento di un valore soglia di intensità a prevalere è il processo di disaggregazione.

Gli apporti di acque dolci e la stabilità verticale della colonna d'acqua

Nell'analisi degli andamenti delle portate del Po tra il 1917 e il 1992 è stato evidenziato che nel periodo 1969-1992 le portate di febbraio-marzo erano più alte di 1/4 del valore della portata media del Po, mentre quelle tra maggio ed agosto erano inferiori rispetto al periodo 1983-1986. Inoltre, il massimo autunnale era in ottobre, anticipato di un mese (Degobbis et al., 1999).

Nel periodo 1987-92 fu osservata una salinità più bassa nelle zone orientali dell'Adriatico rispetto a quella prevedibile in base alle portate del Po (Degobbis et al., 2000). Tale effetto potrebbe essere stato causato dalla riduzione della turbolenza verticale, durante periodi insolitamente lunghi di stabilità anticiclonica, con conseguente stratificazione su un'area più ampia delle acque fluviali superficiali prima del mescolamento con quelle subsuperficiali.

La dispersione o l'accumulo delle acque fluviali influisce, oltre che sulla disponibilità dei nutrienti veicolati da tali acque, anche sulla stabilità della colonna d'acqua dovuta ai gradienti di densità che si vengono a creare tra le acque calde e meno salate superficiali e le acque dense di fondo, più salate e fredde.

Alla fine degli anni '80 inizio anni '90, nel periodo di formazione delle mucillagini la stabilità della colonna d'acqua nei mesi tra maggio e agosto fu elevata, come indicato dalle differenze nell'anomalia di densità tra il fondo e la superficie, che erano comprese tra 6 ed 8 kg m⁻³ (Degobbis et al., 2000); anche se non particolarmente più elevata rispetto ad altri anni precedenti gli eventi di mucillagine della fine degli anni '80.

È stata inoltre trovata una relazione tra le basse portate del Po nel periodo ottobre-marzo e, quindi, lo scarso apporto di nutrienti, per più anni consecutivi e la formazione di mucillagini (Tomasino, 1986).

L'incremento delle temperature primaverili-estive ed i possibili effetti sui processi biologici

L'analisi delle serie storiche di dati ha permesso di evidenziare una variabilità di lungo periodo nelle caratteristiche meteo-climatiche, oceanografiche e biogeochimiche del bacino Adriatico, che possono essere messe in relazione alla comparsa delle mucillagini (anche se in maniera incerta data la brevità della serie temporale degli eventi di comparsa). Sequenze di eventi estivi si possono raggruppare in *cluster* ed è così possibile identificare tre *cluster* principali negli anni: 1920-1930, 1983-1991, 1997-2002 (Fig. 15).

In particolare, l'analisi dei dati meteo-climatologici indica che tutti i tre principali *cluster* di comparsa delle mucillagini corrispondono a periodi temporali caratterizzati da una anomalia positiva (principalmente primaverile) delle temperature atmosferiche (Fig. 15). Per l'attuale periodo di anomalia positiva (ossia di incremento rispetto alla media) della temperatura atmosferica è stato possibile verificare anche l'aumento delle temperature superficiali marine del bacino Adriatico, con il conseguente aumento del gradiente verticale di temperatura e anche (potenzialmente) delle condizioni di stabilità delle acque del bacino Adriatico settentrionale.

MISURE METEOROLOGICHE

L'analisi spettrale delle serie storiche di anomalia della temperatura primaverile e della presenza/assenza di mucillagini sui dati meteorologici relativi all'Italia settentrionale, in generale, e di alcune stazioni Adriatiche, in particolare, sembra indicare una correlazione fra le anomalie positive e gli eventi di mucillagine, che si presentano comuni con frequenze di circa 6 e 3 anni. Tuttavia nel valutare questi risultati bisogna tenere in debito conto la relativa limitazione di estensione della serie temporale e l'incertezza nella definizione degli eventi di mucillagine. Questa definizione include tutti gli eventi segnalati e va considerato che il raggruppamento in *cluster* appare meno definito se si prendono in considerazione soltanto gli eventi ritenuti "certi", ossia ben documentati.

Dalla figura 15, che riporta l'andamento dell'anomalia di temperatura media primaverile posto a confronto con gli episodi di mucillagine, si nota che il trend risulta quasi costantemente positivo in tre diversi periodi:

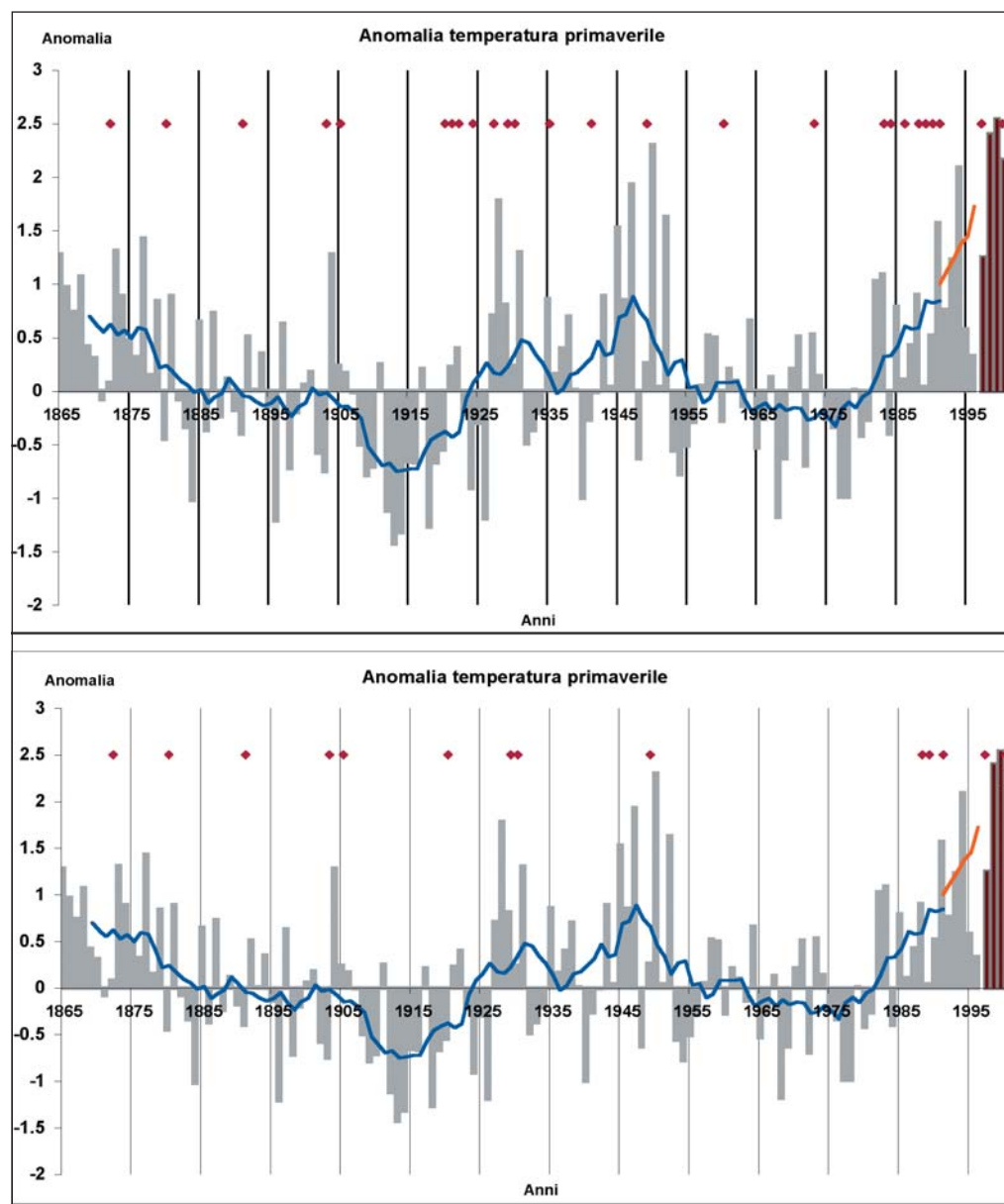


Figura 15. Andamento dell'anomalia di temperatura media primaverile dell'aria per l'area padana posto a confronto con gli episodi di mucillagine verificatisi in periodo estivo. La figura in alto riporta il confronto con tutti gli eventi di mucillagine, la figura in basso solo gli eventi certi. Viene riportata anche la media mobile della variabile meteorologica calcolata su 10 anni, in blu, per il data set CNR, in arancio, per il data set SYNOP (Deserti et al., 2003).

- 1915-1930, con lievi flessioni negli anni 1921, 1928;
- 1936-1947, con lievi flessioni negli anni 1944, 1946;
- 1976-1996, con lievi flessioni negli anni 1980, 1984, 1987-88, 1990-91.

Sempre dalla figura 15 si può notare che durante i periodi di trend positivo 1915-1930 e 1976-1996 si sono manifestati *cluster* di eventi di mucillagine. Questa associazione

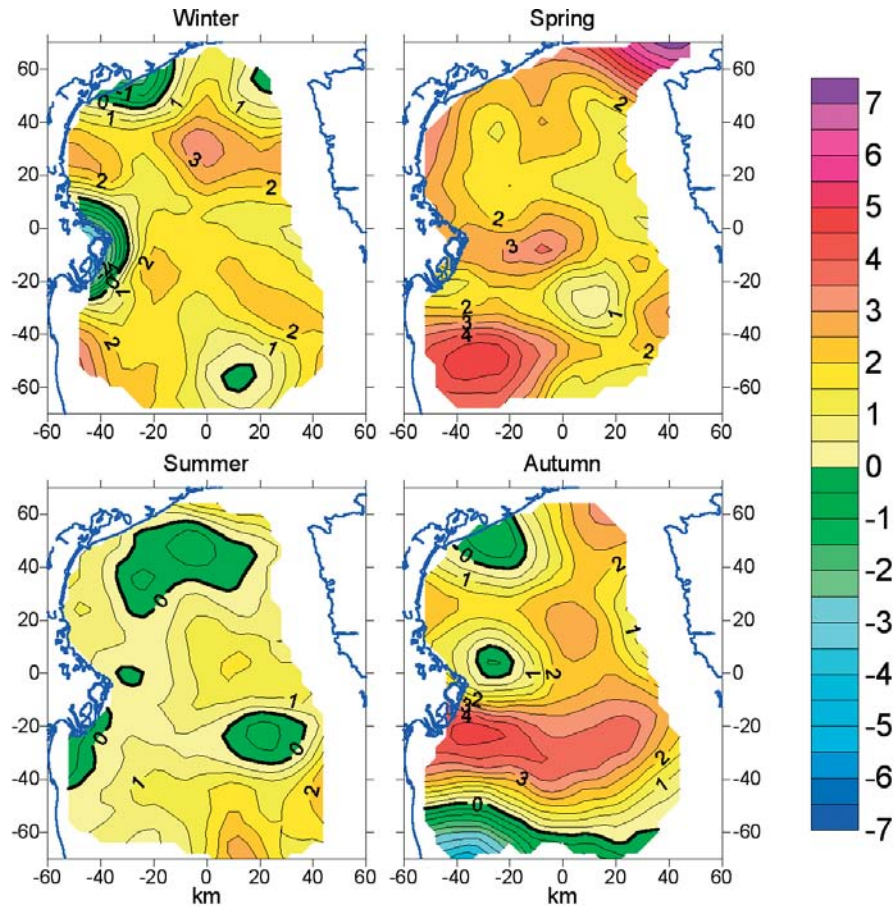


Figura 16. Anomalie stagionali di temperatura superficiale tra i periodi 1988-1999 e 1911-1987 (dataset ATOS+NADS) (Russo et al., 2002).

ne risulta meno evidente considerando solo gli eventi di mucillagine certi (parte bassa della figura 15).

MISURE OCEANOGRAFICHE

La marcata anomalia positiva della temperatura atmosferica che caratterizza la regione adriatica dalla seconda metà degli anni '80 ha influito sulle caratteristiche idrologiche del bacino settentrionale come si evidenzia nella figura 16 che riporta le anomalie stagionali di temperatura superficiale ricavate sottraendo i campi di temperatura ottenuti utilizzando tutti i dati antecedenti il 1987.

Inoltre, dal confronto fra i profili stagionali medi della temperatura nella colonna d'acqua calcolati utilizzando separatamente i dati di temperatura antecedenti il 1987 (Fig. 17) e quelli successivi a tale anno, si può notare che l'anomalia positiva di temperatura ha interessato solamente gli strati più superficiali della colonna d'acqua, mentre quelli profondi non hanno subito variazioni o mostrano addirittura una leggera diminuzione del valore di temperatura. Pertanto, dalla seconda metà degli anni '80, il bacino Adriatico settentrio-

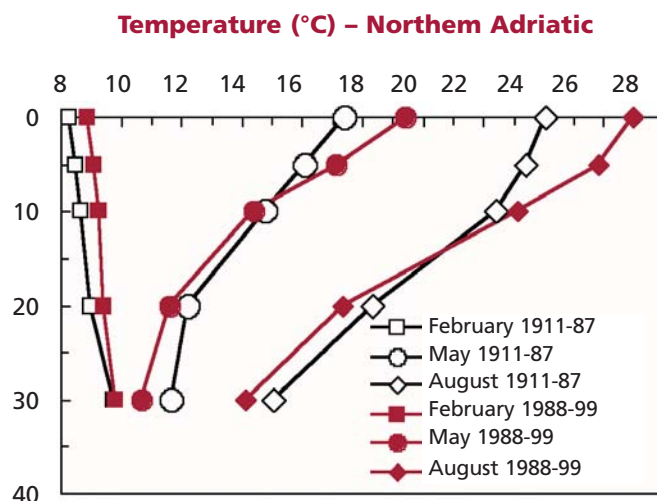


Figura 17. Confronto fra i profili medi mensili di temperatura (Febbraio, Maggio, Agosto) ottenuti utilizzando i dati antecedenti il 1987 (linea nera) con quelli ottenuti utilizzando i dati successivi a tale anno (linea rossa) (Russo et al., 2003).

nale risulta caratterizzato da un gradiente verticale di temperatura più marcato, che ha verosimilmente aumentato le condizioni di stabilità della colonna d'acqua.

MISURE DA SATELLITE

Il trend positivo nelle temperature superficiali è ulteriormente confermato, ed esteso a tutto il bacino Adriatico, dalla analisi delle temperature superficiali per il periodo 1981-2000 ottenute dal sensore satellitare NOAA AVHRR (Fig. 18).

Un aumento del gradiente termico può comportare un aumento del gradiente di densità favorendo l'accumulo e l'aggregazione di sostanza organica in corrispondenza del picnoclino. Il riscaldamento dell'acqua provoca anche la dilatazione delle bolle gassose intrappolate nella mucillagine facilitandone l'affioramento nel corso dell'irraggiamento solare diurno.

Poiché a partire dagli anni '80 si assiste ad un incremento lineare della temperatura dell'acqua marina nel periodo primaverile-estivo (Russo et al., 2003) non sembra che questo possa essere un fattore scatenante il fenomeno, sebbene agisca complessivamente in modo da favorire il processo di aggregazione ed affioramento.

Le variazioni climatiche e l'innalzamento della temperatura dell'acqua producono rilevanti effetti sugli organismi planctonici (Edwards & Richardson, 2004; Richardson & Schoeman, 2004) il cui impatto sugli ecosistemi Adriatici deve ancora essere pienamente verificato. Ad esempio in condizioni di nitrato limitazione, l'aggregazione delle cellule della diatomea *Skeletonema costatum*, isolate dalle acque nord adriatiche nell'aprile 1993, è risultata positivamente correlata con la temperatura (Thornton & Thacke, 1998). Inoltre, in *Cylindrotheca closterium* è stata osservata una più alta velocità di produzione di esopolisaccaridi a 25°C rispetto alle colture cellulari mantenute a 10°C; e gli esopolisaccaridi colloidali potrebbero essere il risul-

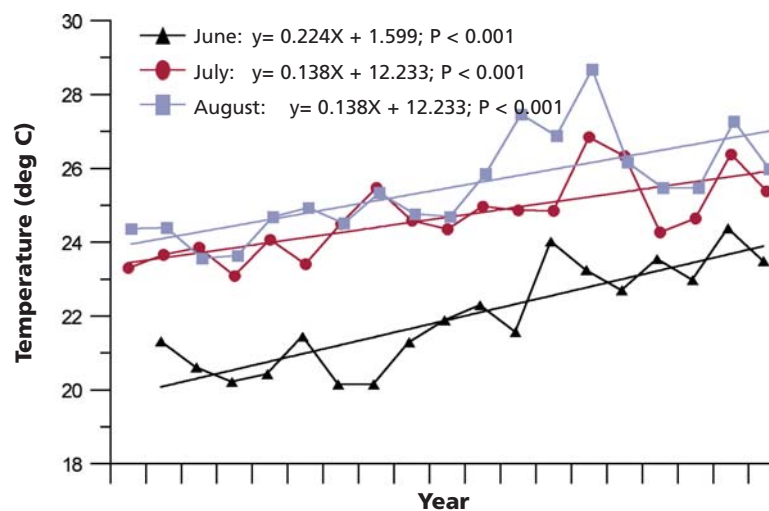


Figura 18. Temperatura superficiale del mare Adriatico, andamento mesi estivi 1981-1999. Le temperature sono state calcolate dai dati rilevati del sensore satellitare AVHRR (Barale, 2003).

tato di un meccanismo di *overflow* maggiormente influenzato dalla temperatura rispetto al meccanismo di produzione di esospolisaccaridi attaccati alla cellula (Wolfstein & Stal, 2002).

Un altro effetto dell'aumento della temperatura è quello di far aumentare in modo esponenziale la respirazione bentonica facilitando la formazione di ipossie ed anossie, che possono essere aggravate dalla sedimentazione del materiale organico presente negli aggregati mucillinosi (Herndl et al., 1989).



Aggregato bentonico sulle ramificazioni di una gorgonia.

LE MUCILLAGINI BENTONICHE E GLI EFFETTI SULL'ECOSISTEMA

La comparsa di aggregati mucilluginosi di origine bentonica è ormai divenuta una caratteristica costante del paesaggio sommerso in numerose località delle coste tirreniche, particolarmente nell'area dell'arcipelago toscano e delle zone limitrofe (Sartoni & Sonni, 1991; Hoffmann et al., 2000), come pure in diversi settori dell'Adriatico orientale. Il fenomeno interessa i popolamenti di substrato duro e le praterie di *Posidonia oceanica* ed il suo aspetto più appariscente è lo sviluppo di una coltre cotonosa e diffuente (Fig. 19) che in condizioni idrodinamiche favorevoli può raggiungere un discreto spessore arrivando a ricoprire totalmente gli organismi bentonici e l'apparato fogliare delle fanerogame marine.

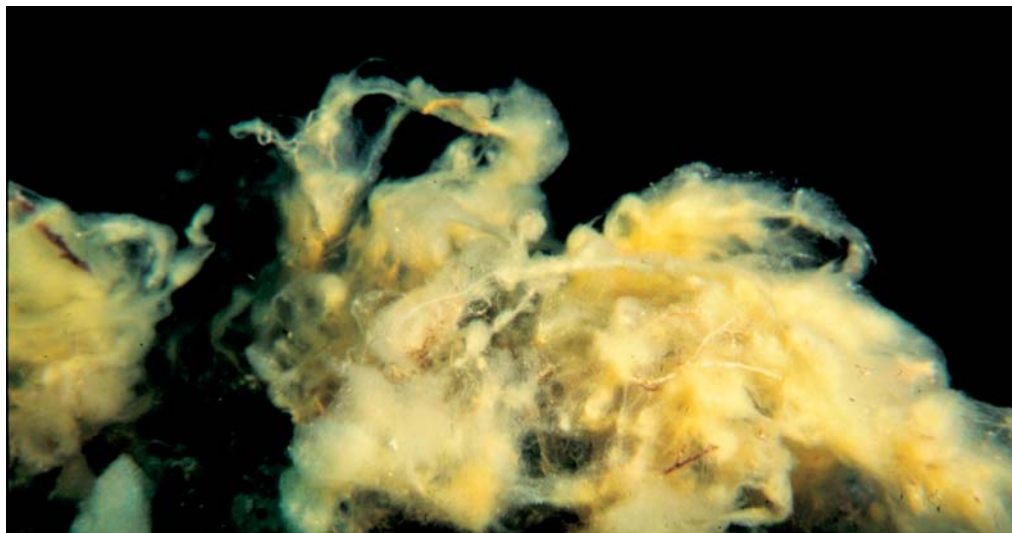


Figura 19. Tipico aspetto delle mucillagini bentoniche.

Le indagini relative alla struttura ed alla composizione specifica degli aggregati mucillaginosi bentonici hanno permesso di identificare queste formazioni come “tipici popolamenti metafitici” ovvero popolamenti di organismi uni o pluricellulari che si sviluppano utilizzando come supporto macroalghe, foglie di *P. oceanica*, gorgonie, briozoi ed altri organismi con portamento eretto stabilendo con tale supporto dei rapporti labili (escludendo quindi le forme prettamente epifite o epizoiche che interagiscono in modo stretto con il substrato). In altre parole, la componente metafitica non è direttamente collegata alla superficie dell'ospite ma semplicemente lo avvolge sviluppando nel tempo una comunità diversificata, una sorta di microcosmo che oltre agli organismi algali in grado di strutturare le fasi iniziali del popolamento metafitico comprende anche forme fito- e zooplanctoniche, batteri, protozoi, funghi, frammenti di macroalghe bentoniche e di foglie di fanerogame marine, detrito organico ed inorganico; in pratica tutto quello che si ritrova nella massa d'acqua circostante.

L'evoluzione temporale più o meno sincrona degli aggregati nell'ambiente costiero e la loro rapida diffusione in un ampio range batimetrico deriva dal fatto che la loro architettura è determinata dalla comparsa e dalla eventuale reciproca interazione di un numero limitato di specie algali filamentose. Si tratta di due alghe appartenenti al gruppo delle crisoficee (*Nematochryopsis marina* e *Chrysonophos lewisii*) e di un'alga bruna (*Acinetospora crinita*) che si rendono evidenti nel comparto bentonico tra marzo e maggio, raggiungono un picco in biomassa nei mesi di giugno e luglio ed esauriscono poi la loro attività vegetativa verso la fine del periodo estivo. Il rapido accrescimento dei singoli talli (ossia dei corpi vegetativi) caratterizzati da una espressione morfologica estremamente semplice, gli elevati ritmi riproduttivi delle due crisoficee e quindi il rapido susseguirsi di generazioni, la facilità con cui queste alghe vanno incontro a processi di frammentazione e la loro ampia valenza ecologica, spiegano come esse possano colonizzare vaste aree in tempi relativamente brevi ed in un intervallo batimetrico compreso tra -10 ed oltre -40 metri di profondità. Se le condizioni meteo-marine sono favorevoli la fase successiva prevede una progressiva crescita dimensionale degli aggregati dovuta all'aumento in biomassa delle specie che strutturano il popolamento metafitico, ma anche al continuo reclutamento dalla colonna d'acqua di organismi animali e vegetali che, con i loro essudati, incrementano la quantità di matrice mucillaginosa esopolisaccaridica intrinseca al popolamento stesso.

