



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali  
Corso di Laurea Magistrale in BIOLOGIA MARINA

***Tendenza evolutiva degli aggregati mucillaginosi  
nell'Adriatico nord-occidentale***

Tesi di Laurea in  
“ Monitoraggio e gestione integrata delle coste ”

**Relatore**

Chiar.mo Prof. Attilio Rinaldi

**Presentata da**

Domenico Pasquariello

**Correlatore**

Dott.ssa Cristina Mazziotti

**II Sessione**  
**Anno Accademico**  
2011-2012



# INDICE

1	<b>PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO</b> .....	- 3 -
2	<b>INTRODUZIONE</b> .....	- 4 -
2.1	Il fenomeno delle mucillagini .....	- 4 -
2.1.1	<i>Gonyaulax fragilis</i> .....	- 7 -
2.2	Tipologia degli aggregati e processi che causano la loro formazione .....	- 8 -
2.3	I fattori che determinano la scomparsa delle mucillagini .....	- 11 -
2.4	Effetti sull'uomo e l'ambiente .....	- 12 -
2.4.1	<i>Salute umana</i> .....	- 12 -
2.4.2	<i>Turismo</i> .....	- 13 -
2.4.3	<i>Pesca</i> .....	- 15 -
2.4.4	<i>Organismi del fondale</i> .....	- 17 -
3	<b>CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO</b> .....	- 20 -
3.1	Il mare Adriatico: caratteristiche generali.....	- 20 -
3.2	Il "mare sporco" dal 1729 ad oggi, la serie storica di eventi mucillaginosi in Adriatico .....	- 21 -
3.3	L'area di mare antistante l'Emilia Romagna .....	- 24 -
3.3.1	<i>Stato trofico</i> .....	- 24 -
3.3.2	<i>Le correnti</i> .....	- 26 -
3.4	La rete di monitoraggio.....	- 29 -
4	<b>MATERIALI E METODI</b> .....	- 31 -
4.1	Acquisizione ed organizzazione dei dati pregressi .....	- 31 -
4.2	La motonave Daphne II .....	- 33 -
4.3	Tecniche di rilevamento.....	- 35 -
4.4	La scelta dei transetti .....	- 37 -
4.5	Analisi statistica e grafica .....	- 37 -

<b>5</b>	<b>RISULTATI E DISCUSSIONE</b> .....	- 39 -
5.1	Comparazione degli stadi di aggregazione negli anni .....	- 39 -
5.1.1	<i>Analisi del fenomeno – 2002</i> .....	- 39 -
5.1.2	<i>Analisi del fenomeno – 2003</i> .....	- 43 -
5.1.3	<i>Analisi del fenomeno – 2005</i> .....	- 45 -
5.1.4	<i>Analisi del fenomeno – 2012</i> .....	- 46 -
5.2	Lo studio dei parametri prescelti.....	- 47 -
5.2.1	<i>Salinità</i> .....	- 47 -
5.2.2	<i>Temperatura</i> .....	- 51 -
5.2.3	<i>Clorofilla “a”</i> .....	- 55 -
5.3	Relazione tra profondità e stadio di aggregazione.....	- 59 -
5.4	Principal component analysis (PCA).....	- 61 -
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONE</b> .....	- 63 -
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	- 66 -

# 1 PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Il presente elaborato ha visto intrecciarsi, lungo tutto il suo svolgimento, i due aspetti fondamentali che quotidianamente affronta chi si occupa di monitoraggio in mare: il lavoro sul campo e l'analisi dei dati raccolti. Il primo è stato svolto interamente a bordo del battello oceanografico Daphne II di proprietà di ARPA ER (Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente Emilia-Romagna) attraverso tecniche di rilevamento con telecamera filoguidata; il secondo si è tenuto presso i laboratori della Struttura Oceanografica Daphne di Cesenatico.

Grazie al processo di integrazione con i ricercatori facenti capo alla Struttura Oceanografica Daphne, si sono ripercorse le procedure operative che vanno dalla raccolta di dati pregressi, passando per un attento studio bibliografico sulla letteratura esistente, fino al processo ed all'organizzazione dei dati raccolti.