Un fenomeno per certi aspetti analogo agli aggregati bentonici strutturati dalle due crisoficee è quello indicato con il termine di “muffa” dai pescatori italiani che nei primi anni del 1900 operavano lungo le coste tunisine. Anche in questo caso, durante il periodo estivo, si manifestava uno sviluppo di formazioni mucillaginose distribuite in particolare sulle foglie di *P. oceanica* e di *Cymodocea nodosa*, entrambe specie fanerogamiche, e spesso in quantità tali da ricoprire completamente le foglie delle due piante marine. Proseguendo nel suo ciclo stagionale la coltre mucillaginosa perdeva progressivamente contatto con il supporto ed affiorava alla superficie formando ammassi flottanti del diametro di oltre mezzo metro che con le prime tem-

peste autunnali venivano spinti verso la costa e poi spiaggiati. Si deve a Feldmann & Frémy (1935) un elenco dettagliato degli organismi presenti all'interno della "muffa" la cui comparsa viene attribuita alla proliferazione di un cianobatterio (alghe azzurre) con colonie di aspetto filamentoso, epifita delle foglie, considerato allora nuovo per la scienza e classificato come *Phormidium mycoideum*. Tra i fattori ambientali che avrebbero determinato lo sviluppo massivo di questo cianobatterio i due autori ritengono determinanti le elevate temperature e gli alti valori di salinità che caratterizzano gli estesi bassifondi sabbiosi antistanti le coste tunisine e colonizzati dalle due fanerogame marine.

Una situazione simile, relativa ad un abnorme sviluppo di cianobatteri appartenenti al genere *Phormidium*, è stata osservata anche nell'ambito del progetto Mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno – MAT (Giani et al., 2003) in una immersione effettuata nel mese di ottobre 2001 sulla secca dei Pignocchi, situata all'interno della baia di Campese all'isola del Giglio. In un intervallo batimetrico compreso tra -15 e -25 metri, il fondale roccioso della secca risultava infatti per gran parte ricoperto da macroscopici aggregati di colore giallastro o biancastro per lo più aderenti al felpetro algale. L'analisi microscopica ha evidenziato una componente algale monospecifica, costituita da *Phormidium submembranaceum*, le cui colonie filamentose risultavano immerse in una matrice mucillaginosa chiaramente derivante dalla gelificazione delle guaine che rivestono i filamenti del cianobatterio. Piccoli aggregati di *P. submembranaceum* sono abbastanza frequenti nel comparto bentonico, in particolare a livello del piano circalitorale dove assumono una colorazione rossastra, ma di solito risultano isolati e sporadici mentre sulla secca dei Pignocchi mostravano un elevato ricoprimento su aree abbastanza vaste. Si è trattato comunque di un "bloom" (fioritura) che si è esaurito in tempi relativamente brevi dato che il mese successivo gli aggregati di *P. submembranaceum* erano scomparsi ed il fondale risultava completamente libero da residui mucilluginosi.

L'alga bruna che insieme con le due crisoficee determina l'architettura dei popolamenti metafitici è una comune feoficea ectocarpoide diffusa in tutto il bacino mediterraneo e particolarmente abbondante su substrati rocciosi o come epifita in ambienti superficiali, anche moderatamente inquinati. Questa alga con tallo filamentoso, uniseriato ed a ramificazione irregolare, è in grado di sviluppare aggregati metafitici attraverso una sua forma bentopleustofita, ossia di origine bentonica ma che può vivere liberamente separata dal substrato su cui si è sviluppata, probabilmente derivata da frammenti provenienti da popolazioni bentoniche limitrofe. Le porzioni di tallo liberamente natanti sono comunque in grado di accrescersi e moltiplicarsi, distribuendosi in un ampio intervallo batimetrico ed originando voluminosi ammassi giallastri costituiti da un lasso intreccio di filamenti. Nella forma libera sono praticamente assenti le strutture riproduttive, che viceversa risultano frequenti nella normale forma bentonica legata al substrato. Nel caso degli aggregati strutturati dalla forma bentopleustofita di *A. crinita* sono quindi da escludere fenomeni di riproduzione sessuale o di moltiplicazione asessuata tramite zoospore o monospore. Per spiegare la diffu-

sa colonizzazione del comparto bentonico ed il progressivo aumento dimensionale dei suoi aggregati l'unica alternativa possibile è di attribuire a questa alga una notevole capacità di moltiplicarsi attraverso la frammentazione del tallo, in modo da consentire una sua rapida diffusione, ed una marcata attività vegetativa, che si traduce in elevati ritmi di accrescimento. Gli aggregati di *A. crinita* vengono evidentemente distribuiti in modo aleatorio dalle correnti per cui non seguono un preciso schema di sviluppo nell'ambito di una determinata località, ma anch'essi raggiungono elevati valori di biomassa nel periodo tarda primavera-inizio estate per cui la loro dinamica temporale si sovrappone, più o meno esattamente, con lo sviluppo massivo di *N. marina* e *C. lewisii* rendendo possibili eventuali interazioni con gli aggregati delle due crisoficee.

A. crinita non è l'unica specie in grado di distribuirsi nel comparto bentonico come bentopleustofita, nel periodo estivo sulle coste siciliane, si assiste ad esempio alla fioritura dell'alga rossa *Lophocladia lallemandii* di solito epifita su altre macroalghe, ma i cui talli liberamente natanti possono mostrare ricoprimenti significativi e nuocere alle attività della piccola pesca artigianale (Giaccone, 1992; Barone et al., 2003). Questi "blooms" o "fioriture" stagionali ricorrenti sono forse riconducibili all'eccessivo svi-

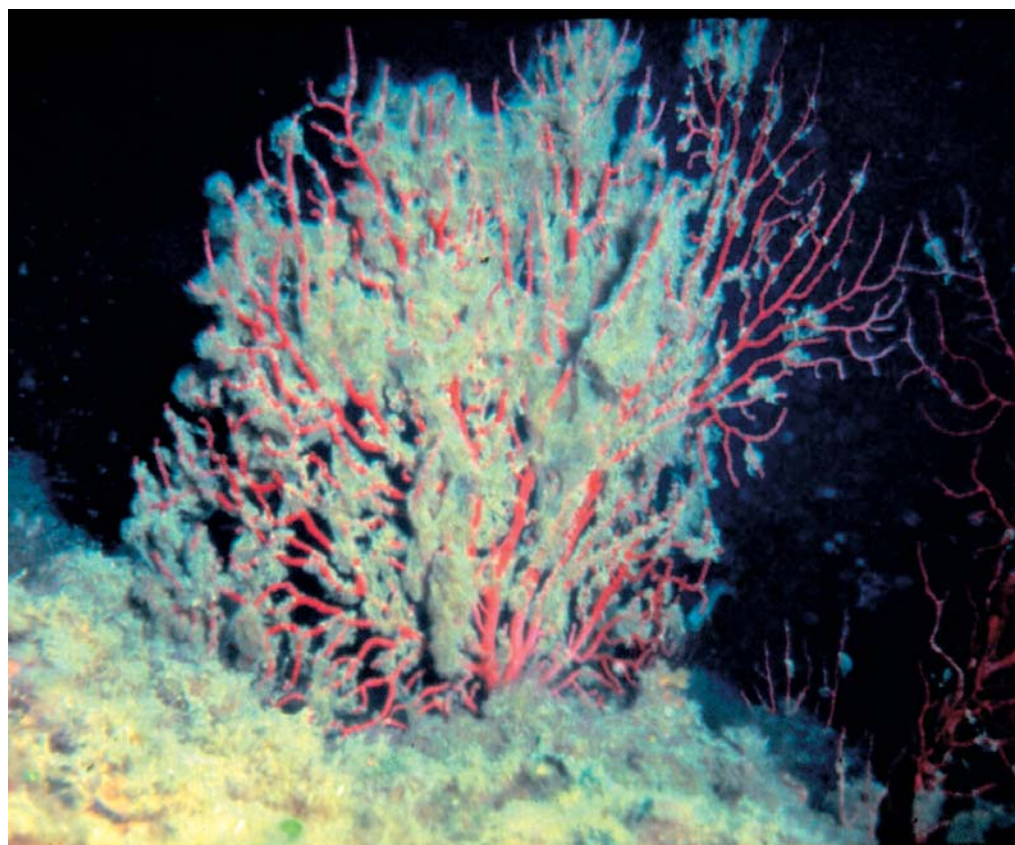


Figura 20. Aggregati depositati tra le ramificazioni di *Paramuricea clavata*.

luppo di specie opportuniste che, con l'aumentare dell'impatto antropico, si manifestano con sempre maggiore frequenza negli ambienti costieri mediterranei (Morand & Briand, 1996).

Dato che le due crisoficee ed *A. crinita* strutturano dei tipici popolamenti metafitici, lo sviluppo dimensionale dei loro aggregati risulta chiaramente condizionato dalla situazione idrodinamica locale in quanto un forte idrodinamismo può facilmente rimuovere l'intero popolamento dal supporto. In effetti, quando il fenomeno è nella sua fase più appariscente, i ricoprimenti più elevati, con aggregati di dimensioni cospicue, si osservano sulle praterie di *P. oceanica* più profonde e sui substrati rocciosi, orizzontali o poco inclinati, del piano infralitorale inferiore (colonizzato da vegetali fotofili o "amanti della luce") e del piano circalitorale (dove la radiazione luminosa che penetra è ulteriormente ridotta), interessati unicamente da correnti di fondo unidirezionali.

Si è accennato al fatto che la forma bentopleustofita di *A. crinita* ha una distribuzione aleatoria e di conseguenza non è possibile prevedere dove ed in quale intervallo batimetrico si formeranno i suoi aggregati; pur tuttavia i dati disponibili sembrano indicare un loro accumulo preferenziale nei piani batimetrici sopra citati, interessando in particolare i popolamenti delle tre più comuni gorgonie: *Eunicella singularis*, *E. cavolinii* e *Paramuricea clavata* (Fig. 20). Per quanto concerne invece le due crisoficee il loro sviluppo *in situ* ha permesso, nel corso del progetto MAT (Gianni et al., 2003), di seguire l'evoluzione temporale e batimetrica dei loro aggregati attraverso un monitoraggio mensile effettuato in due località dell'arcipelago toscano: Punta Secca (Isola di Giannutri) e Secca dei Pignocchi (Baia di Campese, Isola del Giglio).

Nel caso di *N. marina*, i dati relativi indicano che i primi aggregati visibili iniziano a formarsi già a partire dal mese di marzo ed inizialmente sono localizzati unicamente a quote abbastanza superficiali, comprese tra -5 e -10 m di profondità. Supporti adeguati allo sviluppo del popolamento metafitico sono alghe tipiche dei popolamenti fotofili infralitorali quali ad esempio: *Acetabularia acetabulum*, *Stypocaulon scoparium*, *Padina pavonica* e specie dei generi *Dictyota* e *Cystoseira*, ma in questi ambienti prossimi alla superficie gli aggregati non raggiungono mai dimensioni cospicue e mostrano sempre scarsi valori di ricoprimento. Con il progredire del fenomeno è chiaramente percepibile una tendenza che prevede una rarefazione e poi la scomparsa degli aggregati dagli ambienti superficiali ed in parallelo una progressiva colonizzazione dei livelli più profondi, per lo più caratterizzata da un considerevole aumento dimensionale del popolamento metafitico. I valori di ricoprimento del fondale più elevati si osservano nei mesi di giugno e luglio in un intervallo compreso tra -15 e -30 metri di profondità, dove quest'alga sembra trovare le condizioni ottimali per la sua attività vegetativa e riproduttiva.

La comparsa nel comparto bentonico di aggregati macroscopici strutturati da *C. lewisii* mostra un certo ritardo rispetto a quelli di *N. marina* ma, a differenza di quest'ultimi, si distribuiscono immediatamente in un intervallo batimetrico più ampio

e, già nel mese di maggio, sono presenti anche intorno ai -30 metri di profondità. Questo diverso comportamento può essere forse attribuito al fatto che *C. lewisii* si è introdotta di recente in Mediterraneo (Sartoni et al., 1995) e, come molte altre specie aliene, la sua fase di espansione mostra una cinetica elevata che si manifesta sia in senso ecologico, occupando tutti i biotopi accessibili, sia in senso geografico, distribuendosi rapidamente in settori limitrofi. Comunque, al pari di *N. marina* e della forma bentopleustofita di *A. crinita*, i picchi di biomassa di questa specie alloctona si osservano nei mesi di giugno e luglio e sempre a livello del piano infralitorale inferiore e del circolitorale per cui i suoi aggregati possono facilmente interagire con quelli delle altre due specie.

La definitiva scomparsa di queste diverse tipologie di aggregati avviene di solito nel mese di settembre, anche se la loro dispersione può essere anticipata da un brusco peggioramento delle condizioni meteo-marine nel momento in cui queste alghe sono nello stadio finale del loro ciclo vegetativo. Il progressivo “invecchiamento” degli aggregati strutturati da *A. crinita* è infatti conseguente ad un rallentamento dell’attività vegetativa di quest’alga e si manifesta con una perdita della diffidenza tipica del popolamento metafitico. Nella fase terminale, quando l’alga non è più in grado di accrescersi e di moltiplicarsi, gli aggregati si compattano e si spalmano sul supporto, frammentandosi in ammassi amorfi che assumono una colorazione grigiastria in seguito alla depigmentazione dei filamenti algali ed alla notevole quantità di detrito inglobato all’interno. L’ulteriore demolizione del materiale organico residuo, ad opera della componente batterica, determina infine la loro completa dissoluzione.

Diversa è la situazione relativa a *N. marina* e *C. lewisii* in quanto la rarefazione e la definitiva scomparsa dei loro aggregati dal comparto bentonico è seguita dallo sviluppo di forme “palmelloidi” nell’intero range batimetrico precedentemente interessato dal fenomeno.

Gli effetti degli aggregati sulle biocenosi del piano infralitorale inferiore e del circolitorale sono facilmente intuibili se si considera che la coltre mucillaginosa può raggiungere uno spessore di oltre 50 centimetri e stazionare per lunghi periodi sulle comunità bentoniche, determinando profonde modifiche dei parametri chimico-fisici nell’interfaccia aggregato-sedimento e sulla superficie degli organismi sessili. Le indagini effettuate nel corso del progetto MAT hanno chiaramente evidenziato che negli aggregati bentonici i livelli dei nutrienti sono notevolmente più elevati (Innamorati et al., 2003) ed anche le biomasse batteriche sono di due ordini di grandezza superiori rispetto alla colonna d’acqua (Fabiano et al., 2003).

Considerando la loro distribuzione batimetrica ne deriva che i popolamenti a gorgonacei, elemento strutturale e fisionomico di fondamentale importanza per le biocenosi circolitorali, sono forse gli organismi più a rischio nel periodo di massimo sviluppo delle mucillagini bentoniche. Le gorgonie rappresentano infatti un supporto ideale per gli aggregati ed uno stazionamento prolungato delle formazioni metafiche può indurre danni alle colonie, in quanto altera drasticamente i rapporti trofici tra i

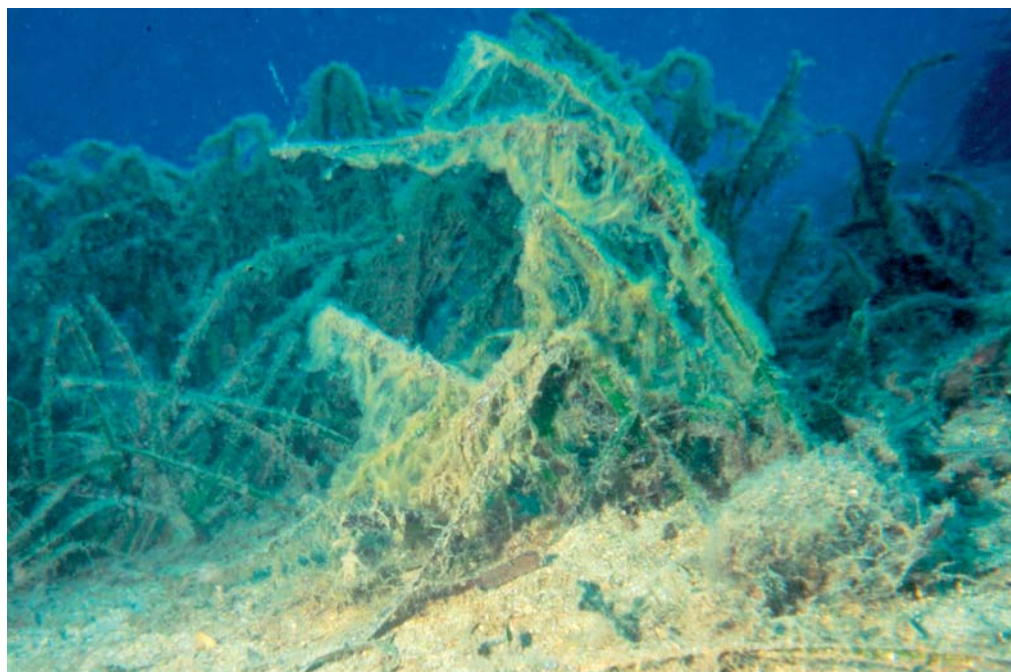


Figura 21. Piante di *Posidonia oceanica* ricoperte dalle mucillagini.

polipi e la colonna d'acqua circostante (Rinaldi et al., 1995; Sonni, 1997; Pellegrini et al., 2003).

È comunque evidente, anche in assenza di riferimenti bibliografici specifici, che altri organismi macrobentonici animali e vegetali possono andare incontro a modifiche strutturali dei loro popolamenti se ricoperti per lunghi periodi dalla coltre mucillaginosa, in particolare le alghe brune parzialmente o interamente perennanti appartenenti ai generi *Cystoseira* e *Sargassum*. Per queste alghe che di solito sviluppano popolamenti compatti, è la contiguità dei talli a determinare l'accumulo e la conseguente formazione di uno strato continuo ed omogeneo di aggregati che può filtrare e ridurre la quantità di luce per effetto "shading" (ombreggiamento) fino a causare l'alterazione della struttura della popolazione e non sono da sottovalutare altri eventuali effetti negativi sulle diverse fasi che precedono e seguono la riproduzione sessuale e che vanno quindi ad incidere sul "reclutamento" di queste alghe.

Per quanto concerne le praterie di *Posidonia oceanica* (Fig. 21), oltre all'effetto di "shading" che potrebbe raggiungere valori critici nel caso delle praterie più profonde, l'impatto degli aggregati mucilluginosi bentonici può alterare il sistema in seguito all'instaurarsi di condizioni anossiche o determinando fenomeni di eutrofizzazione. Un eccessivo accumulo di sostanza organica a livello del sedimento può infatti stimolare la crescita batterica e quindi modificare il potenziale di ossido-riduzione del sedimento a livello delle radici, con conseguenze negative sulle piante.

Il monitoraggio effettuato nel corso del progetto MAT in due praterie dell'isola d'Ischia (Modigh et al., 2003) ha evidenziato la presenza di aggregati mucilluginosi

bentonici nella primavera del 2000 e di aggregati mucilluginosi pelagici nel settembre-ottobre dello stesso anno. Il secondo evento in particolare si è protratto per circa due mesi ma le analisi condotte non hanno evidenziato alterazioni nella struttura delle praterie né dei parametri fenologici, ossia dell'espressione vegetativa della pianta in quel determinato momento del suo sviluppo, e neppure nel contenuto in carbonio e azoto. Forse, come riportato da Modigh et al. (2003), le scale temporali di azione dei fattori che possono nuocere alle praterie debbono essere maggiori e lo stress che disturba le normali funzioni fisiologiche delle piante deve essere prolungato e superare i meccanismi di resistenza del sistema. Occorre tuttavia ricordare che le praterie di *P. oceanica* sono attualmente in fase di forte regressione e questa tendenza interessa numerose aree costiere mediterranee per cui non è da escludere un'azione sinergica degli aggregati mucilluginosi bentonici nei confronti dei numerosi fattori di disturbo che mettono a rischio l'ecosistema a *P. oceanica*.

Scheda 8. *Nematochryopsis marina* (J. Feldmann) Billard

Descritta da Feldmann (1941) con il binomio *Tribonema marinum* e quindi inizialmente attribuita alla classe delle Xanthophyceae per la presenza di un involucro cellulare costituito da due subunità a forma di H come nel genere *Tribonema*, questa specie è stata oggetto di indagini relative al complesso pigmentario ed alle caratteristiche ultrastrutturali dell'apparato plastidiale. Le indagini hanno evidenziato la sua appartenenza all'ordine delle Sarcinochrysidales (Chrysophyceae s. l.) e successivamente Billard (in Hoffmann et al., 2000) ha proposto la nuova combinazione *Nematochryopsis marina* (J. Feldmann) Billard.

Nei primi stadi di sviluppo l'alga aderisce al substrato tramite una cellula basale modificata ma questa fase bentonica è transitoria e ben presto i filamenti uniseriati, mai ramificati e costituiti da migliaia di cellule, si avvolgono sul supporto dando origine al popolamento metafittico (Fig. 8.1). Un rivestimento mucilluginoso, esterno alla parete cellulare (Fig. 8.2), favorisce la loro aggregazione e l'adesione di batteri, diatomee e detrito. Nel ciclo biologico di *N. marina* non sono stati evidenziati fenomeni sessuali e la sua diffusione è assicurata da una attiva moltiplicazione asessuata tramite zoospore e da una moltiplicazione vegetativa dovuta alla conseguente frammentazione del tallo.

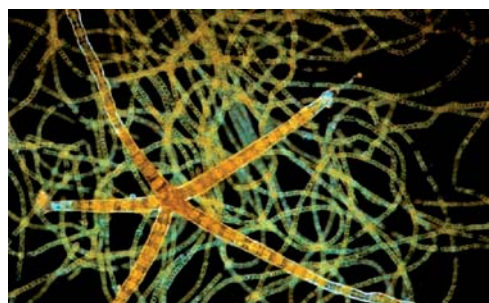


Figura 8.1. Tallo su un propagulo di *Sphacelaria cirrosa* (forma stellata in primo piano).

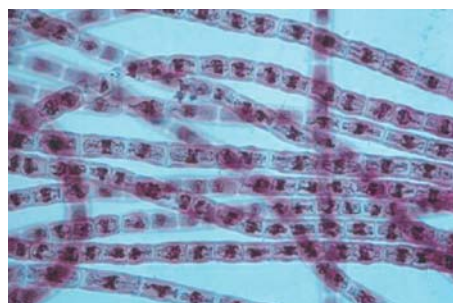


Figura 8.2. Filamenti colorati con blu di toluidina.

Scheda 9. *Chrysonephos lewisii* (Taylor) Taylor

Questa specie appartiene ad un genere monotipico descritto da Taylor (1952) su materiale raccolto alle Bermude. La sua presenza in Mediterraneo è stata segnalata per la prima volta da Sartoni et al. (1995) ed attualmente questa alga alloctona è largamente distribuita in tutte le isole dell'arcipelago toscano ed in aree limitrofe (Corsica). Oltre che in Mediterraneo *C. lewisii* è segnalata anche in numerose isole dell'Oceano Pacifico occidentale (Lobban et al., 1995), segno evidente che questa specie si sta rapidamente diffondendo in settori biogeografici diversi. Nel comportamento fenologico, nei ritmi di accrescimento e nello sforzo riproduttivo essa mostra strette analogie con *Nematochryopsis marina* con la quale condivide l'assenza di una riproduzione sessuale. Il tallo è costituito da sottili filamenti pseudodicotomi (Fig. 9.1), pluriseriati alla base ed uniseriati nella porzione mediana ed apicale; anche in *C. lewisii* è presente una guaina mucillaginosa esterna che facilita il reciproco intreccio dei filamenti e la riunione di più talli che in breve tempo originano ciuffi biancastri o giallastri di cospicue dimensioni. La moltiplicazione asessuata si realizza mediante zoospore che derivano dalla diretta trasformazione delle cellule vegetative; il processo di zoosporogenesi interessa la quasi totalità delle cellule del tallo ed, a maturità, le zoospore vengono liberate (Fig. 9.2) in seguito alla gelificazione delle porzioni apicali dei filamenti. In quest'alga è comunque presente anche una moltiplicazione vegetativa, assicurata dalla formazione di glomeruli apicali che assumono il significato di propaguli (Figg. 9.3 e 9.4).



Figura 9.1. Tallo.

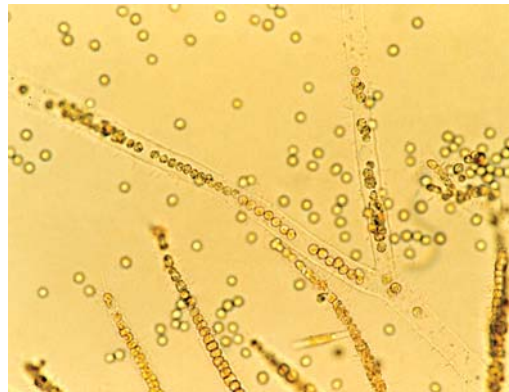


Figura 9.2. Emissione delle zoospore.



Figura 9.3. Glomeruli apicali.

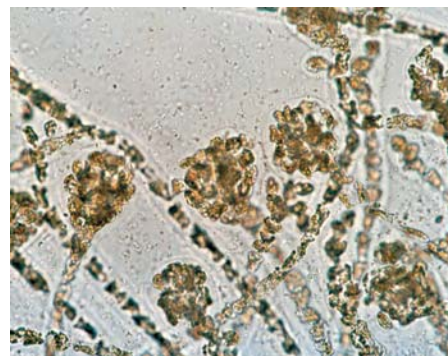


Figura 9.4. Dettaglio dei glomeruli.

Scheda 10. *Acinetospora crinita* (Harvey) Kornmann

I filamenti, anche se non mostrano una precisa polarità, sono comunque forniti di evidenti zone meristematiche intercalari, di "crampons" (Fig. 10.1) e di lunghi pseudopeli apicali, costituiti da file di cellule cilindriche scarsamente pigmentate (Fig. 10.2). Dato che nella forma bentopleustofita risultano praticamente assenti le strutture riproduttive, si è cercato di individuare i meccanismi che portano alla frammentazione del tallo e che quindi consentono una sua dispersione e moltiplicazione nell'ambiente pelagico. Sono state individuate tre diverse possibilità che non si escludono a vicenda:

1. In corrispondenza delle zone meristematiche intercalari sono presenti "abscission cells" con evidenti costrizioni a livello della parete trasversale che sembrano preludere ad una completa separazione (Fig. 10.3).
2. Le cellule degli pseudopeli apicali, a differenza di quelle dei veri peli, sono ancora provviste di apparato plastidiale ed è spesso evidente la parziale separazione di cellule contigue che potrebbero essere in grado di riformare un nuovo tallo assumendo un ruolo analogo a quello dei propaguli.
3. Le cellule di *A. crinita* sono spesso infettate da un fungo, *Eurychasma dicksonii* (Wright) Magnus (Fig. 10.4) che ne determina la morte e che quindi favorisce indirettamente la frammentazione.

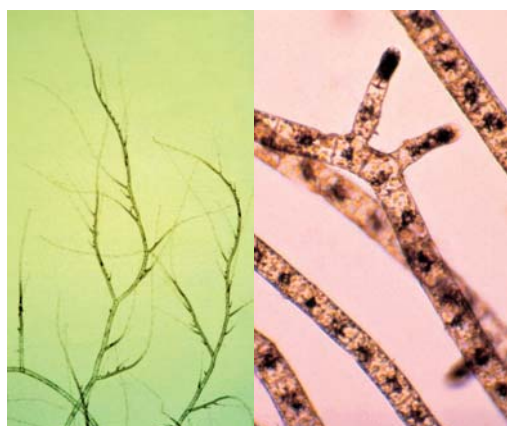


Figura 10.1. Aspetto del tallo e particolare dei "crampons".

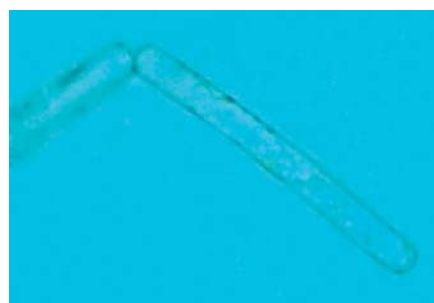


Figura 10.2. Distacco di cellule dagli pseudopeli apicali.

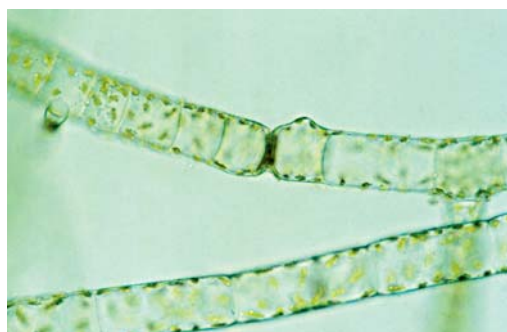


Figura 10.3. Cellule in separazione



Figura 10.4. Cellula con infezione fungina.

Scheda 11. Forme palmelloidi

Le forme palmelloidi (Fig. 11.1) sono di dimensioni variabili ed aderiscono con la loro matrice mucillaginosa agli organismi bentonici. Esse rappresentano probabilmente una tappa intermedia nel ciclo biologico di una o di ambedue le crisoficee, come del resto accade per altre crisofite filamentose di ambienti salmastri o d'acqua dolce per le quali il passaggio alla fase palmelloide rappresenta semplicemente una modifica del normale processo di zoosporogenesi (Fritsch, 1935). La loro origine è appunto da ricercare negli ultimi stadi dell'attività vegetativa e riproduttiva dei macrotalli filamentosi che, invece di liberare zoospore, originano microscopici ammassi di cellule immobili; quest'ultimi, in seguito alle continue divisioni cellulari, divengono visibili ad occhio nudo raggiungendo talvolta il diametro di alcuni centimetri. Osservate al microscopio ottico, le migliaia di cellule immerse nella matrice mucillaginosa comune (Fig. 11.2) risultano provviste di una propria guaina pluristratificata e presentano dimensioni e caratteristiche citologiche del tutto simili alle zoospore prodotte dalle due crisoficee, a parte naturalmente l'assenza dei flagelli, mentre le frequenti divisioni cellulari testimoniano il persistere di una discreta attività vegetativa. La formazione di talli palmelloidi rappresenta comunque una tappa intermedia nel ciclo biologico di queste alghe dato che progressivamente anch'essi scompaiono dal comparto bentonico; l'ipotesi più probabile è che il progredire della stagione sfavorevole determini un rallentamento dell'attività metabolica ed un disfacimento della matrice mucillaginosa di modo che i microscopici ammassi cellulari o singole cellule, ancora provviste di una propria guaina, possano distribuirsi nell'ambiente. Questa strategia, che prevede la presenza di una forma quiescente nel ciclo delle due crisoficee, potrebbe spiegare il repentino sviluppo primaverile dei loro aggregati, in risposta a fattori ambientali quali: fotoperiodo e temperatura, ed il fatto che in determinate località, anno dopo anno, si osserva sempre una presenza massiva di queste formazioni mucillaginose bentoniche.

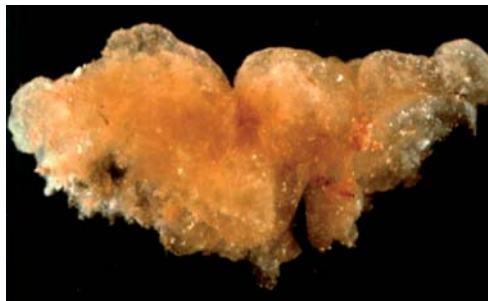


Figura 11.1. Tallo palmelloide.

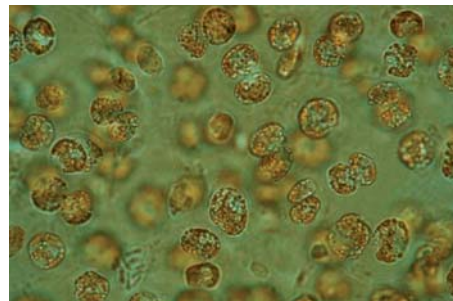
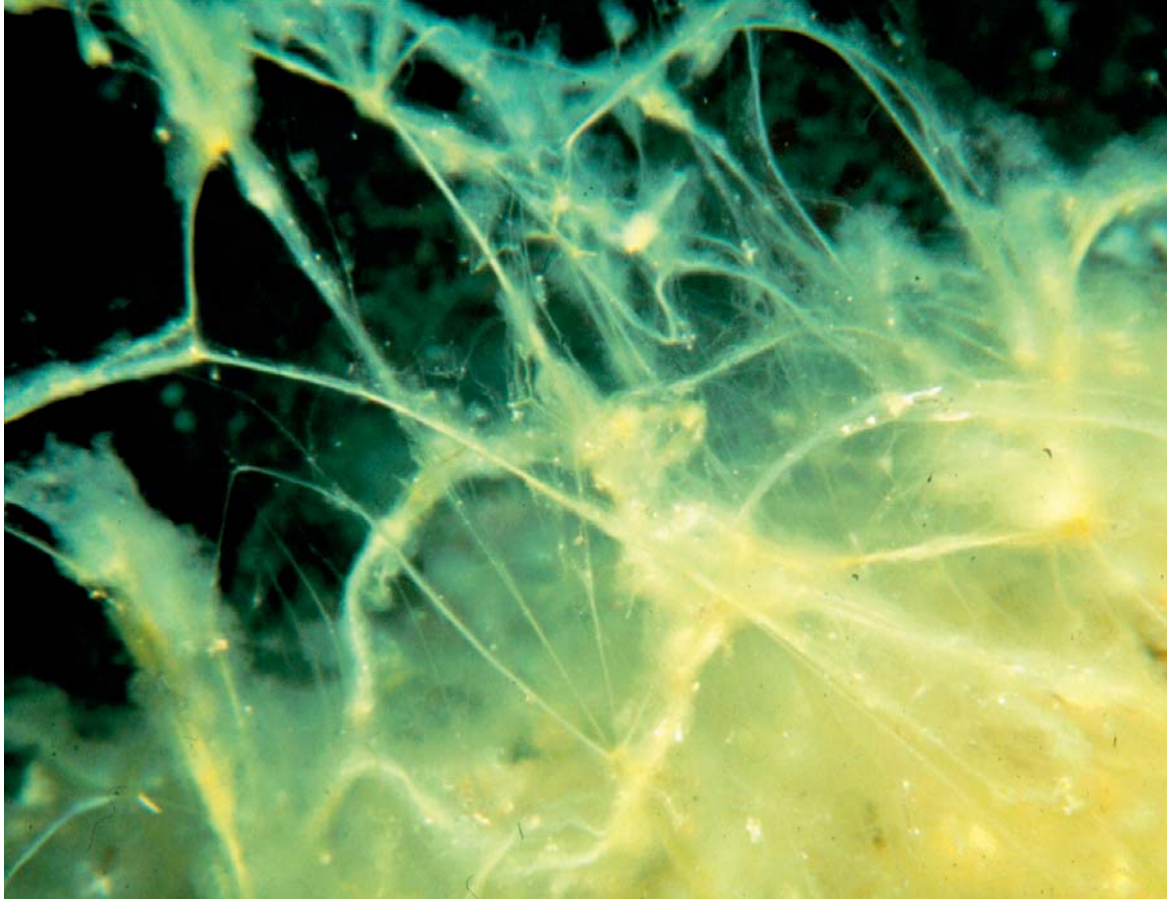


Figura 11.2. Cellule del tallo palmelloide.



Particolare di un aggregato bentonico.

COMPOSIZIONE CHIMICA DELLE MUCILLAGINI BENTONICHE

Carbonio, azoto, fosforo e zolfo negli aggregati bentonici

L'analisi elementare degli aggregati bentonici tirrenici ha evidenziato una elevata percentuale di carbonio organico, un ridotto contenuto di azoto, probabilmente per scarsa presenza di proteine, ed una quantità abbastanza rilevante di zolfo (Fig. 22). Sia il rapporto atomico del carbonio organico con l'azoto ($C_{org}/N=26\pm6$) che il rapporto atomico tra carbonio organico e fosforo ($C_{org}/P=1277\pm257$) sono significativamente più elevati rispetto ai rapporti caratteristici del fitoplancton (che sono rispettivamente $C_{org}/N=6\pm2$ e $C_{org}/P=164\pm106$). Questi alti valori dei rapporti C_{org}/N e C_{org}/P dimostrano l'origine macroalgale degli aggregati bentonici, infatti le macroalghe sono caratterizzate da valori C_{org}/N e C_{org}/P più elevati rispetto al fitoplancton. Valori del rapporto C_{org}/N pari a 14 sono riporta-

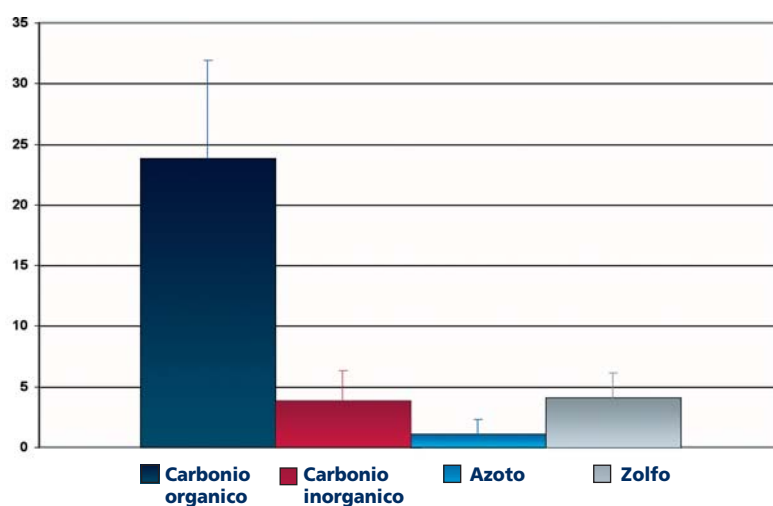


Figura 22. Contenuto percentuale medio sul peso secco di carbonio organico ed inorganico, azoto, e zolfo. Le barre verticali indicano le deviazioni standard.

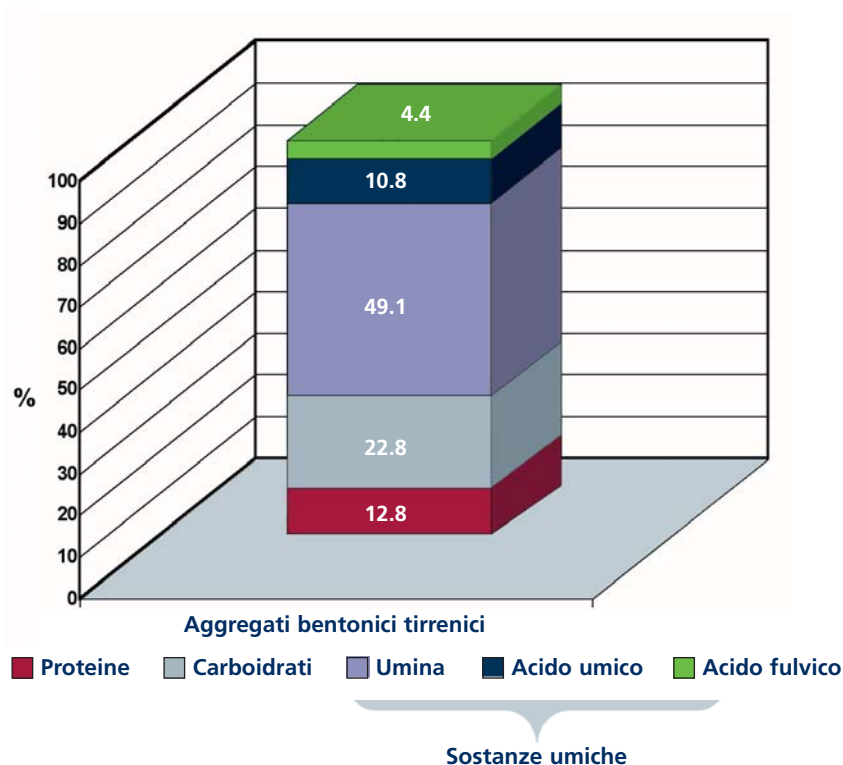


Figura 23. Composizione della percentuale delle frazioni organiche (proteine, carboidrati e sostanze umiche) rispetto al carbonio organico totale.

ti da Lobban & Harrison (1994) per le macroalghe, mentre valori di $11,1 \pm 4,8$ in *Ulva rigida* e di $15,4 \pm 5,7$ in *Fucus virsoides* in Adriatico sono stati trovati da Faganeli (1988). Rapporti C_{org}/P pari a 252 sono riportati da Lobban & Harrison (1994) mentre Faganeli et al. (1988) hanno trovato rapporti di 579 ± 265 in *Ulva rigida* e 804 ± 386 in *Fucus virsoides*. Il rapporto tra carbonio organico e zolfo (C_{org}/S) determinato per gli aggregati bentonici è pari a 24 ± 20 , valore simile a quello riportato da Lobban & Harrison (1994) per le macroalghe.

Le macroalghe presentano rapporti C_{org}/S più bassi (Lobban and Harrison, 1994) rispetto ai valori stimati per il fitoplancton, pari a 67 (Giani et al., in stampa), in quanto presentano un maggior contenuto di zolfo.

Tale rapporto conferma che l'origine della biomassa costituente l'aggregato è dovuta principalmente a macroalghe.

La sostanza organica

Nelle mucillagini bentoniche si è osservata una rilevante prevalenza dei carboidrati (22,9%) rispetto alla componente proteica (12,8%; Fig. 23). Il rapporto in peso tra carboidrati e proteine, maggiore di 1, è tipico delle macroalghe, la cui componente polisaccaridica può essere fino a 5 volte maggiore di quella proteica (Lobban & Harrison, 1994).

La componente umica, in genere presente come prodotto di degradazione della lignina presente nelle piante terrestri si trova in quantità rilevante anche nelle mucil-

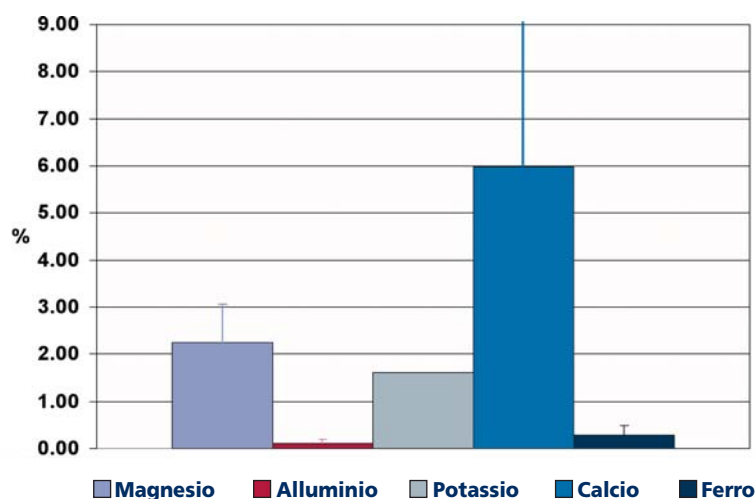


Figura 24. Contenuto percentuale sul peso secco di magnesio, alluminio, potassio, calcio e ferro nelle mucillagini bentoniche tirreniche. Le barre verticali indicano la deviazione standard.

lagini bentoniche (Mecozzi et al., 2001) di origine macroalgale. Infatti i composti umici sono stati individuati anche in altre macroalghe marine quali: *Pilayella littoralis*, *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*, *Laminaria saccharina* (Ghabbour, 1994) e nella fanerogama marina del genere *Zostera* (Radwan, 1997).

La componente inorganica

Essa è costituita soprattutto da elementi maggiori, quindi presenti in quantità rilevanti nell'ambiente (quali calcio, alluminio, ferro, magnesio, potassio; Fig. 24), e microelementi, presenti in bassa concentrazione (quali rame, cromo, manganese), costituenti biologici degli organismi.

Gli aggregati bentonici risultano particolarmente ricchi di calcio e magnesio (Fig. 24), mentre il contenuto di ferro ed alluminio è ridotto. Il rapporto atomico tra calcio e magnesio (Ca/Mg) negli aggregati bentonici, pari a $3,0 \pm 2,5$, presenta valori ben inferiori a quelli riscontranti in aggregati mucillaginosi prodotti da colture dal fitoplankton *Gonyaulax hyalina* appartenente al gruppo delle dinofitofite (MacKenzie et al., 2002). Concrezioni di alghe calcaree che rimangono intrappolate all'interno degli aggregati possono spiegare il maggior contenuto di calcio presente negli aggregati bentonici. Infatti le mucillagini bentoniche tirreniche presentano concentrazioni di calcio molto diverse dagli aggregati pelagici confermandone la diversa origine. Anche i rapporti calcio/fosforo e magnesio/fosforo sono significativamente più alti rispetto alle mucillagini pelagiche, per il maggior contenuto in calcio e magnesio presente in questi aggregati.

Per quanto riguarda i microelementi, il contenuto di zinco negli aggregati bentonici tirrenici (81 ± 83 mg/kg), è simile alle concentrazioni tipiche delle macroalghe (Lobban & Harrison, 1994), mentre il contenuto in rame è inferiore (7 ± 9 mg/kg) rispetto ai valori trovati per il fitoplancton adriatico.



Capasanta (*Pecten jacobaeus*) ricoperta da mucillagini. Foto: Andrej Jaklin



Mucillagini pelagiche sedimentate su ascidie (*Halocynthia papillosa*).

EFFETTI DELLE MUCILLAGINI PELAGICHE SULL'AMBIENTE E SULLE ATTIVITÀ UMANE

Le aggregazioni mucillaginose hanno un impatto non solo sulle biocenosi dei fondali, ma anche sulle attività produttive legate al turismo e alla pesca, e sebbene non vi siano segnalazioni di casi con conseguenze negative per la salute dell'uomo, prodotte dal contatto con le mucillagini (Funari & Ade, 1999), non si possono comunque escludere, in aree inquinate, implicazioni di tipo sanitario per quanto riguarda la balneazione.