Dopo aver descritto il fenomeno delle mucillagini in linea generale, non trascurando gli aspetti che lo legano all'uomo ed all'ambiente da un punto di vista sanitario, socio-economico ed ecologico, si è passati all'inquadramento spaziale e temporale. La caratterizzazione dell'area di studio è stata infatti affiancata da una ricostruzione storica degli eventi con dati risalenti fino al 1729 grazie alle testimonianze tratte da scritti personali, descrizioni scientifiche (rapportate ovviamente alle tecnologie ed alle conoscenze del tempo) ed articoli di giornale. Sotto la spinta della curiosità che il "mare sporco" destava, la storia si intreccia alla geografia e permette uno zoom graduale sull'area di studio interessata da questo lavoro. Dal Mediterraneo all'Adriatico per finire alla costa emiliano romagnola, si intensifica lo studio e l'analisi dello stato trofico del mare e del flusso delle correnti, parametri fondamentali per comprendere al meglio il fenomeno mucillaginoso.

In base alla magnitudo dell'evento si sono scelti tre anni: il 2002, periodo in cui il fenomeno si è manifestato in modo molto intenso da fine giugno a fine agosto, il 2003, caratterizzato da un fenomeno considerato di media intensità tra fine giugno ed inizio luglio, ed il 2005, anno in cui non si sono verificati aggregati degni di nota a ridosso delle coste dell'Emilia Romagna. I dati chimici, fisici e biologici raccolti sul campo nel corso dell'estate 2012, messi in relazione alle informazioni raccolte nei tre anni oggetto di analisi, permettono uno studio più chiaro e offrono spunti per la comprensione della presenza o dell'assenza del fenomeno mucillaginoso.

## 2 INTRODUZIONE

### 2.1 *Il fenomeno delle mucillagini*

Il primo punto da sottolineare quando si parla di mucillagini è che si tratta di un fenomeno naturale. Esso è riconducibile all'attività di microalghe, batteri e virus che abitualmente vivono in mare e producono una normale quantità di materiale mucoso definito "essudato" costituito prevalentemente da polisaccaridi.

Le mucillagini sono aggregati di sostanza organica costituiti da un insieme di molecole di polisaccaridi (1-3%), acqua (95-97%) e sali inorganici (2%). Il termine "mucillagine" deriva dal muco rilasciato da microalghe e batteri quando questo viene prodotto in eccesso rispetto alla disponibilità di nutrienti nell'ambiente sotto forma appunto di "essudato" cellulare, ossia come escrezione da parte di tali microrganismi presenti normalmente in ambiente marino. Tali strati esterni di mucillagine hanno diverse funzioni biologiche ed ecologiche e chimicamente sono costituiti da polisaccaridi complessi di origine biologica che si idratano a contatto con l'acqua e che per collisione formano aggregati. I polisaccaridi sono prodotti da vegetali tramite il processo di fotosintesi clorofilliana e servono alla cellula per i processi metabolici, mediante i quali produce l'energia indispensabile per ogni funzione vitale, inoltre possono essere immagazzinate come sostanze di riserva da utilizzare nei momenti di condizioni più sfavorevoli. La produzione di polisaccaridi è quindi un fenomeno fisiologico naturale, rimane da comprendere perché in particolari condizioni ne venga prodotta e riversata all'esterno una quantità così elevata da ricoprire svariati chilometri quadrati di mare. Il materiale si può osservare, a densità diversa e in diversi stadi di aggregazione, nelle acque profonde per quasi tutto l'anno.

Non si è ancora giunti a conclusioni definitive che possano chiarire i processi di formazione delle masse gelatinose, ma è comunque provato che determinate situazioni meteo-climatiche, caratterizzate da scarso idrodinamismo, carenza di precipitazioni, anomalie termiche della colonna d'acqua, e particolari condizioni geologiche come fondali con basse batimetrie, favoriscono l'insorgenza di tale fenomeno.

L'insieme di queste condizioni agevolano l'affioramento delle mucillagini verso la superficie, al contrario per la diversa conformazione batimetrica i casi di affioramento in altri mari italiani sono rari o del tutto sconosciuti (ad esempio medio e basso Tirreno).

Inoltre i polisaccaridi vengono usati per formare film esterni alla parete cellulare per impedirne il dissolvimento nell'ambiente, per attaccarsi al substrato, per potersi unire ad altre cellule e formare colonie a nastro, a stella ecc. La formazione di mucillagini è associata alla produzione di materiale extracellulare di origine polisaccaridica da parte di microalghe, diatomee e dinoflagellate. Si verifica soprattutto in estate, in seguito ai blooms primaverili di diatomee che asportano dalla colonna d'acqua una notevole quantità di nutrienti causando una situazione di stress per l'intero ecosistema. La produzione di questi polisaccaridi sostiene una prospera comunità batterica che secreta una sostanza gelatinosa che ne incrementa le dimensioni svolgendo una funzione aggregante. Gli aggregati mucilluginosi possono essere a tutti gli effetti considerati dei microcosmi viventi perché hanno al loro interno una componente fotosintetica e una degradativa, il cui rapporto da indicazioni sulla fase evolutiva dell'aggregato.