Effetti sulla salute dell'uomo

L'eventuale tossicità degli aggregati potrebbe essere attribuita alla capacità intrinseca di trattenere e quindi concentrare gli eventuali composti chimici tossici per l'uomo presenti nell'acqua. Infatti, grazie alla loro struttura, le mucillagini possono offrire un microhabitat ideale a favorire la crescita e la sopravvivenza di agenti patogeni naturalmente presenti nell'ambiente, accrescendone il potenziale rischio microbico (Mingazzini & Thake, 1995). Gli studi condotti a tale riguardo portano però a concludere che la matrice mucillaginosa non è un ambiente favorevole allo sviluppo di batteri patogeni enterici (Volterra et al., 1992). È comunque plausibile che le mucillagini che hanno transitato o sostato in aree contaminate o igienicamente compromesse, a causa della loro struttura peculiare, possano diventare degli agenti di trasporto e quindi veicolare in altre zone le cause e gli effetti di un eventuale danno ambientale in atto.

Non è raro osservare piccoli organismi morti o sofferenti inclusi negli strati cremosi, che si addensano sulla superficie del mare e trasportati sulla battigia (Rinaldi,

1992; Stachowitsch et al., 1990). Infatti, i rari casi di urticazione attribuiti al contatto con le mucillagini sono da imputare alla presenza di cnidari (piccolissime meduse) inglobati casualmente nella matrice mucillaginosa (ICRAM, 1993). Si è anche visto che alcune specie di microalghe trovano nelle mucillagini un ambiente favorevole al loro sviluppo e non si può escludere la possibilità di un accumulo delle tossine algali nella matrice polisaccaridica. Nonostante l'elevata presenza di specie fitoplanctoniche, alcune in grado di produrre tossine, non è stato dimostrato un accumulo di sostanze di origine algale dannose per l'uomo (Viviani et al., 1995b). Inoltre, le dinoflagellate, gruppo a cui appartengono le specie produttrici delle tossine diarroiche (DSP), in genere vengono ritrovate con le teche aperte e svuotate del contenuto cellulare. È stato, però, dimostrato che gli estratti organici di campioni della cosiddetta "neve marina" hanno effetti tossici od inibitori dei sistemi cellulari nelle colture di cellule utilizzate per i test (Müller et al., 1998); probabilmente la positività ai test è da imputare alle tossine rilasciate dai vari microrganismi che si insediano sulla matrice mucillaginosa.

Effetti sul turismo

I fronti di mucillagini sospinti dalle correnti e dal vento verso le spiagge (Fig. 25) rendono sgradevole la permanenza in acqua da parte dei bagnanti; la sensazione di disagio aumenta con l'essiccamento sulla pelle degli aggregati per effetto del sole e dell'aria.

Notevoli sono i danni economici riportati dalle associazioni di categoria degli operatori turistici che lamentano, in concomitanza del verificarsi del fenomeno, la ridu-



Figura 25. Mucillagini portate sull'arenile dalle onde.

zione delle presenze dei vacanzieri nelle spiagge dove sono state segnalate le mucillagini affioranti.

Nelle estati del 1988 e del 1989, di fronte alla gravità del fenomeno per estensione e durata, si cercò di fermare l'avanzata dei fronti verso gli arenili utilizzando delle panne galleggianti, che risultarono però inefficaci nell'azione di arginamento. Durante lo stesso periodo, si fecero pure dei tentativi di rimescolamento e di ossigenazione degli strati d'acqua utilizzando le turbosoffianti, ma che risultarono inefficaci. Dinanzi all'impossibilità di fronteggiare il fenomeno, negli anni successivi moltissime delle strutture ricettive e degli impianti di balneazione ripiegarono sulla costruzione di piscine, di cui ci fu un vero boom. Alla luce delle esperienze acquisite si ritiene che fornire un'informazione puntuale e precisa sul fenomeno sia una delle azioni più efficaci nei confronti dei turisti e degli operatori interessati.

Effetti sulla pesca

Fin dal 1892 sono state documentate le difficoltà incontrate nella conduzione delle normali attività di pesca in concomitanza del verificarsi del fenomeno di aggregazione delle mucillagini. Le reti di allora erano in fibra naturale, più pesanti e meno resistenti di quelle attualmente in uso; appesantite dal carico di mucillagini si strappavano con la conseguente perdita del pescato (Orel et al., 1993). Inoltre, le maglie delle reti da imbrocco rimanevano occluse dalle mucillagini diminuendo così l'efficacia della cattura del pesce e rendendo praticamente impossibile salpare le reti a causa del loro appesantimento.



Figura 26. Recupero di una rete intasata dalle mucillagini.

Le informazioni storiche disponibili (Orel et al., 1993), riguardanti il quantitativo di pescato per le coste orientali dell'Adriatico negli anni interessati ai fenomeni di aggregazione, riportano che tra il 1877 e il 1881 fu osservata una forte riduzione in peso di sardine, tonni, palamiti, aguglie; e il minimo pescato in molluschi si ebbe nel 1880, anno di sicura comparsa delle mucillagini. Successivamente nel 1905 si registrò nel mercato di Trieste il 21% in meno rispetto l'anno seguente dei quantitativi di sardine, alici, sgombri e tonni. Ovviamente non è possibile dimostrare che le mucillagini fossero la causa della riduzione del commerciale sbarcato, ma le nubi a mezz'acqua e i fronti gelatinosi sospesi in superficie possono intralciare la pesca pelagica con reti da saccaleva e reti volanti, come pure le nubi sul fondo possono avere effetti negativi sulla pesca demersale a strascico e quella bentonica esercitata con cocce, poste e nasse.

In molte tecniche di pesca, come quella con le reti di circuizione, l'appesantimento della rete, dovuto all'occlusione delle maglie da parte delle mucillagini raccolte (Fig. 26), fa sì che la lima dei sugheri sprofondi creando una possibile via di fuga per il pesce (Diviacco, 1992). Nel caso della pesca al traino le reti appesantite offrono una maggior resistenza al recupero, che si riflette su un aumento dello sforzo del verricello salparete, arrivando anche ad inclinare il natante. Alla diminuita cattura commerciale si aggiungono quindi gli aumenti di consumo del carburante, i problemi di conduzione del natante e di sicurezza del personale di bordo.

In considerazione delle denunce dei pescatori e delle osservazioni degli esperti sono stati avviati programmi di ricerca allo scopo di determinare quale fosse il reale impatto delle mucillagini sulla marineria da pesca lungo tutta la costa italiana interessata dal fenomeno.

Nel 1991 indagini dell'Istituto Centrale per la Ricerca Applicata alla Pesca (ora ICRAM) nel Golfo di Salerno su 2 motopescherecci dotati di reti di circuizione (ciancioli) e 4 imbarcazioni per la pesca a strascico confermarono i problemi di recupero delle reti una volta che queste erano state intasate dalle mucillagini. E ogni volta che lo strascico veniva recuperato con ingente materiale mucillaginoso il prodotto commerciale era al di sotto del normale rendimento (ICRAM, 1991). Una situazione analoga fu riscontrata nel 1993 utilizzando il tramaglio lungo la costa settentrionale siciliana (ICRAM, 1993).

Nel 1997 fu condotto un progetto articolato, a cui collaborarono l'ICRAM e il CNR-IRPEM, finanziato dal Ministero per le Politiche Agricole (1997) al fine di determinare la gravità o meno della situazione di quell'anno. Dalle coste del Veneto a quelle delle Marche vennero effettuate cale sperimentali con reti a strascico tra 3 e 10 miglia nautiche. In questa ricerca solo nel 18% delle cale le reti risultarono completamente occluse dalle mucillagini e con bassi rendimenti commerciali. Altresì, cale povere in pesce ma ricche in molluschi (canestrelli) fecero ipotizzare un allontanamento del necton (sostanzialmente i pesci che nuotano attivamente) e una sofferenza del benthos (come i molluschi e i crostacei del fondo) con conseguente aumento della sua catturabilità. I due Enti stimarono che nel compartimento marittimo di Ancona, l'attività di pesca con le reti da posta subì una riduzione di circa il 25%, mentre la pesca delle sogliole fu assolutamente improduttiva a seguito del fenomeno. Una delle ipotesi avanzate fu che il filo delle reti ricoperto dalle mucillagini (Fig. 27) fosse ben visibile al pesce che riusciva ad evitare le maglie; quindi alla diminuzione del

pescato bisogna aggiungere anche il tempo speso nella frequente pulizia degli attrezzi da pesca. Sempre nello stesso anno i banchi di mitili e di ostriche sui substrati artificiali della zona di ripopolamento a Cesano di Senigallia (AN) mostrarono evidenti segnali di sofferenza; gli individui completamente ricoperti dalle mucillagini non erano più in grado di filtrare in modo ottimale e la situazione si aggravò sino a giungere alla moria delle ostriche.

L'anno successivo l'ICRAM sul "Bollettino informativo sulla presenza delle mucillagini nei mari Adriatico e Tirreno", del 23 giugno 1998, riportava che le reti da posta di fondo utilizzate in Emilia-Romagna e nelle Marche risultavano localmente ingombre di mucillagini e che nella costa settentrionale della Sicilia i pescatori denunciavano la difficoltà ad operare in mare per via delle reti appesantite dagli aggregati mucillaginosi raccolti; malgrado le osservazioni visive delle aggregazioni non danno il 1998, a dispetto dell'anno precedente, come anno di sviluppo massivo del fenomeno (ICRAM, 1998). Nello stesso periodo il CNR-IRPEM proseguiva le indagini sul tratto di costa tra Cattolica (RN) e S. Benedetto del Tronto (AP) spingendosi fino a 30 miglia al largo, verificando dei bassi rendimenti di pesca ogniqualvolta le reti raccoglievano le mucillagini (Ministero per le Politiche Agricole, 1999).

Durante il progetto MAT, per verificare gli effetti delle mucillagini sui bivalvi allevati off-shore, sono stati monitorati dei popolamenti di mitili al largo di Chioggia (VE); lo studio rivelò che le misure di lunghezza e gli indici di condizione, che indicano in modo sintetico lo stato di "salute" dell'animale inteso come pienezza delle carni all'interno del nicchio, subirono dei rallentamenti nella crescita che coincidevano con i periodi di presenza massiva delle mucillagini (Giovanardi & Boscolo, 2003). Premesso che la crescita nei mitili è fortemente influenzata sia da fattori biotici (disponibilità del nutrimento, fasi del ciclo riproduttivo, patologie, ecc.) sia da fattori abiotici, quali le condizioni chimico-

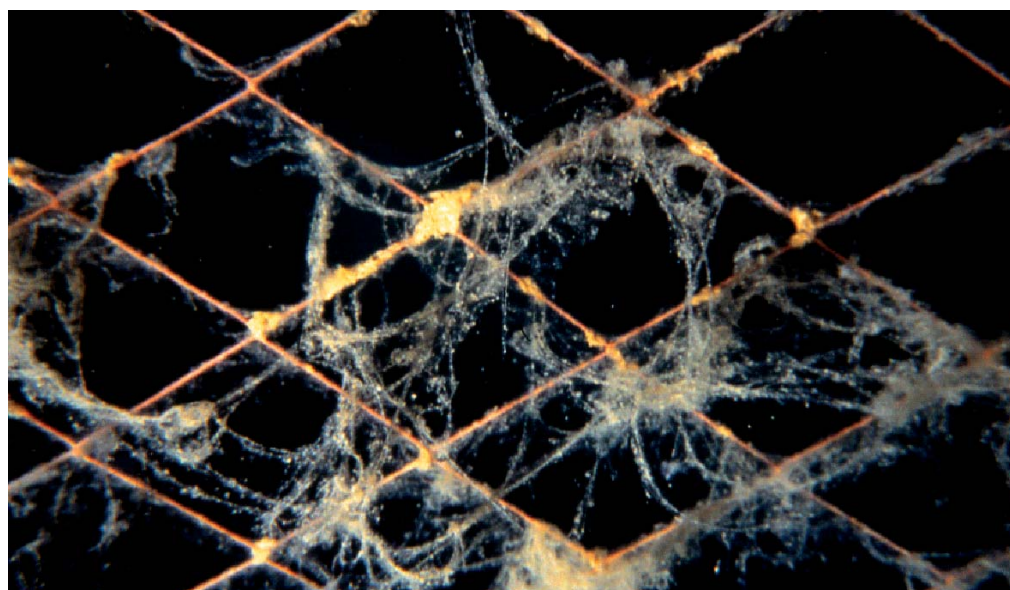


Figura 27. Aggregati impigliati tra le maglie di una rete.

fisiche dell'ambiente, è comunque ipotizzabile che grandi quantità di mucillagini depositate sulle reste possano indurre la chiusura più o meno prolungata delle valve con una conseguente riduzione, anche drastica, del tasso di filtrazione. Il ridotto apporto di nutrimento e di ossigeno e l'accumulo dei prodotti di scarto del metabolismo possono condurre a stati di stress che si ripercuotono, per l'appunto, sul tasso di crescita e sul peso corporeo.

Infine, un aspetto poco studiato e di difficile quantificazione è l'effetto che le mucillagini hanno sulle uova e sullo sviluppo larvale dei pesci che rientrano tra i target della pesca commerciale. Uova di pesci pelagici sono state spesso ritrovate inglobate nella matrice mucillaginosa e le riduzioni osservate negli stock di *Gobius niger* e *G. pagannellus* (ghiozzi) potrebbero essere messe in relazione con l'impatto delle mucillagini sugli stadi larvali dei pesci di fondo (Rinaldi, 1992).

È evidente che le mucillagini hanno un effetto negativo sulla pesca, ma che non è tale da pregiudicare il mercato nel suo insieme. Il danno è proporzionale alla quantità di mucillagini presenti in mare ma dipende anche dalla distribuzione verticale, orizzontale e temporale degli aggregati. I fenomeni di aggregazione difficilmente si ripetono negli anni con uguale intensità, durata e modo di manifestarsi e quindi ogni evento fa storia a sé. Va anche messo in evidenza che nell'ultima decina d'anni il fenomeno di aggregazione delle mucillagini ha fatto la sua comparsa in corrispondenza del periodo di fermo pesca e di fatto questa coincidenza ha contenuto l'impatto economico. Inoltre, in concomitanza degli eventi si può assistere all'incremento degli sbarchi di alcune specie quali gli scampi, le canocchie e i canestrelli che sembrano quindi risentire del fenomeno; probabilmente la strategia adottata è quella di abbandonare la tana nel sedimento quando questa è occlusa dalle mucillagini con conseguente aumento della catturabilità delle prede.

Effetti sugli organismi del fondale

Gli organismi che soffrono della deposizione sul fondo degli aggregati mucilluginosi sono tutti quelli che hanno scarsa capacità di movimento e stringono un rapporto molto stretto con il fondale (benthos), sia esso incoerente, come nel caso dei fondi mobili sabbiosi e/o fangosi, sia esso coerente, trattandosi di pareti e fondali rocciosi; gli organismi del benthos dipendono, in parte o del tutto, dal substrato per quanto riguarda il riparo, il nutrimento e la riproduzione.

Le mucillagini quando si depositano in modo massivo sul fondo possono arrecare danni agli individui per riduzione, fino all'eliminazione, degli scambi gassosi con gli strati d'acqua sovrastanti oppure per soffocamento meccanico. Tutti i taxa bentonici possono essere soggetti agli effetti negativi della sedimentazione degli aggregati, ma in modo particolare lo sono i bivalvi i cui sifoni rimangono occlusi dal materiale gelatinoso (Rinaldi, 1992). Anche le specie vegetali risentono del fenomeno di aggregazione, infatti la deposizione delle mucillagini sul tallo algale o sulle foglie delle fanerogame marine comporta la riduzione della penetrazione della luce nelle cellule fotosintetiche e la limitazione degli scambi gassosi con conseguente alterazione del metabolismo.

Oltre agli effetti diretti sugli organismi marini, le coltri di mucillagini depositate sul substrato possono aggravare situazioni distrofiche già in atto, in quanto al disotto delle nubi depositate si sviluppano processi degradativi della sostanza organica con consumo di ossigeno (anossia; fig. 28). Spesso è accaduto che la presenza massiva di mucillagini sul fondo fosse associata a fenomeni di carenza di ossigeno (ipossia) che non necessariamente erano una conseguenza dell'evento, ma piuttosto erano determinati dal lungo tempo di residenza delle acque di fondo nell'alto Adriatico in assenza di processi di rimescolamento. Il susseguirsi di primavere con alte temperature, ridotti flussi di scambio tra i bacini dell'Adriatico e disequilibri nei rapporti tra i nutrienti disciolti nelle acque sono fattori che possono favorire anche i fenomeni eutrofici oltre la formazione delle mucillagini. In tali circostanze gli effetti negativi dei due fenomeni si sovrappongono e non è possibile discriminare gli uni dagli altri (Orel et al., 1993; Stachowitsch et al., 1990).

Come già detto, in presenza di mucillagini si riscontra un aumento della catturabilità di alcune specie oggetto di pesca commerciale, infatti l'abbandono della tana nel sedimento è, in questo frangente, una strategia utilizzata da molti organismi del benthos appartenenti a vari taxa come l'anellide polichete sedentario *Chaetopterus vario-pedatus* e il crostaceo decapode *Upogebia littoralis* (Orel & Vio, 1988). Abbandonare l'area compromessa dalla deposizione delle mucillagini può risultare una efficace via di scampo, ma ciò aumenta la vulnerabilità nei confronti dei predatori. Gli organismi con limitata capacità di movimento avrebbero comunque scarse probabilità di sopravvivenza qualora fosse già in atto un processo anossico, come accadde nel Golfo di Trieste, nel 1983, e lungo la costa Emiliano-Romagnola, nel 1989, quando agli effetti della deposizione degli aggregati si sono aggiunti quelli della bassa concentrazione di ossigeno disciolto (Giani et al., 1992). In questo caso, gli organismi sessili possono assumere colorazioni che denotano sofferenza, per esempio alcune spugne scoloriscono e i celenterati come *Cerianthus membranaceus* diventano rossastri e abbandonano il manicotto membranoso che li avvolge e li assicura al sedimento (Orel et al., 1993). E ancora, gli esemplari sofferenti dell'ofiura *Ophiothrix quinquemaculata* (Fig. 29) si mostrano aggrovigliati tra loro e non in postura di nutrimento (Stachowitsch et al., 1990), ossia con il dorso sul sedimento e i tentacoli rivolti verso l'alto per convogliare le particelle di alimento alla bocca.

Basse densità di macrofiocchi non pongono immediata sofferenza agli individui perché sono attivamente rimossi dalla superficie corporea, non c'è compromissione dei movimenti e non c'è diretta influenza sull'attività di alimentazione sospensivora; anzi si ipotizza che in condizione di bassa densità i fiocchi possano essere utilizzati come fonte di nutrimento (Stachowitsch et al., 1990). Le osservazioni indicano che anche correnti deboli ($v < 3$ cm/s) sono in grado di spostare i macrofiocchi depositati sul substrato. L'impatto invece aumenta con il crescere delle dimensioni dell'aggregato, nubi e nastri possono ricoprire e avvolgere gli organismi bentonici in vere ragnatele o strati, in tal caso, l'attività di nutrimento sospensivoro si interrompe e la motilità è impedita. Se le normali attività fisiologiche sono compromesse per un tempo sufficientemente

lungo può sopraggiungere la morte degli individui anche in condizioni chimico-fisiche della colonna d'acqua non sfavorevoli. Casi di mortalità del benthos in condizioni di saturazione dell'ossigeno disciolto si sono osservati lungo la costa istriana, nel 1988, dove, nei casi più drammatici, accadeva che gli organismi morti riempissero le reti dei pescatori, come è riportato per il riccio irregolare *Brissopsis lyrifera* nella baia di Rijeka (Croazia) nel 1973 (Zavodnik, 1977).

Le condizioni ambientali che inducono l'aggregazione mucillaginosa sono però favorevoli allo sviluppo delle microalghe bentoniche, che sono anche avvantaggiate dalla diminuita pressione predatoria, legata alla sofferenza degli organismi zoobentonici che se ne nutrono, e dal rilascio di nutrienti rimineralizzati nell'interfaccia muco-sedimento. La comunità microfitobentonica è favorita pure dalla riduzione del dragaggio del fondale da parte dei pescherecci che riducono le attività in mare a causa delle difficoltà incontrate nell'esercizio della pesca nei periodi di mucillagine (Welker & Nichetto, 1996).

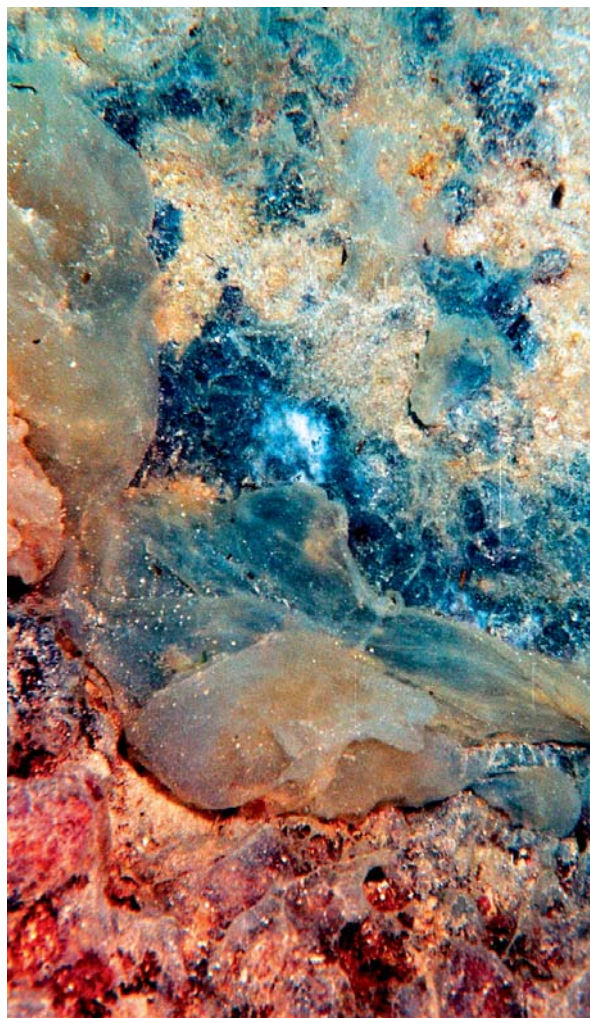


Figura 28. Processi degradativi anossici associati alla deposizione delle nubi.

Tra le popolazioni naturali più studiate per verificare gli effetti della deposizione degli aggregati troviamo le gorgonie (*Paramuricea clavata*, *Eunicella cavolinii*, *E. singularis*) e le fanerogame marine (*Posidonia oceanica*) in quanto sono specie caratteristiche di fondali moderatamente perturbati, sia da fattori di stress naturali che antropici, inoltre sono importati elementi degli ecosistemi marini e rappresentano una attrattiva per le attività ricreative subacquee.

La deposizione di coltri dense di mucillagini per lungo tempo sulle ramificazioni dei gorgonacei determina la morte dei polipi della colonia e il denudamento dello scheletro (Fig. 30). La capacità rigenerativa di *P. clavata* dopo circa 6 mesi risulta influenzata dalla taglia della colonia, dalla localizzazione del danno e dalla sua estensione totale (Mistri & Ceccherelli, 1997). Le colonie che mostravano danni estesi per più del 60% della superficie erano morte o risultavano seriamente compromesse,

mentre quelle con danno inferiore al 20% si sono ricostituite e accresciute. Le colonie da 0 a 100 cm erano tutte morte probabilmente perché troppo piccole per recuperare. Infine, il danno nella zona apicale è più facilmente recuperabile del danno delle aree centrali, probabilmente il sistema rigenerativo del tessuto posto agli apici della colonia è più efficace, anche come risposta evolutiva ai predatori (che come il vermore *Harmodice carunculata*, in genere, mangiano le estremità delle gorgonie per non consumare tutta la preda).

I dati raccolti nell'arcipelago toscano durante il progetto MAT hanno posto in evidenza che i danni subiti dalle gorgonie sono legati alla presenza degli aggregati mucillaginosi, ma ciò non necessariamente compromette lo stato di salute delle colonie. Molti sono i fattori che hanno un ruolo nel caratterizzare il tipo di impatto che causa la morte dei polipi delle gorgonie. Il danno pare legato ad una permanenza prolungata e continuativa degli aggregati sulla stessa area ed è definito dalla tipologia di aggregato che insiste sui rami. Particolarmente dannosa è, infatti, la presenza di coltri dense che vanno a compromettere i rapporti dei singoli polipi della colonia con la colonna d'acqua. Dall'analisi della tipologia di impatto e del danno che può esserne derivato si evidenzia una diversa sensibilità intraspecifica delle gorgonie e una diversa risposta interspecifica. *Paramuricea clavata* nonostante fosse interessata da aggregati in forma di coltri dense e spesse, che hanno insistito sui rami delle colonie per lungo tempo, è risultata la specie che meglio ha superato la stagione 2000, mentre *Eunicella singularis* è la specie che più ha sofferto (Pellegrini et al., 2003).

Le cause di possibile alterazione della prateria di *Posidonia* conseguente la comparsa di macroaggregati sono legate ai fenomeni di anossia e eutrofizzazione, che in genere si accompagnano alle manifestazioni mucillaginose o che da esse possono essere aggravate, e dallo "shading", ovvero



Figura 29. Gruppo di ofiure sottoposte alla "caduta" di neve marina.

l'ombreggiamento per copertura con conseguente schermatura della luce del sole, che per un popolamento vegetale di fondo è ovviamente limitante. Nel corso dei monitoraggi MAT nelle praterie di *Posidonia* dell'isola di Ischia non sono stati osservati bassi tenori di ossigeno disciolto né situazioni di arricchimento in nutrienti e dall'analisi dei parametri di crescita fogliari e stoloniali non appare evidente un effetto negativo dovuto all'ombreggiamento da parte delle mucillagini pelagiche (Modigh et al., 2003).

Lo studio dell'impatto sugli organismi marini può essere condotto anche ad un livello organizzativo superiore a quello delle popolazioni monospecifiche, cioè a livello di popolamenti plurispecifici o di comunità in modo da analizzare non solo gli effetti sugli individui ma pure come l'impatto delle mucillagini interferisce sui rapporti tra le diverse specie e quindi sulla struttura delle biocenosi.

L'evento verificatosi nell'Adriatico nel 1989 ha comportato la quasi completa defaunazione dei vermi policheti presenti in un'area salmastra a basso fondale situata a Punta Marina (RA), ma il gruppo tassonomico investigato ha recuperato rapidamente, già nell'autunno, senza manifestare alterazioni stabili nella struttura del popolamento. La ricostituzione è avvenuta in base agli individui sopravvissuti (soprattutto gli erranti fossori di grandi dimensioni come *Hediste diversicolor*) ed ai colonizzatori provenienti da zone adiacenti non compromesse. Specie di minori dimensioni e con alto potenziale riproduttivo (specie opportuniste) come gli spionidi (*Polydora ciliata* e *Streblospio shrubsolei*) sono invece giunti dal mare. Nel microhabitat studiato le mucillagini si comportano nei confronti dei vermi policheti come un inquinante acuto e parzialmente selettivo (Castelli & Prevedelli, 1992).



Figura 30. Ramificazioni di *Paramuricea clavata* denudate a causa della morte dei polipi della colonia dovuta all'impatto delle mucillagini depositate.

Durante l'attività di monitoraggio MAT non sono state evidenziate modificazioni nei parametri strutturali della comunità macrozoobentonica al largo di Cesenatico (FC) imputabili agli eventi di aggregazione del 2000 e del 2002 (Occhipinti et al., 2003), mentre a conferma di quanto ogni evento di aggregazione faccia storia a sé e di quanto influiscano le condizioni al contorno nel determinare l'impatto sui popolamenti macrozoobentonici, al largo di Chioggia (VE) una diminuzione non selettiva e relativamente contenuta della densità degli organismi potrebbe essere attribuita agli eventi di giugno 2000 e agosto 2002. La diminuzione del numero di individui non ha favorito nessuna delle specie presenti e non si è venuta a creare la caratteristica situazione di dominanza che permette di individuare una possibile situazione di stress ambientale (Giovanardi et al., 2003). È probabile che un ruolo importante nel contenimento degli effetti sulla comunità sia stato giocato dalle correnti di fondo che hanno mantenuto in movimento le coltri mucillagino-se, disperdendole.

Le mucillagini si frappongono tra gli organismi del benthos e gli strati d'acqua sovrastanti da cui essi dipendono per le funzioni alimentari, respiratorie e molto spesso riproduttive. La gravità dell'impatto che gli aggregati possono avere sugli individui è quindi legata alla loro tipologia, più specificatamente alla densità della matrice mucillaginosa, alla copertura, cioè all'area su cui vanno ad insistere, e al tempo di permanenza. Strati mucillaginosi molto compatti ed estesi verticalmente compromettono il ricambio gassoso e impediscono la sedimentazione del seston, ovvero del plancton e delle particelle che possono avere valore alimentare; una copertura omogenea rende inefficaci i tentativi di allontanamento anche per le specie dotate di ampia motilità; la persistenza del fenomeno comporta l'esaurimento delle riserve degli individui e il consumo dell'ossigeno disciolto al di sotto degli strati di mucillagine. Il realizzarsi di condizioni così critiche appare comunque un evento piuttosto raro. In genere la mortalità riguarda gli organismi bentonici sessili o dotati di scarsa motilità e si realizza a macchia di leopardo, solo dove le condizioni di basso idrodinamismo comportano localmente la permanenza delle coltri mucillagino-se.

Un cavalluccio marino
nelle mucillagini.
Foto di Ljiljana Iveša,
Rudjer Boskovic Institut
Rovinj Croatia.







ABSTRACT

The aim of this volume is to summarise the present level of knowledge concerning the phenomenon of mucilage aggregation, a complex matter that is hard to investigate because of its sporadic nature and its patchy distribution in the seas. Using the results acquired in the *Mucilage in the Adriatic and Tyrrhenian Project*, supported by the Italian Ministry for the Environment, and from the knowledge acquired in earlier research, an attempt is made to provide an overall, integrated overview of the factors causing the formation of the mucilage, and also eliminate some of the common errors deriving in part from the scant public disclosure of the scientific results obtained.

The earliest historical sources mentioning mucilage in the Adriatic date back to the 18th century, but it is only in the past 15 years or so that the phenomenon has been studied on a scientific basis. On the basis of their origin, the mucilages are distinguished into pelagic and benthic groups: the former are formed in the water column, the latter on the sea bottom.

The pelagic mucilages are amorphous agglomerates of organic material the dimensions of which can vary from a few centimetres to a number of metres, and which include bacteria, phyto- and zooplanktonic organisms, inorganic detritus and whatever else happens to be in suspension in the water column. Even though their origin is not completely clear, particular meteorological and hydrodynamic conditions can facilitate their appearance. The accumulation of organic matter of a planktonic origin, resulting from the reduced bacterial capacity to break it down in conditions of intermittent supplies of nutrients, the recirculation of water and the increase in periods of residence, the advection of high-salinity water from the southern Mediterranean are the environmental conditions that facilitate the appearance of the mucilage in the Adriatic basin.

The breaking up of the material and the disappearance of the phenomenon in general take place following a period of large seas and a consequent mixing of the water column, and the activation of currents that facilitate its transportation and dispersion over a vast area. A part of the aggregates arrives at the surface where it is broken down by bacteria and photo-oxidation, whilst a part falls to the seabed where it is broken down by bacteria. Although the area most affected by the phenomenon is the northern Adriatic, pelagic mucilage can also be found in the waters of the Tyrrhenian Sea, where the phenomenon seems to spread from the southern areas northwards.

The benthic mucilages differ from the pelagic ones not only because they form on the seabed, but also because their onset is determined by the appearance and eventual reciprocal interaction of three species of filamentous algae: *Nematochryopsis marina*, *Chrysonophos lewisii* and *Acinetospora crinita*. A large quantity of microscopic organisms able to contribute to the increase of the mucilaginous matrix are trapped within the weave of the extremely fine filaments. In conditions of moderate hydrodynamism, this "agglomerate" can detach itself and be transported by the currents, massing together

LE MUCILLAGINI

between rocky gaps, between the ramifications of the gorgonia or between the leaves of marine phanerogams.

The mucilages are not harmful to man, but their unappealing appearance and the annoyance they cause bathers have a negative impact on the use of the sea for recreational purposes. They do have a directly negative impact, however, on man's fishing activities as they clog up the fishing nets. The environmental damage they cause is determined by the fact that in settling, the mucilage can form a thick blanket enveloping the organisms living on the seabed (and which are fixed or possess limited capacity for movement) and impeding the exchange of oxygen required for breathing. This negative impact is greater in areas protected from the currents but since, in general, the deposition of the mucilage aggregates takes place in a discontinuous, patchy manner, the organisms that survive are able to recolonise the impacted areas fairly rapidly.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Alber M. & Valiela I., 1994. Production of microbial organic aggregates from macrophyte-derived dissolved organic matter. *Limnol. Oceanogr.*, 39: 37-50.

Alcoverro T., Conte E., Mazzella L., 2000. Production of mucilage by the Adriatic epipelagic diatom *Cylindrotheca closterium* (Baillariophyceae) under nutrient limitation. *J. Phycol.*, 36:1087-1095.

Allredge A., 1998. The carbon, nitrogen and mass content of marine snow as a function of aggregate size. *Deep-Sea Res.*, 45: 529-541.

Allredge A. L. & Gotschalk C. C., 1989. Direct observations of the mass flocculation of diatom blooms: characteristics, settling velocities and formation of diatom aggregates. *Deep-Sea Res.*, 36: 159-171.

Allredge A. L., Passow U., Haddock H. D., 1998. The characteristics and transparent exopolymer particle (TEP) content of marine snow formed from thecate dinoflagellates. *J. Plankton Res.*, 20: 393-406.

Allredge A. L., Passow U., Logan B. E., 1993. The abundance and significance of a class of large, transparent organic particles in the ocean. *Deep-Sea Res. I*, 40: 1131-1140.

Andreoli C., Arata P., Giani M., Hommè E., Vidali M., 1992. Processi di formazione e caratterizzazione degli aggregati gelatinosi nell'Adriatico settentrionale. Risultati delle crociere oceanografiche e delle indagini di laboratorio condotte nel 1990/91. Quaderno ICRAM N. 2, Roma, pp. 107.

Andreoli C., Giani M., Hommè E. 1991. Aggregati gelatinosi dell'Adriatico settentrionale: studi biologici e chimico-fisici. Atti del XVIII Convegno nazionale Ambiente Risorse, Bressanone, 3-8 settembre 1990, 321-331, Padova.

ARPAV, 2004. Bollettino del Mare Veneto, maggio 2004.
http://www.arpa.veneto.it/acque/marino_costiere/docs/bol0405.pdf

Azam F., Fenchel T., Gray J. G., Meyer-Reil L. A., Thingstad T., 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10:257-263.

Azam F., Fonda Umani S., Funari E., 1999. Significance of bacteria in the mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea, *Ann. Ist. Super. Sanità*, 35: 411-419.

Baldi F., Malej A., Minacci A., Milanese C., Vignani R., 1998. Is diatom lysis in extensive mucilage of Adriatic Sea due to a viral infection? Abstract from Algal virus workshop, Bergen Norway, 14-15 June 1998. <http://www.fou.uib.no/fd/1998/f/414001>.

Baldi F., Minacci A., Saliot A., Mejanelle L., Mozeic P., Turk V., Malej A., 1997. Cell lysis and release of particulate polysaccharides in extensive marine mucilage assessed by lipid biomarkers and molecular probes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 153: 45-57.

Barale V., 2003. Monitoraggio dell'adriatico settentrionale tramite telerilevamento, indagini climatologiche su dati storici da telerilevamento. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume II: 85-120.

- Barone R., Riggio S., Mannino A. M., 2003. Evoluzione temporale dei popolamenti fitoplanctonici e fitobentonici, collegati a fenomeni di formazione di mucillagini, in due aree costiere della Sicilia settentrionale. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume II: 197-235.
- Bellemo E., 1920. Un interessante fenomeno nell'Adriatico-il mare sporco, Gazzetta di Venezia, n.184, Venezia, 1 agosto 1920.
- Berto D., Giani M., Taddei P., Bottura G. Spectroscopic evidence of the marine origin of mucilages in the Northern Adriatic Sea. Sci.Total Environ, in stampa.
- Bianchi G., 1746. Descrizione del Tremuoto grande che vi fu in Arimino l'anno 1672 adì 14 aprile il Giovedì Santo alle ore 22 in circa. In: Raccolte d'Opuscoli scientifici e filosofici, t. XXXIV, 243-258.
- Biddanda B.A., 1985. Microbial synthesis of macroparticulate matter. Mar Ecol. Prog. Ser., 20: 241-251.
- Boalch G.T. & Harbour D.S., 1977. Unusual diatom off the coast off south-west England and its effect on fishing. Nature, 269: 687-688.
- Bochdanský A.B. & Herndl G. J., 1992a. Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. III. Zooplankton interactions with marine snow. Mar. Ecol. Prog. Ser., 87: 135-146.
- Bochdanský A.B. & Herndl G. J., 1992b. Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. V. Role of fecal pellets in marine snow. Mar. Ecol. Prog. Ser., 89: 297-303.
- Boldrin, A., Bortoluzzi G., Frascari F., Guerzoni S. and Rabitti S., 1988. Recent deposits and suspended sediments off the Po della Pila (Po river, main mouth), Italy. Mar. Geol., 79: 159-170.
- Boni L., 1989. Fioriture algali e "mare sporco" nelle acque costiere dell'Emilia Romagna. Nova Thalassia, 10 (1): 679-683.
- Brambati A. (a cura di), 1988. Il fenomeno del "mare sporco" nell'Adriatico (luglio-agosto 1988). Le opinioni di alcuni esperti. CNR, Trieste-Roma, pp. 60.
- Bratbak G. & Heldal M., 1999. Significance of algal viruses and ecology of *Phaeocystis* host-virus interactions. In: Bell Cr, Brylinsky M, Johnson-Green P (eds) Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology, Halifax, Canada.
- Bruno M., Coccia A., Volterra L., 1993. Ecology of mucilage production by *Amphora coffeaeformis* var *perpusilla* blooms in Adriatic Sea. Water Air Soil Pollut., 69: 201-207.
- Buzzelli E., Gianna R., Marchiorri E., Bruno M., 1997. Influence of nutrient factors on production of mucilage by *Amphora coffeaeformis* var. *perpusilla*, Cont. Shelf. Res., 17: 1171-1180.
- Cabrini M., Fonda Umani S., Honsell G., 1992. Mucilaginous aggregates in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea): analysis of the phytoplankton communities in the period June-August 1989. Sci. Total Environ., 165: 145-54.
- Calvo S., Barone R., Naselli Flore L., 1995. Observations on mucus aggregates along Sicilian coasts during 1991-1992. Sci. Tot. Environ., 165: 23-31.
- Castelli A. & prevedelli D., 1992. Effetto del fenomeno delle mucillagini dell'estate 1989 sul popolamento a policheti di un microhabitat salmastro presso Punta Marina (Ravenna). Biologia Marina Suppl. Notiz. S.I.B.M., 1: 35-38.
- Castelli S., Giani M., Ferrari C., Polimene L., Zangrando V., 2002. Separazione di frazioni organiche colloidali nell'area della plume Po mediante ultrafiltrazione. Comunicazione presentata al XV Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, Roma, settembre 2002.
- Castracane F., 1873. Sopra la straordinaria apparenza presentata dal mare Adriatico nella seconda metà del luglio 1872. Atti Accademia Pontificia de' Nuovi Lincei, Roma, XXVI: 3-8.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Castracane F., 1881. Straordinario fenomeno della vita del mare osservato nell'Adriatico nella estate del 1880. Atti Accademia Pontificia de' Nuovi Lincei, Roma, XXXIV: 9-19.
- Castracane F., 1898. Una raccolta di diatomee alla imboccatura del Porto canale di Fano. (Nota). Atti Accademia Pontificia de' Nuovi Lincei, Roma, LI: 67-72.
- Chin W.C., Orellana M. V., Verdugo P., 1998. Spontaneous assembly of marine dissolved organic matter into polymer gels. *Nature*, 391: 568-572.
- Ciglenc̆ki I., Čosović B., Vojvodić V., Plavšić M., Furić K., Minacci A., Baldi F., 2000. The role of reduced sulfur species in the coalescence of polysaccharides in the Adriatic Sea. *Mar. Chem.*, 71: 233-249.
- Ciglenc̆ki I., Čosović B., Vojvodić V., Plavšić M., Furić K., Minacci A., Baldi F., 2003. Mucopolysaccharide transformation by sulfide in diatom cultures and natural mucilage. *Mar. Ecol.*, 263:17-27.
- Cori C. J., 1905. Ueber die Meerverschleimung im Triester Golfe whaerend des Sommers 1905. *Triester Tagblatt*, Jahr XXVI, 25-26/X/1905.
- Corinaldesi C., Crevatin E., Del Negro P., Marini M., Russo A., Fonda Umani S., Danovaro R., 2003. Large-scale Spatial Distribution of Virioplankton in the Adriatic Sea: Testing the Trophic State Control Hypothesis, *App. Env. Microbiol.*, 69: 2664-2673.
- Cortese A. & Talarico L., 1993. Observations on gelatinous exocellular products from *Nitzschia closterium* (Ehrenberg) Smith under culture, *Giornale Bot. Ital.*, 127: 838-40.
- Corzo A., Morillo J. A., Rodriguez S., 2000. Production of transparent exopolymeric particles (TEP) in cultures of *Chaetoceros calcitrans* under nitrogen limitation. *Aquat. Mar. Ecol.*, 23: 63-72.
- Cozzi S., Ivančić I., Catalano G., Djakovac T., Degobbi D., 2004. Dynamics of the oceanographic properties during mucilage appearance in the Northern Adriatic Sea: analysis of the 1997 event in comparison to earlier events. *J. Mar. Sys.*, in stampa.
- Crisciani F. & Ferraro S., 1990. Climatological aspects of the occurrence of "Mare sporco" (dirty sea) episodes in the northern Adriatic sea during the period 1841-1990. *Boll. Oceanol. Teorica Appl.*, 8 (4): 289-298.
- Crisciani F., Ferraro S., Raicich F., 1992. Some factors controlling the climatological evolution of the upper-layer sea temperature at Trieste. *Il Nuovo cimento*, 15: 173-179.
- Danovaro R., Armeni M., Luna G. M., Corinaldesi C., Dell'Anno A., Ferrari C. R., Fiordelmondo C., Gambi C., Gismondi M., Manini E., Mecozzi M., Perrone F. M., Pusceddu A., Giani M. Exoenzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the northern Adriatic sea. *Sci. Tot. Environ.*, in stampa.
- De Angelis F., Barbarulo M.V., Bruno M., Volterra L., Nicoletti R., 1993. Chemical composition and biological origin of "dirty sea" mucilages. *Phytochem.*, 34(2):393-395.
- Decho A. W., 1990. Microbial exopolymer secretions in ocean environments: their role(s) in food webs and marine processes. *Oceanogr. Mar. Rev.*, 28: 73-153.
- Degobbi D., Smodlaka N., Pojed I., Skrivanic A., Precali R., 1979. Increased eutrophication of the northern Adriatic sea. *Mar. Poll. Bull.*, 10: 298-301.
- Degobbi D., 1989. Increased eutrophication of the northern Adriatic sea. *Mar. Poll. Bull.*, 20 (9): 452-457.
- Degobbi D., 1990. Eutrophication-related phenomena in the Adriatic sea and Yugoslav coastal region. In: Barth H. & Fegan L., *Eutrophication-related phenomena in the Adriatic sea and Mediterranean coastal zones. Water Pollution Research Report 16, Commission of The European Communities*, 83-95.
- Degobbi D., Fonda Umani S., Franco P., Malej A., Precali R., Smodlaka N., 1995. Changes in the northern Adriatic ecosystem and the hypertrophic appearance of gelatinous aggregates. *Sci. Total Environ.*, 165: 43-58.