**Figura 1: Mucillagini nell'estate del 2002 nelle acque antistanti le coste emiliano romagnole**

Durante la loro formazione gli aggregati sprofondano e si stabilizzano a livello del picnoclino, dove sono soggetti a oscillazioni verticali diurne e notturne lungo la colonna d'acqua dovute alla variazione della spinta di galleggiamento (buoyancy). La buoyancy è funzione della quantità di gas disciolti all'interno degli aggregati. La presenza di gas

disciolti, quali ossigeno, anidride carbonica e azoto, all'interno della matrice gelatinosa è funzione del rapporto tra attività fotosintetica da parte di organismi autotrofi e attività respiratoria da parte degli organismi eterotrofi.

Condizioni che favoriscono la formazione di mucillagini sono la stabilità della colonna d'acqua e la presenza di celle chiuse di circolazione di tipo anticiclonico che tratterrebbero le acque confinate al loro interno per lungo tempo. L'incremento della loro frequenza è stata messa in relazione anche con l'aumento della temperatura atmosferica avvenuto negli ultimi 30 anni.

Rimangono tuttora dubbi riguardo ai fattori che innescano questo fenomeno in particolare a livello dei processi biologici, sia quelli scatenanti sia quelli che avvengono all'interno degli aggregati.

Gli effetti delle mucillagini sugli ecosistemi marini sono:

- a livello planctonico un effetto filtro che tende a richiamare ed inglobare particelle sospese sia viventi che detritiche;
- a livello bentonico un effetto meccanico di soffocamento in seguito alla sedimentazione del materiale mucillaginoso che causa morie diffuse di organismi sessili, di molluschi bivalvi e di uova di pesci bentonici depositate sui fondali.

La comparsa delle masse mucillaginose in superficie, regolata da diversi fattori fisici, è quindi la manifestazione agli occhi di tutti di un processo già in formazione da mesi. In genere il materiale non affiora nello stesso tempo lungo la costa; compare in superficie localmente sotto forma di chiazze o strisce che, nel corso di una stessa giornata, possono variare di dimensioni e spostarsi in funzione dei venti e delle correnti. Quando vi è predominanza di venti che spirano verso costa (ad esempio Scirocco) viene sospinto ed ammassato a ridosso dei porti, delle barriere frangiflutto ed in zona di balneazione. La sostanza organica presente in mare origina da numerosi processi biologici (essudazione algale, escrezione cellulare, lisi virale) o può essere alloctona e raggiungere l'ambiente marino prevalentemente attraverso gli apporti di acqua dolce. Il materiale organico "labile" viene prontamente utilizzato e rielaborato dai batteri mentre il "refrattario" tende ad accumularsi e sembra essere la fonte più probabile del materiale aggregante. La circolazione tipica del Nord Adriatico, caratterizzata dal ricambio completo della massa d'acqua durante la stagione invernale, determina l'allontanamento del materiale organico impedendo processi di aggregazione. Una concomitanza di fattori meteorologici ed idrologici che non favoriscono un completo ricambio delle masse d'acqua può indurre

l'accumulo di sostanza organica e pertanto favorire la formazione di aggregati mucilluginosi.

### **2.1.1 *Gonyaulax fragilis***

In Adriatico, in corrispondenza di questi eventi la dinoflagellata *Gonyaulax fragilis* è stata osservata sia nella colonna d'acqua che all'interno degli aggregati mucilluginosi (Pistocchi *et al.*, 2005). Un possibile ruolo prominente della dinoflagellata *G. fragilis* in formazioni mucillaginose dell'Adriatico è stato precedentemente riportato come risultato dell'attività di monitoraggio svolta nelle acque antistanti la Regione Emilia-Romagna (Pompei *et al.*, 2003). *G. fragilis* era presente nella popolazione fitoplanctonica in parallelo alla comparsa di mucillagini e la sua distribuzione copriva una gran parte del nord Adriatico, questa dinoflagellata è stata infatti osservata dalla costa italiana a quella croata, a vari livelli della colonna d'acqua ed a diverse latitudini. La rete di campionamento non ha rivelato alta densità di *G. fragilis*, ma il rilevamento di concentrazioni molto elevate di cellule nei campioni di muco sottolinea la grande capacità di adesione di questi organismi che porta alla formazione di grandi aggregati (Pistocchi *et al.*, 2005).

Questa specie, come suggerisce il suo nome, si distrugge facilmente e quindi è difficilmente visibile nelle mucillagini invecchiate dove sembra apparire come "scoppiata".

La cellula (**Figura 2**) ha forma ovale, epitoca conico-arrotondata, più piccola dell'ipotoca. La lunghezza varia da 30 a 50  $\mu\text{m}$ , la larghezza da 27 a 35  $\mu\text{m}$ . Il cingolo è sfalsato di circa due volte la sua ampiezza con le estremità leggermente sovrapposte. Il solco longitudinale si presenta ampio nella parte terminale mentre il complesso del poro apicale è esteso sulla superficie dorsale. La teca è sottile con striature longitudinali visibili anche al microscopio ottico, l'ipotoca è maggiormente striata. Alcune di queste strie presentano pori per l'espulsione di tricocisti. Una sua caratteristica è la bioluminescenza e si può confondere con *Gonyaulax hyalina*.

La si può definire specie occasionale e la si può trovare prevalentemente durante la tarda primavera e l'estate (Pompei *et al.*, 2005).

Non è una specie tossica. Essendo associata al fenomeno delle mucillagini e fungendo da microhabitat, i suoi aggregati possono favorire lo sviluppo di agenti patogeni naturalmente presenti nell'ambiente accrescendone il potenziale rischio microbico

(Mingazzini & Thake, 1995) anche se, appositi studi condotti a tale riguardo, individuano nella matrice mucillaginosa un ambiente sfavorevole allo sviluppo di batteri patogeni enterici (Volterra *et al.*, 1992) (vedi paragrafo 2.4.1).



**Figura 2: *Gonyaulax fragilis* al microscopio ottico**

## **2.2 Tipologia degli aggregati e processi che causano la loro formazione**

Le condizioni ambientali che favoriscono l'insorgenza del fenomeno sono:

- ingresso di acque ad elevata salinità provenienti dal Mediterraneo meridionale;
- ricircolo delle acque e aumento dei tempi di residenza;
- accumulo di sostanza organica refrattaria;
- ridotta capacità batterica degradativa nell'utilizzo della sostanza organica prodotta dal fitoplancton in condizioni di apporti intermittenti di nutrienti.

In alcuni periodi e con il verificarsi di condizioni meteo-climatiche particolarmente favorevoli, oltre che in concomitanza a determinate condizioni di stress, la produzione di muco risulta incrementata a tal punto da assumere proporzioni talvolta abnormi. Il metabolismo di tali cellule, inoltre, continua a produrre dei gas che, rimanendo intrappolati nella matrice mucosa, formano una serie di bollicine in grado di sollevare e