- Degobbis D., Malej A., Fonda Umani S., 1999. The mucilage phenomenon in the northern Adriatic a critical review of the past scientific hypotheses. *Ann. Ist. Super. Sanità*, 373-381.
- Degobbis D., Precali R., Ferrari C. R., Djakovac T., Rinaldi A., Ivančić I., Gismondi M., Smolaka N. Changes in nutrient concentrations and ratios during mucilage events in the period 1999-2002. *Sci. Tot. Environ.*, in stampa.
- Degobbis D., Precali R., Ivančić I., Smolaka N., Fuks D., Kveder S., 2000. Long-term changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication. *Int. J. Environ. Poll.*, 13: 495-533.
- Del Negro P., Civitarese G., Ramani P., Fonda Umani S., 2001. Microbial loop structure along trophic gradients in the Adriatic Sea. In: Faranda FM, Guglielmo L, Spezie G, editors. *Mediterranean Ecosystems: Structures and Processes*, 60. Springer-Verlag, Italia, 477-484.
- Del Negro P., Crevatin E., Larato C., Ferrari C., Totti C., Pompei M., Giani M., Berto D., Fonda Umani S. Mucilage microcosms. *Sci. Tot. Environ.*, in stampa.
- Deserti M., Cacciamani C., Chiggiato J., Maccaferri S., Tassinari A., Zuccherelli A., 2003. Indagini climatologiche, indagini sull'evoluzione delle comunità planctoniche e modellizzazione dei processi. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale, ICRAM, volume II: 1-84.
- Diviacco G., 1992. Aggregati gelatinosi in Mar Tirreno durante l'estate 1991: indagini sulla presenza e sull'evoluzione del fenomeno. In: *La crisi del mediterraneo in seguito alla fioritura di masse algali*, Accademia internazionale di scienze e tecniche subacquee, quaderno 9: 19-32.
- Dolnitscher, Syrski, Loy, 1872. Sul così detto limo di mare. *L'Osservatore Triestino*, n. 163, Trieste, 19 luglio 1872.
- Dudman W.F., 1977. The role of surface polysaccharides in natural environments. In: Sutherland I (Ed.). *Surface carbohydrates of the prokaryotic cell*. London: Academic Press, 357-414.
- Edwards M., Richardson A.J., 2004. The impact of climate change on the phenology of the plankton community and trophic mismatch. *Nature*, 430: 881-884.
- Engel A., 2000. The role of transparent exopolymeric particles (TEP) in the increase in apparent particles stickiness (a) during the decline of diatom bloom. *J. Plankton Res.*, 22: 485-497.
- Engel A., Goldthwait S., Passow U., Alldredge A., 2002. Temporal decoupling of carbon and nitrogen dynamics in a mesocosm diatom bloom. *Limnol. Oceanogr.*, 47: 753-761.
- Engel A., Thoms S., Riebsell U., Rochelle-Newall E., Zonderwvan I., 2004. Polysaccharide aggregation as a potential sink of marine dissolved organic carbon. *Nature*, 428: 929-932.
- Ertel J. R. & Hedges J.I., 1983. Bulk chemical and spectroscopic properties of marine and terrestrial humic acids, melanoidins and catechol-based synthetic polymers. In: Christman, R. F. & E.T. Gjessing (eds.). *Aquatic and terrestrial humic materials*. Ann Harbor Science. Ann Harbor, 143-162.
- Fabiano M., Misić C., Gazza L., Montella A., Parodi P., Marrale D., Povero P., 2003. Studio delle variazioni quali-quantitative della sostanza organica particellata e del comparto batterico nel mare Tirreno settentrionale. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume II: 127-148.
- Faganeli J., Kovac N., Leskovsek H., Pezdic J., 1995. Sources and fluxes of particulate organic matter in shallow coastal waters characterized by summer macroaggregate formation. *Biogeochem.*, 29:71-88.
- Faganeli J., Malej A., Pezdic J., Malacic V., 1988. C: N: P ratios and stable C isotopic ratios as indicators of sources of organic matter in the gulf of Trieste (northern Adriatic). *Oceanol. Acta*, 11 (4): 377-382.
- Fanuko N., Turk V., 1990. The oceanological properties of the seawater in the gulf of Trieste before and during the "mare sporco" phenomenon (summer 1988). *Boll. Oceanol. Teor., Appl.*, 8(1): 3-11.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Feldmann, J., 1941. Une nouvelle Xanthophycée marine: *Tribonema marinum* nov. sp. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, 32(1-4): 56-61.
- Feldmann J. & Frémy P., 1935. Matériaux pour la flore algologique marine de la Tunisie, II – Contribution à l'étude biologique et systématique de la "muffa". Station Océanographique de Salambo, 29: 1-24.
- Ferraro S. & Mazzarella A., 1998. Solar activity and algal-bloom occurrences in the northern Adriatic Sea: geomagnetic connection. Theor. Appl. Climatol., 59: 129-134.
- Fonda Umani S., Milani L., Borme D., de Olazabal A., Parlato S., Precali R., Kraus R., 2001. Progetto di monitoraggio dell'Alto Adriatico. Relazione conclusiva. Luglio 1998-Giugno 2001. INTERREG II, Laboratorio Biologia Marina, Trieste, pp. 105.
- Fonda Umani S. & Beran A. 2003. Seasonal variations in the dynamics of microbial plankton communities: first estimates from experiments in the Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 247:1-16.
- Fonda Umani S., Milani L., Borme D., de Olazabal A., Parlato S., Precali R., Kraus R., Lucic D., Njire J., Totti C., Romagnoli T., Pompei M., Cangini M. Inter-annual variations of planktonic food webs in the northern Adriatic Sea and their role in driving organic carbon fluxes Sea. Sci. Tot. Environ., in stampa.
- Fonda Umani S., Ghirardelli E., Specchi M., 1989. Gli episodi di "mare sporco" nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione Regionale dell'Ambiente, 178 pp.
- Fooker U. & Liebezeit G., 2000. Distinction of marine and terrestrial origin of humic acids in North sea surface sediments by adsorption spectroscopy. Mar. Geology., 164:173-181.
- Forti A., 1906. Alcune osservazioni sul "Mare sporco" ed in particolare sul fenomeno avvenuto nel 1905. Estratto dal "Nuovo Giornale Botanico Italiano, vol. XIII, 5-56.
- Franco P., 1988. Il fenomeno del "mare sporco" nell'Adriatico. (luglio-agosto 1988). In: Brambati A. (a cura di), Le opinioni di alcuni esperti. CNR, Trieste-Roma, 37-40.
- Fritsch F. E., 1935. The Structure and Reproduction of the Algae. Vol. I. University Press, Cambridge, 939 pp.
- Funari, E. & Ade P., 1999. Human health implications associated with mucilage in the northern Adriatic Sea. Ann Ist Super Sanità, 35 (3): 421-425.
- Funari E., Azam F., Fonda Umani S., Pagnotta R., 1999. State of the art and new scientific hypotheses on the phenomenon of mucilages in the Adriatic Sea. Ann Ist Super Sanità 35: 353-425.
- Gasparovic B. & Cosovic B., 2003. Surface active properties of organic matter in the North Adriatic Sea. Estuar. Coastal Shelf Sci., 58: 555-566.
- Ghabbour E. A, Khairy A.H, Cheney D. P., Gross V., Davies G., Gilbert T. R, Zhang X., 1994. Isolation of Humic Acid from the Brown Alga *Pilayella littoralis*. J. Appl. Phycol., 6: 459-468.
- Giaccone G., 1992. Nematotalli algali mucilaginosi sulle coste della Sicilia e delle isole minori. In: La crisi del Mediterraneo in seguito alla fioritura di masse algali, Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee, Quaderno 9: 9-18.
- Giani M., 1992. Ricerche sugli aggregati gelatinosi nel mare Adriatico. In: Amato E. (a cura di), Atti del convegno internazionale "Mediterraneo e Caraibi due mari in pericolo? Sversamenti accidentali di idrocarburi ed emergenze causate dalle alghe", Genova 4 luglio 1992, ICRAM-IFREMER, 61-74.
- Giani M., Cicero A. M., Savelli F., Bruno M., Donati G., Farina A., Veschetti E., Volterra L., 1992. Marine snow in the Adriatic Sea: a multifactorial study. Sci. Tot. Environ., Suppl. 539-549.
- Giani M., Berto D., Cornello M., Zangrando V., 2003. Caratterizzazione chimica di aggregatigelatinosi del mare adriatico e del mare tirreno. In: Programma di monitoraggio e

- studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto Finale. ICRAM, volume III: 79-132.
- Giani M., Berto D., Zangrando V., Castelli S., Sist P., Urbani R. Chemical characterization of different typologies of mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic Sea. *Sci. Tot. Environ.*, in stampa.
- Giani, M. & Cornello M. (a cura di), 2004. Programma operativo di sorveglianza delle mucillagini in Adriatico. Luglio Ottobre 2004. ICRAM, Chioggia, 322 pp.
- Giani M., Zangrando V., Berto D., 2004. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratio in the organic matter forming the mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic Sea International Conference on Isotopes in Environmental Studies – Aquatic Forum 2004, Monte-Carlo il 25-29 ottobre, Book of extended synopses, IAEA-CN-118, 13-14.
- Giovanardi O. & Boscolo R., 2003. Effetti degli aggregati mucilluginosi su una popolazione di mitili allevati in sospensione al largo di Chioggia. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume III: 339-350.
- Giovanardi O., Cornello M., Tiozzo K., Casale M., Franceschini F., 2003. Effetti degli aggregati mucilluginosi sulle comunità macrozoobentoniche al largo di Chioggia. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume III: 351-366.
- Gotsis-Skretas O., 1995. Mucilage appearances in Greek waters during 1982-1994. *Sci. Tot. Environ.*, 165: 229-230.
- Grbec B., Dulčić J., Morović M., 2002. Long-term changes in landings of small pelagic fish in the eastern Adriatic-possible influence of climate oscillations over the Northern Hemisphere. *Clim. Res.*, 20: 241-252.
- Grbec B. & Morović M., 1997. Seasonal thermohaline fluctuations in the middle Adriatic Sea. *Il Nuovo Cimento, C* 20: 561-576.
- Grbec B., Morović M., M. Zore-Armanda, 1998. Some new observations on the long term salinity changes in the Adriatic Sea, *Acta Adriatica*, 39:3-12.
- Guerrini F., Mazzotti A., Boni L., Pistocchi R., 1998. Bacterial-algal interactions in polysaccharide production. *Aquat. Microb. Ecol.*, 15: 247-253.
- Hauk F., 1872. Aufzählung einiger in dem sogenannten Seeschleime der Adria vorkommenden Diatomeen. *Oserr. Bot. Zeitschr.*, 10:331.
- Heissenberger A., Leppard G. G., Herndl G. J., 1996. Ultrastructure of marine snow. II. Microbiological considerations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 135: 299-308.
- Herndl G. J., 1988. Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the northern adriatic sea. II. Microbial density and activity in marine snow and its implication to overall pelagic processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 48: 265-275.
- Herndl G. J., 1992. Marine snow in the Northern Adriatic Sea: possible causes and consequences for a shallow ecosystem. *Mar. Microb. Food Webs*, 6:140-172.
- Herndl G. J., Bohdanský A. B., Kaltenböck E., Müller-Niklas G., 1992. Marine snow in the northern Adriatic sea: major role of microbes in the metabolism of marine snow. *Biol. Mar. suppl. notiziario SIBM*, 1: 1-12.
- Herndl G. J. & Malacic V., 1987. Impact of the pycnocline layer on bacterioplankton: diel and spatial variations in microbial parameters in the stratified water column of the gulf of Trieste (northern Adriatic sea). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 38: 295-303.
- Herndl G. J. & Peduzzi P., 1988. The ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the northern adriatic sea. 1. General considerations. *Mar. Ecol.*, 9 (1): 79-90.
- Herndl G. J., Peduzzi P., Fanuko N., 1989. Benthic community metabolism and microbial dynamics in the gulf of Trieste (northern Adriatic sea). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 53: 169-178.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Hoffmann L., Billard C., Janssens M., Lerouth M., Demoulin V., 2000. Mass Development of Marine Benthic Sarcinochrysidales (Chrysophyceae s. l.) in Corsica. *Bot. Mar.*, 43: 223-231.
- Honsell G., Cabrini M., Darin M., 1992. *Gonyaulax fragilis* (Schutt) Kofoid: a dinoflagellate from gelatinous aggregates of the northern Adriatic Sea. *Giornale Botanico Italiano*, 126: 749-751.
- Hurley D. E., 1982. The "Nelson slime"; observations on past occurrences. *Oceanogr. Summary*: 1-11.
- ICRAM, 1993. Parere sulla situazione del fenomeno "mucillagine" nella Sicilia settentrionale in relazione all'attività di pesca. Prot. 1196/PA, 2 pagg.
- ICRAM, 1998. Valutazione degli effetti delle "mucillagini" sull'attività di pesca e maricoltura nell'alto Adriatico nel 1998. Rapporto tecnico, 69 pp.
- ICRAP, 1991. Presenza di sostanze mucillaginose nel Golfo di Salerno e loro impatto sulle attività di pesca. rapporto tecnico, 8 pp.
- Innamorati M., 1995. Hyperproduction of mucilages by micro and macro algae in the Tyrrhenian Sea, *Sci. Tot. Environ.*, 165: 65-81.
- Innamorati M., Mori G., Nuccio C., Massi L., Melillo C., Mannucci M., Terreri B., De Pasquale A., Polonelli F. 2003. Formazione delle mucillagini nel mar Tirreno. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume II: 149-194.
- Ishiwatari R., 1992. Macromolecular material (humic substance) in the water column and sediments. *Mar. Chem.*, 39: 151-166.
- Issel R., 1920. Il mare sporco e gli studi della R. Stazione di biologia marina di Rovigno, *Il Piccolo della Sera*, Trieste, 10 agosto 1920.
- Kaltenböck E. & Herndl G. J., 1992. Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the northern Adriatic Sea. IV. Dissolved nutrients and the autotrophic community associated with marine snow. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 87:147-59.
- Karner M. & Herndl G. J., 1992. Extracellular enzymatic activity and secondary production in free-living and marine-snow-associated bacteria. *Mar. Biol.*, 113: 341-347.
- Kepkay P E., 1994. Particle aggregation and the biological reactivity of colloids. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 109: 293-304.
- Kepkay P.E. & Johnson B. D., 1988. Microbial response to organic particle generation by surface coagulation in seawater. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 48: 193-198.
- Klein B., Roether W., Manca B.B., Bregant D., Beitzel V., Kovacevic V., Luchetta A., 1999. The large deep water transient in the Eastern Mediterranean, *Depp-Sea Res. I*, 46: 371-414.
- Kovac N., Bajt O., Faganelli J., Sket B., Orel B., 2002. Study of macroaggregate composition using FT-IR and ¹H-NMR spectroscopy. *Mar. Chem.*, 78:205-215.
- Kovac N., Faganelli J., Sket B., Bajt O., 1998. Characterization of macroaggregates and photodegradation of their water soluble fraction. *Org. Geochem.*, 29 (5-7): 1623-1624.
- Krsinic F., 1995. Changes in the microzooplankton assemblages in the northern Adriatic sea during the 1991 mucilage event. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 159: 143-150.
- Lancelot C., 1995. The mucilage phenomenon in the continental coastal waters of the North Sea. *Sci. Tot. Environ.*, 165: 83-102.
- Lancelot C., Billen G., Sournia A., Weisse T., Colijn F., Veldhuis M. J. W., Davies A., Wassman P., 1987. Phaeocystis blooms and nutrient enrichment in the continental coastal zones of the north sea. *AMBIO*, 16: 38-46.
- Levi-Moreno D., 1892. Le diverse ipotesi sul fenomeno del "Mar sporco" nell'Adriatico. Estratto da "La Notarisia", commentario generale per le alghe. *Neptunia*, Venezia: 1459-1469.

- Levi-Morenos D., 1903. La causa del mare sporco. *Neptunia*, 21: 249-251.
- Lobban C., Honda S., Chihara D., Scheffter M., 1995. *Chrysophytis fragilis* gen. nov. (Chrysophyceae, Sarcinochrysidales), with Notes on Other Macroscopic Chrysophytes (Golden Algae) on Guam Reefs. *Micronesica*, 28(1): 91-102.
- Lobban C.S. & Harrison P.J., 1994. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press 380 pp.
- Logan B. E., Passow U., Alldredge A. L., Grossart H. P., Simon M., 1995. Rapid formation and sedimentation of large aggregates is predictable from coagulation rates (half-lives) of transparent exo-polymer particles (TEP). *Deep-Sea Res. II*, 42: 203-214.
- MacKenzie L., Sims I., Beuzenberg V., Gillespie P., 2002. Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasman bay, new Zealand. *Harmful algae.*, 1: 69-83.
- Malej A., 1995. Gelatinous aggregates in the northern Adriatic Sea *Bull. Institut oceanographique, Monaco*, n° special 15: 149-157.
- Malej A. & Harris R. P., 1993. Inhibition of copepod grazing by diatom exudates: a factor in the development of mucus aggregates? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 96: 33-42.
- Malej A., Mozetic P., Turk V., Terzic S., Ahel M., Cauwet G., 2003. Changes in particulate and dissolved organic matter in nutrient-enriched enclosures from an area influenced by mucilage: the northern Adriatic Sea. *Jour. Plank. Res.*, 25: 949-966.
- Manca B.B., 2000. Recent changes in dynamics of the Eastern Mediterranean affecting the water characteristics of the adjacent basins. In: Lascaratos A. & Briand F. (eds.), *The eastern Mediterranean climatic transient, its origin, evolution and impact on the ecosystem*, Ciesm workshop n° 10, Monaco, 27-31.
- Manganelli M. & Funari E., 2003. Le mucillagini nel mar adriatico: ruolo dei possibili agenti causali e dei fattori ambientali. *Ann. Ist. Super. Sanità*, 39(1):77-95
- Mansour M.P., Volkman J.K., Jackson A.E., Blackburn S.I., 1999. The fatty acid and sterol composition of five marine dinoflagellates. *J. Phycol.* 35: 710-719.
- Marchesoni V., 1954. Ricerche sulle variazioni quantitative del fitoplancton. Osservazioni sul fenomeno del "Mare sporco" apparso nell'estate 1949. *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 10: 151-284.
- Marchetti R., 1990. Algal blooms and gel production in the Adriatic Sea. In: Barth, H., L. Fegan. *Eutrophication-related phenomena in the Adriatic Sea and in other Mediterranean Coastal Zones*. Water Pollution Research report 16, Commission of the European Communities, Bruxelles, 21-42.
- Martin J. H., & Knauer G. A., 1973. The elemental composition of plankton. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37: 1639-1653.
- McCarthy M. D., Hedges J. I., Benner R., 1998. Major Bacterial Contribution to Marine Dissolved Organic Nitrogen. *Science*, 281: 231-234.
- McCave I. N., 1984. Size spectra and aggregation of suspended particles in the deep ocean. *Deep-Sea Res.*, 31: 329-352.
- Mecozi M., Acquistucci R., Di Noto V., Pietrantonio E., Amici M., Cardarilli D., 2001. Characterization of mucilage aggregates in Adriatic and Tyrrhenian Sea: structure similarities between mucilage samples and the insoluble fractions of marine humic substances. *Chemosphere*, 44: 709-720.
- Mingazzini M. & Thake B., 1995. Summary and conclusions of the workshop on marine mucilages in the Adriatic Sea and elsewhere. *Sci. Total Environ.*, 165: 9-14.
- Ministero per le politiche Agricole, 1997 – Relazione circa gli effetti delle mucillagini presenti in Adriatico nel periodo estivo 1997 sulla pesca e sulla molluschicoltura offshore. Rapporto tecnico, 51 pp.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Ministero per le politiche agricole, 1999 – Valutazione degli effetti delle mucillagini sull'attività di pesca nel medio adriatico. Rapporto tecnico, 101 pp.
- Mistri M., Ceccherelli V. U., 1997. Interazioni macrobenthos-mucillagine: danno e recupero di una popolazione di gorgoniacei. *Biologia Marina Mediterranea*, 4 (1):133-139.
- Modigh M., Buia M. C., Di Martino V., Lorenti M., Rando V., 2003. Dinamica del fenomeno mucillagini e sue interazioni con ecosistemi bentonici e fattori ambientali. I posidonieti dell'Isola d'Ischia. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume II: 87-126.
- Molin D., Guidoboni E., Lodovisi A., 1992. Mucilage and the phenomena of algae in the history. *Sci. Total Environ., Suppl.*: 511-524.
- Moller Jensen L., 1983. Phytoplankton release of extracellular organic carbon, molecular weight composition, and bacteria assimilation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 11: 39-48.
- Monti M., Dellavalle G., Welker C., Casaretto L., Cataletto B., 1992. Analisi quantitativa degli aggregati mucillaginosi in una stazione del golfo di Trieste (Luglio 1991). *Biol. Mar. suppl. notiziario SIBM 1*; 27-29.
- Monti M., Welker C., Dellavalle G., Casaretto L., Fonda Umani S., 1995. Mucous aggregates under natural and laboratory conditions: a review. *Sci. Tot. Environ.*, 165: 145-154.
- Monti M., Welker C., Fonda Umani S., 1996. Effects of synthetic zeolite "A" and polycarboxylates on quality and quantity of diatom mucous exudates. *Chemosphere* 32, 1741-1754.
- Mopper K., Zhou J., Ramana K. S., Passow U., Dam H.G., Drapeau D. T., 1995. The role of surface active carbohydrates in the flocculation of a diatoms bloom in a mesocosm. *Deep-Sea Res. II*, 42: 47-48.
- Morand P. & Briand X., 1996. Excessive Growth of Macroalgae: A Symptom of Environmental Disturbance. *Bot. Mar.*, 39: 491-516.
- Müller W. E. G., Riemer S., Kurelec B., Smolaka N., Puskaric S., Jagic B., Müller-Niklas G., Queric N. V., 1998. Chemosensitizers of the multixenobiotic resistance in amorphous aggregates (marine snow): etiology of mass killing on the benthos in the Northern Adriatic?. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 6: 229-238.
- Myklestad S., 1974. Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms. Comparison of nine different species in culture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 15:261-274.
- Myklestad S., 1977. Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms. II. Influence of the N/P ratio in the growth medium on the assimilation ratio, growth rate, and production of cellular and extracellular carbohydrates by *Chaetoceros affinis* var. *Willei* (Gran) Hustedt and *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 29: 161-179.
- Myklestad S., Haug A., Larsen B., 1972. Production of carbohydrates by the marine diatom *Chaetoceros affinis* var. *Willei* (Gran) Hustedt. II. Preliminary investigation of the extracellular polysaccharide. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 9: 137-144.
- Najdek M., 1997. Unusual changes of zooplankton fatty acid composition in the Northern Adriatic during the 1991 mucilage event. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 159:143-50.
- Najdek M., Degobbi D., Miokovic D., Ivancic I., 2002. Fatty acid and phytoplankton composition of different types of mucilaginous aggregates in the northern Adriatic Sea. *J. Plankton Res.*, 24: 429-441.
- Ninni A. P., 1872. Sopra la causa che impedisce il libero esercizio della pesca lungo le coste venete, *Il Giornale di Padova*, 15 e 15 luglio 1872.
- Obernosterer I. & Herndl G. 1995. Phytoplankton extracellular release and bacterial growth: dependence on the inorganic N:P ratio. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116: 247-257.
- Occhipinti A., Savini D., Forni G., 2003. Studio delle modificazioni nella struttura dei popolamenti macrobentonici conseguenti alla formazione di mucillagini in una stazione al largo

- di cesenatico. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume III: 313-338.
- Orel G. & Vio E., 1988. In: Brambati A. (ed.). Il fenomeno del "mare sporco" nell'Adriatico (luglio-agosto 1988). Le opinioni di alcuni esperti. CNR, Trieste-Roma, 49-57.
- Orel G., Vio E., Del Piero D., Brizzi G., Aleffi F., 1993. Mare sporco, popolamenti bentonici e pesca. *Biologia Marina Suppl. Notiz. S.I.B.M.*, 1: 13-18.
- Osservatorio Alto Adriatico, 2003. Comunicati stampa anno 2003. <http://www.arpa.fvg.it/Acqua/Acque-mari/index.htm>
- Paasche E. & Ostergren I., 1980. The annual cycle of plankton diatom growth and silica production in the inner Oslofjord. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 481-194.
- Passow U., 2000. Formation of transparent exopolymeric particles, TEP, from dissolved precursor material. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 192: 1-11.
- Peduzzi P. & Weinbauer M. G., 1993. Effect of concentrating the virus-rich 2-200-nm size fraction of seawater on the formation of algal flocs (marine snow). *Limnol. Oceanogr.* 38:1562-1565.
- Pellegrini D., Giuliani S., Sonni C., Virno Lamberti C., 2003. Interazione tra gli aggregati metafitici e popolamenti zoobentonici tirrenici (Gorgoniacei). In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume III: 185-200.
- Penna A, Berluti S., Penna N., Magnani M., 1999. Influence of nutrient ratios on the in vitro extracellular polysaccharide production by marine diatoms from the Adriatic Sea. *Jour. Plank. Res.*, 21: 1681-1690.
- Penna N., Rinaldi A., Montanari G., Di Paolo A., Penna A., 1993. Mucilaginous masses in the Adriatic sea in the summer of 1989. *Wat. Res.*, 27, 1767-1771.
- Pettine M., Pagnotta R., Liberatori A., 1995. Composition of mucilaginous macroaggregates and hypotheses for their formation. *Annali di Chimica*, 85: 431-441.
- Pettine M., Passino R., Chiaudani G., 1992. Le mucillagini nei mari italiani. Dobbiamo ripensare la strategia anti-eutrofizzazione? *Inquinamento*, 9: 54-64.
- Piccinetti C., 1988. Il fenomeno del "mare sporco" nell'Adriatico. (luglio-agosto 1988). In: Brambati A, editor. Le opinioni di alcuni esperti. CNR, Trieste-Roma, 45-48.
- Pirazzoli P. A. & Tomasin A., 2002. Recent evolution of surge-related events in the Northern Adriatic Area. *J. Coastal Res.*, 18: 537-554.
- Pirazzoli P. A. & Tomasin A., 2003. Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas. *Int. J. Climatol.* 23: 963-973.
- Piretti M. V., Pagliuca G., Boni L., Pistocchi R., Diamante M., Gazzotti T., 1997. Investigation of 4-methyl sterols from cultured dinoflagellate algal strains. *J. Phycol.*, 33, 61-67.
- Pistocchi R., Cangini M., Totti C., Urbani R., Guerrini F., Romagnoli T., Sist P., Palamidesi S., Boni L., Pompei M. Relevance of the dinoflagellate *Gonyaulax Fragilis* in mucilage formations of the Adriatic sea. *Sci. Tot. Environ.*, in stampa
- Pistocchi R., Trigari G., Serrazanetti G., Taddei P., Monti G., Palamidesi S., Guerrini F., Bottura G., Serratore P., Fabbri M., Pirini M., Ventrella V., Pagliarani A., Boni L., Fini G., Borgatti A.R. Chemical and biochemical parameters of cultured diatoms and bacteria from the Adriatic sea as possible biomarkers of mucilage production. *Sci. Tot. Environ.*, in stampa.
- Pompei M., Maziotti C., Guerrini F., Cangini M., Pigozzi S., Benzi M., Palamidesi S., Boni L., Pistocchi R., 2003. Correlation between the presence of *Gonyaulax fragilis* (Dinophyceae) and the mucilage phenomena of the Emilia-Romagna coast (northern Adriatic Sea). *Harmful algae*, 2 (4): 301-316.
- Posedel N. & Faganelli J., 1991. Nature and sedimentation of suspended particulate matter during stratification in shallow coastal waters (Gulf of Trieste, northern Adriatic). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 77: 135-145.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Precali R., Giani M., Marini M., Grilli F., Ferrari C. R., Pečar O., Paschini E. Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999-2002: typology and distribution. *Sci. Tot. Environ.*, in stampa.
- Prieto L., Ruiz J., Echevarria F., Garcia C. M., Bartual A., Galvez J. A., Corzo A., Marcias D., 2002. Scales and processes in the aggregation of diatom blooms: high time resolution and wide size range records in a mesocosm study. *Deep-Sea Res. I*, 49: 1233-1253.
- Puddu A., Zoppini A., Fazi S., Rosatio M., Amalfitano S., Magaletti E., 2003. Bacterial uptake of DOM from P-limited phytoplankton. *FEMS Microbiology Ecology*, 46: 257-268.
- Radić T., Kraus R., Fucks D., Radić J., Pečar O. Transparent exopolymeric particles' distribution in the northern Adriatic and their relation to microphytoplankton biomass and composition. *Sci. Total Environ.*, in stampa.
- Radwan A., Davies G., Fataftah A., Ghabbour E. A., Jansen S. A., Willey R. J., 1997. Isolation of Humic Acid from the Brown Algae *Ascophyllum nodosum*, *Fucus Versiculosus*, *Laminaria saccharina* and the marine angiosperm *Zostera marina*. *J. Appl. Phycol.*, 8: 553-562).
- Rath J., Wu K. Y., Herndl G. J., DeLong E., 1998. High phylogenetic diversity in a marine-snow-associated bacterial assemblage. *Aquat. Microb. Ecol.*, 14: 261-269.
- Regione Emilia Romagna. Assessorato Ambiente. 1989. Eutrofiizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna. Rapporto annuale 1988. pp.223.
- Regione Emilia Romagna. Assessorato Ambiente. 1990. Eutrofiizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna. Rapporto annuale 1989. pp.166.
- Regione Emilia Romagna. Assessorato Ambiente. 1992. Eutrofiizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna. Rapporto annuale 1991. pp. 232.
- Regione Emilia Romagna. Assessorato Ambiente. 1998. Eutrofiizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna. Rapporto annuale 1997. pp. 219.
- Regione Emilia Romagna. Assessorato Ambiente. 1999. Eutrofiizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna. Rapporto annuale 1998. pp. 223.
- Renier D., 1891. La materia che infestò il nostro golfo nel 1891, Chioggia, Tipografia Lodovico Duse, pp. 12.
- Revelante N. & Gilmartin M., 1991. The phytoplankton composition and population enrichment in gelatinous "macroaggregates" in the northern Adriatic during the summer of 1989. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 146: 217-233.
- Richardson A. J., Shoeman D.S. 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic, *Science*, 305:1609-1612.
- Rinaldi A., 1992. Aggregati mucilluginosi nei mari italiani. I casi dell'adriatico e del tirreno nel quadriennio 1988-1991. In: La crisi del mediterraneo in seguito alla fioritura di masse algali, Accademia internazionale di scienze e tecniche subacquee, quaderno 9: 47-60.
- Rinaldi A., Montanari G., Ghetti A., Ferrari C. R., Penna N., 1990. Presenza di materiale mucilluginoso nell'Adriatico Nord-Occidentale negli anni 1988 e 1989. Dinamica dei processi di formazione, di diffusione e di dispersione. *Acqua-Aria*, 7/8: 561-567.
- Rinaldi A., Vollenweider R.A., Montanari G., Ferrari C. R., Ghetti A., 1995. Mucilages in the Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas, 1988-1991. *Sci. Tot. Environ.*, 165: 165-183.
- Robertson M. L., Mills A. L., Zieman J.C., 1982. Microbial synthesis of detritus-like particulates from dissolved organic carbon released by tropical seagrasses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 7: 279-285.
- Russo A., 2003. Ruolo dei fattori oceanografici nella formazione delle mucillagini nell'adriatico settentrionale: processi termoalini, circolazione e valutazione dei flussi di acqua e nutrienti. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto di sintesi. ICRAM, volume V: 23-36.

- Russo A., Rabitti S., Bastianini M., 2002. Decadal climatic anomalies in Northern Adriatic Sea inferred from a new data set. P. S. Z. N.: Marine Ecology, 23: 340-351.
- Samuel S., Haines K., Josey S., Myers P. G., 1999. Response of the Mediterranean Sea thermohaline circulation to observed changes in the winter wind stress field in the period 1980-1993. Jour. Geophys. Res., 104: 7771-7784.
- Sartoni G. & Sonni C., 1991. *Tribonema marinum* J. Feldmann e *Acinetospora crinita* (Carmichael) Sauvageau nelle formazioni mucillaginose bentoniche osservate sulle coste toscane nell'estate 1991. Inform. Bot. Ital., 23: 23-30.
- Sartoni G., Boddi S., Hass J., 1995. *Chrysonephos lewisii* (Sarcinochrysidales, Chrysophyceae), a new record for Mediterranean algal flora. Bot. Mar., 38: 121-125.
- Schreiber B., 1928. Osservazioni su di un principio di "Mar sporco" in una Valle Lagunare Veneta. Memorie: 123-131.
- Schuster S. & Herndl G. J., 1995. Formation and significance of transparent exopolymeric particles in the northern Adriatic sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 124: 227-236.
- Sellner K. G. & Fonda Umani S., 1999. Dinoflagellate Blooms and Mucilage Production. In: Malone T. C., Malej A., Harding L. W., Smolaka N., Turner R. E. editors. Ecosystem at the Land-Sea Margin: Drainage Basin to Coastal Sea. Coastal and Estuarine Studies, 55:173-206.
- Serrazanetti G. P., Fabbri M., Monti G. 2003. Steroli ed idrocarburi in alghe del mare Adriatico e del mare Tirreno, in essudati prodotti da colture algali, in aggregati mucilluginosi del mare Adriatico ed in colture batteriche. Programma di monitoraggio e studio sui Processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno: Giugno 1999-Luglio 2003. Rapporto finale, Vol III, ICRAM.
- Smetacek V., 1985. Role of sinking in diatom life-history cycles: ecological, evolutionary and geological significance. Mar. Biol., 84: 239-251.
- Smith D. C. & Azam F., 1992. A simple, economical method for measuring bacterial protein synthesis rates in sea water using 3H-leucine. Mar Microb Food Webs, 6: 107-114.
- Smith D. C., Steward G. F., Long R. A., Azam F., 1995. Bacterial mediation of carbon fluxes during a diatom bloom in a mesocosm. Deep-Sea Res. II; 42:75-97.
- Smolaka N., Degobbi D., Svetličić V., 2004. Effects of phosphorus on particle dynamics during phytoplankton blooms. Northern Adriatic mesocosm experiment Rovinj 2003. Period. Biol., 106: 1-79.
- Sonni C., 1997. Autoecologia delle specie strutturanti gli aggregati mucilluginosi bentonici e loro impatto sulle facies a gorgoniacei. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Ambientali (IX Ciclo), Pisa, 165 pp.
- Stachowitsch M, Fanuko N., Richter M., 1990. Mucous aggregates in the Adriatic Sea: an overview of stages and occurrences. Mar. Ecol. (P S Z N I), 11: 327-350.
- Stashowitsch M., 1984. Mass mortality in the gulf of Trieste: the course of community destruction. Mar. Ecol., 5 (3): 243-264.
- Steuer A., 1903. Urtiere als Schadlinge mariner Fischerei, Oesterreichische Fischerei Zeitung, I, 1: 10.
- Stoderegger K. E. & Herndl G., 1999. Production of exopolymer particles by marine bacterioplankton under contrasting turbulence conditions. Mar. Ecol. Prog. Ser., 189: 9-16.
- Supic N., Orlic M., Degobbi D., 2000. Istrian Coastal Countercurrent and its Year-to-Year Variability, Estuar. Coastal Shelf Sci., 51: 385-397.
- Supic N., Orlic M., Degobbi D., Djakovac T., Krajcar V., Precali R., 2001-2002. Occurrence of the Istrian Coastal Countercurrent in 2000, a year with a mucilage event. Geofizika, 18-19: 45-57.
- Syrski D., 1874. Relazione prodotta all'i. r. Governo marittimo in Trieste sulle masse glutinose osservate nei mesi di Giugno e Luglio 1872 nella parte settentrionale dell'Adriatico, pp. 1-7

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Tankere S. P. C., Statham P. J., Price N. B., 2000. Biogeochemical cycling of Mn and Fe in an Area affected by eutrophication: the Adriatic sea, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 51: 491-506.
- Taylor W. R., 1952. The algal genus *Chrysophaeum*. *Bull. Torrey Bot. Club*, 79: 79.
- Thornton C. O. & Thake B., 1998. Effect of temperature on the aggregation of *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae) and the implication for carbon flux in coastal waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 174: 223-231.
- Thornton D. C. O., Santillo D., Thake B., 1999. Prediction of sporadic mucilaginous algal bloom in the Northern Adriatic Sea. *Mar. Poll. Bull.*, 38(10): 891-898.
- Tiozzi I., 1941. *La Gazzetta di Venezia*, 1 settembre 1941
- Tomasino M., 1989. "L'effetto memoria" e la crescita abnorme delle diatomee e delle mucillagini nell'Alto Adriatico. Workshop su Problematichhe di Oceanologia e Limnologia Fisica, Pallanza 15-17 novembre 1989.
- Tomasino M. G. 1996. Is it feasible to predict "slime blooms" or "mucilage" in the northern Adriatic sea? *Ecol. Modelling*, 84: 189-198.
- Urbani R., 2003. Processi di produzione, aggregazione, degradazione delle mucillagini ed interazione con i popolamenti: caratterizzazione degli aggregati e processi fisicochimici di aggregazione. In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto di sintesi. ICRAM, volume V: 161-186.
- Urbani R. & Sist P., 2003. Studio di caratterizzazione chimica delle componenti polisaccaridiche e del loro ruolo nel meccanismo di formazione degli aggregati gelatinosi In: Programma di monitoraggio e studio sui processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale. ICRAM, volume III: 135-170.
- Valle A., 1920. Notizie sul "mare sporco" o "malattia del mare", Trieste, 20 agosto 1920.
- Vanucci S., 2003. Do mucilage events influence pico- and nanoplankton size and structure in the Adriatic Sea? *Chem. Ecol.*, 19: 299-320.
- Vanucci S., Acosta Pomar M. L., Maueri T. L., 1994. Seasonal pattern of phototrophic picoplankton in the eutrophic coastal waters of the northern Adriatic sea. *Botanica Marina*, 37: 57-66.
- Vilibić I., 2003. An analysis of dense water production on the North Adriatic shelf. *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, 56:697-707.
- Vilicic D., 1991. A study of phytoplankton in the Adriatic sea after the July 1984 bloom. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 76 (2): 197-211.
- Vilicic D., Vucak Z., Skrivancic A., Grzetic Z., 1989. Phytoplankton Blooms in the Oligotrophic Open South Adriatic Waters, *Mar. Chem.*, 28: 89-107.
- Viviani R., Boni L., Cattani O., Milandri A., Pirini M., Poletti R., Pompei M., 1995a. Fatty acids, chlorophylls and total silicon in mucilaginous aggregates collected in a coastal area of the Northern Adriatic Sea facing Emilia-Romagna in August 1988. *Sci. Tot. Environ.*, 165:193-201.
- Viviani R., Boni L., Cattani O., Milandri A., Poletti R., Pompei M., Sansoni G., 1995b. ASP, DSP, NSP and PSP monitoring in "mucilagenous aggregates" and in mussels in a coastal area of the northern Adriatic Sea facing Emilia Romagna in 1988, 1989 and 1991. *Sci. Tot. Environ.*, 165: 203-211.
- Volkman J. K., Barrett S. M., Blackburn S. I., Mansour M. P., Sikes E. L., Gelin F., 1998. Microalgal biomarkers: a review of recent research developments. *Org. Geochem.*, 29: 1163-1179.
- Volkman J. K., Rijpstra W. I. C., de Leeuw J. W, Mansour M. P., Jackson A. E., Blackburn S.I., 1999. Sterols of four dinoflagellates from the genus *Prorocentrum*. *Phytochem.*, 52, 659-668.
- Vollenweider R. A., Rinaldi A., 1995. Marine Mucilages. Proceedings of an International Workshop on Marine Mucilage Phenomena, Cesenatico, Italy, 10-12 September 1992. *Sci. Tot. Environ.*, 165, 235 pp.

- Volterra L., Aulicino F.A., Bonadonna L., De Mattia M., Di Girolamo I., Liberti R., Mancini L., 1992 – Microbial analyses of Adriatic Sea mucillages. Marine coastal eutrophication. In: Proceedings of the international conference “Marine coastal eutrophication” Vollenweider, R.A., Marchetti R., Viviani R. (eds). Elsevier, Amsterdam: 551-556.
- Weinbauer M. G. & Peduzzi P., 1995. Effect of virus-rich high molecular weight concentrates of seawater on the dynamics of dissolved aminoacids and carbohydrates, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 127: 245-253.
- Weiner R. M., Langille S., Quintero E. J., 1995. Structure, function and immunochemistry of bacterial xopolysaccharides. *J. Ind. Microbiol.*, 15:339-46.
- Welker C. & Nichetto P., 1996. The influence of mucous aggregates on the microphytobenthic community in the northern Adriatic sea. *Mar. Ecol.*, 17 (1-3): 473-489.
- Wolfstein K. & Stal L. J., 2002. Production of extracellular polymeric substances (EPS) by benthic diatoms: effect of irradiance and temperature. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 236: 13-22.
- Zambianchi E., Calvitti C., Cecamore P., D’Amico F., Ferulano E., Lanciano P., 1992. The mucilage phenomenon in the Northern Adriatic Sea, summer 1989. A study carried out with remote sensing techniques. *Sci. Tot. Environ., Suppl.*: 581-598.
- Zanardini G., 1872. Intorno ad una straordinaria comparsa nel mare Adriatico di una densa poltiglia. Studi di una giunta a ciò deputata dal Reale Istituto Veneto. Estratto dagli atti del R. Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti, serie IV: 2-7.
- Zanon V., 1931. Esame di un campione di “Mare sporco” del golfo di Fiume. *Memorie della Pontificia Accademia delle Scienze dei Nuovi Lincei*, 15: 449-473.
- Zavodnik D., 1977. Benthic communities in the Adriatic Sea: reflects of pollution. *Thalassia Jugoslavica*, 13 (3/4): 413-422.
- Zhou J., Mopper K., Passow U., 1998. The role of surface-active carbohydrates in the formation of transparent exopolymer particles by bubble adsorption of seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 43: 1860-1871.
- Zore-Armanda M., 1963. Les masses d’eau de la mer Adriatique. *Acta Adriatica*, 10: 5-88.
- Zutic V. & Svetlicic V., 2000. Interfacial Processes. In Wangersky P. (ed.) *The handbook of Environmental Chemistry Vol. 5 Part D Marine Chemistry*, 150-165, Springer Verlag Berlin Heidelberg.

GLOSSARIO

Abiotico Indica l'assenza di organismi viventi.

Acido carbossilico Composto organico contenente il gruppo carbossile-COOH. Esempi: CH₃COOH acido acetico; C₆H₅COOH acido benzoico.

Acido umico Acidi ossicarbossilici, di struttura assai complessa formata prevalentemente di anelli furanici, derivanti dai prodotti di demolizione e fossilizzazione dei vegetali. Sono perciò contenuti nell'humus del terreno agrario, nelle torbe e nelle ligniti giovani.

Advezione In generale il termine indica trasporto per movimento orizzontale, operato dal vento o dalle correnti marine.

Alcano Idrocarburo che contiene solo legami carbonio-carbonio semplici. Gli alcani a catena lineare hanno formula molecolare C_nH_{2n+2}.

Alcol Molecola organica nella quale un gruppo -OH si lega ad un atomo di carbonio. Gli alcoli si distinguono in primari secondari e terziari a seconda del numero di atomi direttamente legati all'atomo di carbonio legato al gruppo OH.

Alga Organismo vegetale autotrofo che vive in ambiente acquatico, oppure su rocce costantemente bagnate, in terreni umidi e negli strati del suolo compresi tra i 30 e i 50 cm. I cloroplasti nelle alghe, oltre alla clorofilla, possiedono alcuni pigmenti che conferiscono loro una colorazione caratteristica. In base a questa si possono distinguere tre grandi gruppi: alghe verdi, brune e rosse.

Ammide composti chimici, teoricamente ottenuti sostituendo gli atomi di idrogeno dell'ammoniaca con altrettanti acili. Si possono avere *ammidi primarie, secondarie* secondo il numero di atomi d'idrogeno sostituiti.

Ammina composti chimici organici derivati dall'ammoniaca per sostituzione degli atomi d'idrogeno con altrettanti radicali monovalenti saturi, non saturi, aromatici, aliciclici, eterociclici. Secondo il numero di atomi sostituiti si hanno *ammine primarie, secondarie, terziarie*.

Aminoacido Composto organico contenente un gruppo carbossilico ed un gruppo amminico. Gli aminoacidi sono componenti essenziali delle proteine. Esempio: NH₂CH₂COOH glicina.

Anaerobio Organismo che vive in assenza di ossigeno libero (anaerobiosi); si definiscono anaeròbi obbligati quegli organismi che non tollerano l'ossigeno (in tal caso il loro ricambio energetico è di tipo fermentativo), e anaeròbi facoltativi gli organismi che possono vivere in assenza o presenza di ossigeno con ricambio energetico rispettivamente fermentativo o ossidativo.

Anossico Condizione di carenza dell'ossigeno disciolto nelle acque, generalmente in quelle prossime al fondo. Tali condizioni possono provocare stress e morte degli organismi che vivono nei sedimenti o nelle acque di fondo.

Assorbanza Misura dell'entità dell'assorbimento della radiazione da parte di un campione. In genere segue una legge del tipo $A = \log(I_0/I)$ dove I_0 è l'intensità del raggio incidente ed I l'intensità del raggio uscente dal campione.

Autotrofo Microrganismo in grado di produrre nutrienti organici direttamente da sostanze inorganiche semplici, quali l'anidride carbonica e l'azoto inorganico.

Bacino Concavità della crosta terrestre. Può ospitare acque marine (bacino marittimo) o laghi (bacino lacustre) o l'insieme delle valli che convogliano le acque a un fiume collettore (bacino fluviale). All'interno dei continenti si hanno grandi bacini racchiusi da catene montane, talora senza sbocco al mare (bacini endoreici).

Batteri Microrganismi che utilizzano per il loro nutrimento sostanze solubili in acqua e sono in grado di riprodursi anche senza la luce del sole. Come agenti di decomposizione essi svolgono un ruolo ecologico fondamentale nella demolizione delle sostanze organiche, sia in natura sia negli impianti di trattamento biologico delle acque inquinate. La loro dimensione varia da 0,5 a 5 micron ed essi sono pertanto visibili solo al microscopio; la loro forma può essere sferica, a barretta, a spirale e possono apparire singolarmente, a coppie, a gruppi o a catena; si riproducono per fissione binaria, cioè la cellula si divide in due nuove cellule, ciascuna delle quali, a sua volta, matura e quindi si divide nuovamente (ogni 15-30 mesi in ambiente ideale, ricco di alimento, ossigeno ed altri nutrienti).

Benthos Insieme degli organismi vegetali (fito-) e animali (zoo-) che vivono in stretto rapporto con il fondale. Possono essere fissati al substrato (sessili), capaci di brevi e lenti spostamenti (sedentari) oppure capaci di muoversi liberamente (vagili). Alcuni organismi zoobentonici creano delle gallerie nel substrato molle (bioturbazione) che favorisce l'ossigenazione dei sedimenti.

Bentonico Detto di organismo vivente in stretta prossimità e dipendenza del fondo marino.

Biomassa Termine generico che indica tutta la materia organica sia di natura vegetale che animale presente, ad esempio, in un ecosistema. È un indice della capacità produttiva di un particolare ambiente biologico. Normalmente viene espressa in peso (secco) per unità di superficie o in unità di energia (J/m). Ovviamente l'unità di misura cambia a seconda dell'oggetto in esame.

Bentopleustofita Di origine bentonica ma che può vivere liberamente separata dal substrato su cui si è sviluppata, probabilmente derivata da frammenti provenienti da popolazioni bentoniche limitrofe.

Bioreattori Sono reattori nei quali i parametri fisico-chimici (pH, temperatura, ossigeno, nutrienti e prodotti di reazione) vengono continuamente monitorati in modo da mantenere un ambiente ottimale per lo sviluppo di una popolazione microbica applicabile ad esempio per degradare sostanze organiche contaminanti.

Bloom Fioriture di microalghe, dovute allo sviluppo del numero delle microalghe presenti nelle acque, che possono raggiungere anche milioni di cellule per litro.

Calcari Sono rocce costituite principalmente da carbonati e possono avere diverse origini: Calcari organogeni dovuti all'accumulo di resti organici (calcari di scogliera, calcari a coralli, alghe, crinoidi o foraminiferi); Calcari di precipitazione chimica (calcari evaporitici, calcari oolitici o pisolitici); Calcari detritici o clastici dovuti alla deposizione meccanica di frammenti di carbonato (se di origine organica assumono il suffisso bio-) e suddivisi in base alla granulometria della matrice in micriti o spariti.

Capsula batterica L'involucro che protegge la parete cellulare dei batteri.

Carboidrati Composti organici formati da carbonio, idrogeno, ossigeno, più raramente da altri elementi. Improprio è il nome di zuccheri; meno usato il termine *glucidi*. Chimicamente i carboidrati sono alcoli polivalenti, cui si associano una funzione chetonica o una aldeidica. Molto diffusi nei tessuti dei viventi, hanno in essi funzione energetica mediante il processo di respirazione. I carboidrati hanno anche funzione di riserva (amido, glicogeno); di sostegno (cellu-

lose, emicellulose ecc. dei vegetali, chitina degli insetti). Si formano nelle piante direttamente dall'anidride carbonica dell'aria e dall'acqua del suolo, cioè da sostanze minerali, per mezzo dell'energia solare in presenza di clorofilla (*fotosintesi*). Il mondo animale dipende per i carboidrati dal vegetale. I carboidrati si dividono in monosaccaridi, oligosaccaridi, polisaccaridi. I *monosaccaridi* non subiscono idrolisi e hanno pochi atomi di carbonio. Alcune molecole di monosaccaridi possono unirsi per dare origine agli *oligosaccaridi*: importanti il saccarosio, il lattosio, il maltosio. I mono- e gli oligosaccaridi si dicono anche zuccheri. I *polisaccaridi* provengono da molte molecole di monosaccaridi unite da legame glicosidico: sono amorfi, insapori e per idrolisi danno monosaccaridi. Tale processo avviene, per esempio, nella digestione.

Carbossile Radicale monovalente, chiamato anche gruppo carbossilico, di formula $-COOH$, che caratterizza gli acidi organici; l'introduzione di uno o più carbossili nella molecola di un composto organico è chiamata carbossilazione.

Catione Ione dotato di carica positiva in seguito alla perdita di uno o più elettroni dall'atomo o dagli atomi che lo costituiscono.

Chelato Complesso formato da almeno un ligando polidentato e che forma un anello di atomi comprendente quello metallico centrale.

Chetone Composti chimici organici contenenti il gruppo $=CO$ (carbonile), che porta legati due radicali idrocarburici.

Cianobatterio Batteri fotosintetici, produttori di ossigeno, chiamati anche alghe azzurre o blu-verdi; il loro colore varia dall'azzurro, al rosso al porpora, a causa della presenza di pigmenti accessori, la c-ficocianina (blu) e la c-ficoeritrina (rossa). Appartengono al tipo delle Cianofite e si distinguono dagli altri batteri per la presenza di membrane interne (i tilacoidi) contenenti la clorofilla e altre strutture coinvolte nella fotosintesi. A differenza delle altre alghe e delle piante, i cianobatteri contengono solo la clorofilla a. Sono organismi ubiquitari che riescono a vivere in condizione di vita estreme.

Colloidi Sistema eterogeneo stabile di piccole particelle (generalmente da 1 a 10 nm) disperse in un mezzo gassoso liquido o solido. Le dimensioni delle particelle che costituiscono un sistema colloidale sono generalmente più piccole di quelle che formano una sospensione e più grandi di quelle che formano una soluzione.

Composti alifatici In chimica organica alifatico è un composto che presenta una catena di atomi di carbonio aperta.

Composti aromatici Composti chimici la cui molecola contiene un nucleo del benzene.

Copepodi Sottoclasse di Crostacei, comuni componenti del plancton marino e di acqua dolce. Hanno, in genere, corpo lungo pochi mm; parecchi sono fosforescenti. Molte forme sono libere, altre si sono adattate alla vita parassitaria su pesci e altri animali.

Crisoficee Classe di Alghe Gialle della div. Crisofite costituita da organismi quasi sempre unicellulari, in genere flagellati e mobili, più raramente immobili. La parete cellulare è di natura pectica, spesso incrostata di piastre silicee ovvero protetta da un astuccio inguainante rigido, aperto anteriormente (lorica). I cromoplasti sono gialli o giallo-bruni; la riproduzione avviene generalmente per via asessuata, per zoospore uni- o biflagellate. Sono alghe delle acque fredde, dolci o marine.

Cromoforo Un gruppo od una sottostruttura di una molecola che è capace di assorbire frequenze elettromagnetiche nella zona del visibile.

Diatomee Classe di Alghe microscopiche unicellulari, di acqua dolce o marine, dette anche Bacillariofite. Hanno membrana cellulare silicizzata (*frustolo*), formata da due valve di grandezza disuguale, incastrate l'una nell'altra, solcate da sculture e da una fessura longitudinale (*rafe*). I depositi di gusci fossili (Terziario e Quaternario) formano strati di note-

vole spessore, dai quali si ricava la *farina fossile* o *tripoli*. La colorazione brunastra è data da clorofilla e ficoxantina.

Digestione anaerobica Processo biochimico nel quale numerosi gruppi di microrganismi in condizioni di assenza di ossigeno, assimilano e degradano la materia organica.

Dinoflagellate Classe (Dinoflagellatae) di Alghe della divisione delle Pirrofite anche conosciuta col nome di Dinoficee, con numerose specie unicellulari per lo più marine, da alcuni zoologi considerate Protozoi e riunite nell'ordine dei Dinoflagellidi. Tra i più importanti componenti del plancton marino, in genere hanno cellule munite di un involucro celluloso suddiviso in due parti formate da varie placche e percorso da un solco trasversale e da uno longitudinale, in ciascuno dei quali giace un flagello. Tra le specie principali vi è *Noctiluca miliaris* che dà luogo alla fosforescenza del mare. Altre specie sono fornite di una specie di guscio rigido talvolta con appendici a forma di corna, altre sono velenose per l'uomo. La classe si divide negli ordini Gimnodiniali, Blastodiniali e Peridiniali.

Ectocarpoidi Alghe brune che presentano generazioni isomorfe asessuate e sessuate. Provviste di filamenti cellulari liberi e ramificati o legati strettamente sempre disposti in un'unica fila.

Enzima Proteina altamente specializzata che funziona come catalizzatore delle reazioni chimiche. In genere un enzima catalizza una sola reazione entro o fuori della cellula che lo ha prodotto (per esempio, la lipasi catalizza il metabolismo dei grassi, l'amilasi quello dell'amido ecc.).

Enzimatico Meccanismo per cui alcune sostanze stimolano gli enzimi che sono incaricati di trasformarle:

Epifita Pianta autotrofa vivente su un'altra pianta che le serve esclusivamente di sostegno.

Epipelico Organismo che vive sulla superficie del substrato

Etere Composto chimico di formula generale $R-O-R'$ dove R ed R' indicano due radicali alifatici o aromatici. Se i radicali sono uguali, l'etere si dice *semplice* o *simmetrico*, se sono diversi, si dice *misto* o *asimmetrico*.

Elettrolita Composto chimico che, in soluzione (acquosa o non acquosa), produce particelle cariche di elettricità positiva (cationi) o negativa (anioni).

Eterotrofia Condizione degli organismi che vivono nutrendosi di sostanze organiche già sintetizzate da altri organismi.

Eterotrofo Organismo che presenta eterotrofia.

Eutrofizzazione Processo naturale di decadimento di materiale organico che si accumula nelle acque di superficie. In presenza di eccessi di sostanze nutritive (quali i fosfati ed i nitrati) lo sviluppo di tale processo provoca un forte consumo dell'ossigeno disciolto nell'acqua con conseguenze spesso gravi per gli organismi, specie quelli superiori, che vivono nell'acqua.

Fenolo composto chimico di formula C_6H_5OH , derivato dal benzolo. Per le sue deboli proprietà acide è noto come *acido fenico*. È tossico (*avvelenamento da fenolo*, sia per ingestione, sia per azione locale), solubile in solventi organici e poco nell'acqua; all'aria imbrunisce. Il fenolo serve nella preparazione di composti chimici come solvente e soprattutto nella fabbricazione di resine fenoliche. Si chiamano fenoli in genere i composti che derivano dalla sostituzione di atomi di idrogeno uniti al nucleo aromatico con gruppi ossidrilici; a seconda del numero di questi sono detti fenoli monovalenti, bivalenti ecc.

Feoficee Classe di Alghe pluricellulari, generalmente marine, di colore bruno per la presenza di un pigmento detto *fucoxantina*.

Fibrilla Formazione microscopica sottile e allungata, presente in diversi tessuti, sia isolata sia riunita con altre a formare fibre. Ne sono un esempio classico le miofibrille del tessuto muscolare.

Fitoplancton Parte del plancton costituita da organismi vegetali, per lo più unicellulari, appartenenti ad alghe flagellate.

Fosfatasi Gruppo di enzimi che determinano l'idrolisi degli esteri fosforici, sia alifatici sia aromatici; sono contenuti in tutti i tessuti animali. In medicina ha notevole importanza diagnostica la valutazione della fosfatasi alcalina e della fosfatasi acida nel siero.

Fotofili Organismi che crescono bene e regolarmente soltanto in zone illuminate direttamente dalla luce solare

Fotoossidazione: ossidazione determinata dalla luce solare

Galattosio Monosaccaride di formula $C_6H_{12}O_6$, stereoisomero di glucosio, mannosio ecc. È noto in due forme otticamente attive.

Gorgonacei Organismi che formano colonie arborescenti e variopinte nei mari temperati e caldi.

Gruppo funzionale Gruppo di atomi che caratterizzano una molecola organica in quanto le conferiscono specifiche proprietà. Esempi: Alcoli: -OH; Acidi: -COOH

Ionizzazione Processo che porta alla formazione di uno ione positivo o negativo a partire da un atomo o una molecola neutri

Lignina Sostanza organica costituente del legno (al quale conferisce rigidità) di composizione chimica complessa

Monomero Molecola semplice che legandosi ad altre uguali forma strutture a catena dette polimeri.

Naupli Stadio larvale dei crostaceo copepode (vedi).

Nutrienti Seconda delle quantità necessarie agli organismi, i nutrienti si suddividono in macronutrienti e micronutrienti. L'importanza di alcuni nutrienti risiede nel fatto che essi costituiscono fattori limitanti in quanto il loro livello negli organismi, in rapporto ad altri nutrienti, è molto maggiore che nell'ambiente. Peraltro, ricorrono molto spesso le condizioni opposte, ovvero di livelli di nutrienti nell'ambiente accresciuti dalle attività umane (per esempio eutrofizzazione) al punto tale da rappresentare, anche in queste condizioni, un fattore limitante.

Oligofotico Poco illuminato. È così definito l'ambiente sottomarino poco profondo, nel quale penetrano in forma molto ridotta le radiazioni luminose solari. In questo ambiente prosperano solo alghe in grado di utilizzare le poche radiazioni luminose appartenenti alla gamma del blu. La sua estensione dipende dalla trasparenza delle acque. È compresa fra 30/50 e 200/300 metri di profondità, dove la luminosità scompare totalmente (confronta Afotico ed Eufotico).

Ortofosforico Detto di composto chimico contenente fosforo pentavalente

Ossidazione Reazione con cui aumenta il grado di ossidazione o di valenza di un elemento o di un composto chimico.

Ossidrile Gruppo monovalente -OH, presente in composti inorganici e organici (idrossidi, ossiacidi, alcoli, fenoli ecc).

Pelagico Di mare aperto. Riferito normalmente alla regione oceanica nella quale si distinguono, in successione, dalla superficie verso le acque più profonde: una regione epipelagica

gica, dalla superficie fino a circa 50 metri di profondità; una regione mesopelagica, tra 50 e 200 metri di profondità; una regione batipelagica, tra 200 e 2.500 o 3.000 metri di profondità; una regione abissopelagica, tra 2.500 o 3.000 e 6.000 metri di profondità; una regione adipelagica, oltre 6.000 metri di profondità.

Plancton Insieme degli organismi acquatici vegetali (fitoplancton) e animali (zooplancton) che vivono in acque dolci o marine, fluttuanti in sospensione, trasportati dal vento, dalle onde, dalle correnti, cui sono incapaci di resistere con movimenti propri. Sono dotati di potere natatorio molto scarso o assente e non stabiliscono alcuna relazione con il fondo.

Policheti Classe di anellidi acquatici dal corpo provvisto di numerose setole.

Polimero Macromolecola costituita da una catena contenente di unità monomere. Esempi: polietilene; nylon. Nei polimeri atattici i sostituenti si collegano ai due lati della catena in maniera casuale; nei polimeri isotattici essi si trovano tutti dal medesimo lato della catena mentre nei polimeri sindiotattici i sostituenti si alternano regolarmente sui due lati.

Polisaccaridi Molecole di carboidrati contenenti molte unità monosaccaridiche legate tra loro. Esempi: cellulosa; amilosio.

Popolamenti metafici Popolamenti uni- o pluricellulari che si sviluppano utilizzando come supporto macroalghe, foglie di *P. oceanica*, gorgonie, briozoi ed altri organismi con portamento eretto stabilendo con tale supporto dei rapporti labili (escludendo quindi le forme prettamente epifite o epizoiche che interagiscono in modo stretto con il substrato).

Proteina Molecole polimeriche composte da amminoacidi. In genere rivestono ruoli importanti nei sistemi biologici.

Riducente Specie che in una reazione di ossidoriduzione si ossida fornendo elettroni alla specie che si riduce.

Riduzione Reazione con la quale diminuisce il grado di ossidazione o di valenza di un elemento o di un composto chimico.

Salpa Invertebrato della classe dei Thaliacei, trasparente, di consistenza gelatinosa che può costituire colonie lunghe anche molti metri.

Solfati Sali dell'acido solforico. Solfati naturali sono il gesso, la baritina ecc.; solfati artificiali si preparano neutralizzando l'acido solforico con ossidi, idrati, carbonati metallici ecc. Si possono ottenere solfati neutri, acidi e basici. Si dicono solfati anche gli esteri dell'acido solforico con alcoli.

Sostanze umiche Le sostanze umiche si formano dalla degradazione microbica della sostanza organica e sono una miscela eterogenea di composti organici la cui struttura chimica non è ancora del tutto nota. In base alla loro diversa solubilità in soluzioni acide o basiche le sostanze umiche vengono suddivise chimicamente in tre gruppi: acidi fulvici, solubili in soluzioni acide e basiche, acidi umici, solubile in soluzioni basiche ma non in soluzioni acide, e umina, insolubile in soluzioni acide e basiche.

Spettrofotometro Strumento che misura e registra elettronicamente l'intensità della radiazione emergente dal campione in funzione della lunghezza d'onda (cioè lo spettro).

Steroli Composto chimico naturale. Essendo solubili nei grassi, gli steroli rientrano nella categoria dei lipidi. Per la struttura della loro molecola, che è sempre simile per i diversi steroli, rientrano nella serie degli steroidi. Lo sterolo tipico degli animali superiori è il colesterolo, quelli degli altri organismi presentano tutti lo stesso gruppo alcolico OH e il doppio legame del colesterolo; quelli delle piante, o fitosteroli, presentano anche un gruppo metilico o etilico, aggiuntivo nella posizione 24 della catena laterale del colesterolo; in

particolare, l'ergosterolo, che è lo sterolo tipico dei funghi e dei lieviti, ha un secondo doppio legame nel nucleo B.

Surfattante Sostanza che tende a concentrarsi sulle superfici di separazione di due fasi, modificando fortemente la tensione superficiale.

Tassonomia Disciplina che si occupa della classificazione e della nomenclatura degli esseri viventi e delle specie fossili.

Umificazione È l'insieme delle trasformazioni biochimiche a carico della sostanza organica del suolo che portano alla formazione delle sostanze umiche (humus).

Viscosità Resistenza opposta da un fluido (gas o liquido) al movimento. La sua grandezza dipende dalle forze intermolecolari di attrazione. In genere diminuisce all'aumentare della temperatura.

Zeolite Materiale cristallino, naturale o di sintesi, con porosità controllata, data da un sistema di canali mono-, bi- o tridimensionali. Le zeoliti sono usate come setacci molecolari, poiché le dimensioni dei canali permettono l'entrata solo alle molecole aventi un diametro più piccolo di quello dei pori. Zeoliti sintetiche trovano, tra l'altro, applicazioni come catalizzatori, in quanto all'interno delle cavità possono essere introdotti specifici siti catalitici. Zeoliti naturali sono impiegate nei detersivi come sequestranti nei confronti del calcio.



RINGRAZIAMENTI

Il presente quaderno si basa in parte sui risultati ottenuti nel progetto di monitoraggio e studio "Processi di formazione delle mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno – MAT realizzato grazie al contributo dalle seguenti unità operative:

Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna – Struttura Oceanografica Daphne, Cesenatico: C. R. Ferrari, T. Londrillo, M. Gismondi, S. Tarlazzi, G. Montanari

Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna – Servizio Meteorologico Regionale, Bologna: M. Deserti, Chiggiato, S. Maccaferri

Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna Sezione di Ferrara
C. Milan, P. Trentini, M. Ascanelli, S. Bignami, C. Barbieri, L. Liboni, M.G. Malfatto

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana – Piombino: M. Bucci, L. Di Maio, M. Cruscanti, M. Magri, S. Nocciolini, D. Verniani, P. Benci, R. Biancalana

Center for Marine Research "Rudjer Boskovic Institute" – Rovinj, Croatia:
D. Degobbi, R. Precali, T. Djakovic, I. Ivančić, I. Korenić, O. Pečar, N. Supic, D. Lucic, D. Jnjire, R. Kraus, A. Bakota, D. Miokovic, B. Cosovic, V. Vojvodic, M. Ahel, N. Tepic, N. Muhin, Z. Zovko, D. Fuks, J. Krstulovic, T. Radic, R. Kraus, O. Pecar

Centro di Biologia Ambientale – Università di Urbino: N. Penna, A. Penna, S. Capellacci, F. Ricci

Centro Ricerche Marine – Cesenatico: A. Milandri, R. Poletti, M. Cangini, A. Ceredi, F. Magnani, S. Tarlazzi, M. Pompei

Centro Interdipartimentale di Ricerche sulla Interazione Tecnologia-Ambiente – Università di Palermo: R. Barone, S. Riggio, A. Mannino, M. Toccaceli.

Centro Ricerche Interdipartimentale delle Scienze del Mare – università di Bologna:
A. R. Borgatti, F. Guerrini, G. P. Serrazanetti, G. Monti, P. Serratore, G. Trigari, M. Pierini, V. Ventrella, A. Pagliarani, F. Trombetti, M. Fabbri, S. Palamidesi, R. Pistocchi, G. Bottura, C. Fagnana, A. Tinti, V. Tugnoli, E. Carpené, G. Isani, O. Cattani, G. Fini, L. Boni

Dipartimento di Biotecnologie Agrarie – Università di Firenze: C. Sili, C. Faraloni, R. De Philippis, M. Vicenzini

Dipartimento di Biochimica, Biofisica e Chimica delle Macromolecole – Università di Trieste: R. Urbani, P. Sist

Dipartimento di Genetica – Università di Pavia: A. Occhipinti, D. Savini, G. Forni

Dipartimento Scienze del Mare – Università Politecnica delle Marche:

R. Danovaro, M. Armeni, S. Vanucci, A. Dell'Anno, A. Pusceddu, C. Fiordelmondo, F. M. Perrone, G. M. Luna, C. Corinaldesi, C. Totti, T. Romagnoli

Dipartimento di Biologia Vegetale – Università di Firenze:

M. Innamorati, G. Mori, C. Nuccio, L. Massi, C. Melillo, M. Mannuci, B. Terreri, A. De Pasquale, F. Polonelli, G. Sartoni.

Dipartimento di Scienze della Terra e del Territorio – Università di Genova:

M. Fabiano, C. Misic, L. Gaozza, A. Montella, P. Parodi, D. Marrale, P. Povero

Istituto Centrale per la Ricerca Applicata al Mare – Chioggia:

M. Giani, O. Giovanardi, M. Cornello, R. Boscolo, F. Savelli, D. Berto, S. Castelli, C. Baldan, L. Polimene, V. Zangrando

Istituto Centrale per la Ricerca Applicata al Mare – Palermo:

G. Sunseri, P. Perzia, M. Caruso, P. Vivona

Istituto Centrale per la Ricerca Applicata al Mare – Roma:

A. M. Cicero, E. Magaletti, A. Tornambé, C. Siniscalco, D. Pellegrini, S. Giuliani, C. Sonni, C. Virno Lamberti, M. Mecozzi, M. Amici, A. Deluca, F. Rondanini, V. Di Noto

Istituto di Ricerca Sulle Acque – Consiglio Nazionale per le Ricerche, Roma:

A. Puddu, A. Zoppini, M. Pettine, S. Fazi, M. Rosati, B. Di Rado, s. amalfitano, F. Bacciu

Istituto di Scienze Marine – Consiglio Nazionale per le Ricerche, Venezia:

G. Socal, A. Pugnetti, L. Craboledda, E. Camatti

Istituto di Scienze Marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Ancona:

E. Paschini, M. Marini, F. Grilli, P. Fornasiero, G. Caccamo, A. Russo

Istituto di Scienze marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bologna:

N. Pinardi, M. Zavatarelli, G. Coppini, P. Oddo, A. Coluccelli

Joint Research Centre of the European Commission – Space Application Institute,

Ispra: V. Barale.

Laboratorio di Biologia Marina – Trieste:

S. Fonda Umani, E. Barberi, E. Crevatin, A. Karuza, M. Monti, L. Milani, D. Borme, A. de Olazabal, S. Parlato, P. Del Negro, A. Bensi, M. Lupieri, C. Larato, E. Sdrigotti

Riserva Marina di Miramare – Trieste: S. Ciriaco, R. Odorico

Stazione Zoologica di Napoli “Anton Dohrn” – Napoli e Ischia:

M. Modigh, M. C. Buia, V. Di Martino, M. Lorenti, V. Rando

Si ringrazia il Comitato Scientifico del Progetto MAT costituito da A. Artegiani, A. Rinaldi, D. Degobbis, S. Fonda Umani, M. Giani, M. Innamorati, M. Zavatarelli.

Un particolare ringraziamento va inoltre a R. Danovaro, G. Socal, N. Russo, P. Del Negro, R. Pistocchi, R. Urbani e F. Giovanardi per il contributo fornito nella conduzione e sintesi dei risultati ottenuti nei Sottoprogetti in cui era articolato il progetto MAT.

Si ringraziano inoltre i Comandanti e gli equipaggi delle navi oceanografiche Thetis, G. Dalla Porta e Vila Velebita e delle M/N Daphne II, Poseidon e VISMA.



Finito di stampare nel mese di dicembre 2005
Progetto grafico e copertina di Lucilla Rosati
Impaginazione La Cromografica s.r.l.
Stampa Telligraf s.r.l. – Roma
© Millenium s.r.l. – Torino 2005