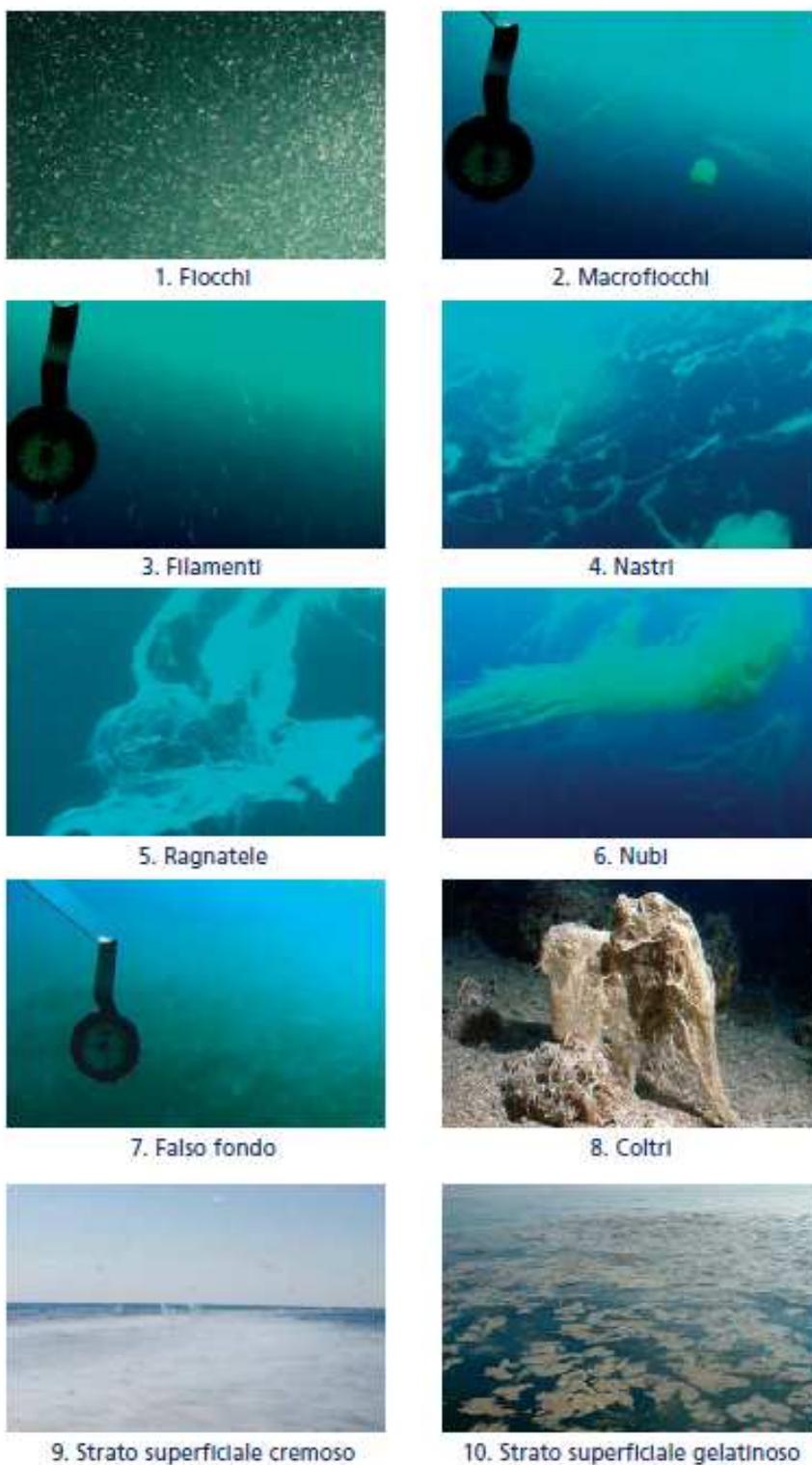
far fluttuare la massa gelatinosa; inizialmente essa, in virtù di tali bollicine, risale verso la superficie nelle ore più calde, quando la produzione di gas diminuisce, torna in profondità (ARPAV, 2005).

Gli aggregati mucillaginosi 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 nella colonna d’acqua. Gli aggregati possono avere dimensioni e morfologia molto diverse e sono pertanto stati classificati in relazione alla loro forma strutturale ed alla loro disposizione spaziale lungo la colonna d’acqua (Stachowitsch *et al.*, 1990; Precali *et al.*, 2005). Come rappresentato nella **Figura 3**, possono dunque presentarsi sotto forma di:

- flocchi: detti anche neve marina, sono aggregati di piccole dimensioni, lunghi da 0,5 mm a circa 1 cm;
- macroflocchi: con forma subsferica, irregolare e colorazione generalmente biancastra, questi aggregati hanno delle dimensioni che vanno da 1 a 5 cm;
- filamenti: con una lunghezza variabile dai 2 ai 25 cm e spessore di pochi millimetri. La loro forma ricorda una cometa con una testa sferica, allungata oppure ovale e una coda allungata;
- nastri: anch’essi di forma allungata, vantano uno spessore maggiore rispetto ai filamenti (dell’ordine dei centimetri). Possono superare anche il metro di lunghezza ed estendersi orizzontalmente;
- ragunatele: questi aggregati, generalmente bianchi, sono formati da filamenti intrecciati e raggiungono dimensioni dell’ordine del metro con estensioni orizzontali su aree ampie;
- nubi: da 0,5 a 3-4 m, tramite le bollicine di gas che incorporano si muovono verticalmente lungo la colonna d’acqua. Questi aggregati di grandi dimensioni possono avere forma compatta allungata con una testa ed una o più code;
- strato cremoso superficiale: disposto all’interfaccia aria-acqua non è propriamente galleggiante e può presentarsi come filamenti o flocchi con consistenza cremosa. Lo spessore raggiunge anche i 15 cm ed il colore, quando è di recente formazione, è biancastro;
- strato gelatinoso superficiale: è uno strato molto consistente con aspetto spugnoso che galleggia sulla superficie marina. Il colore è giallastro o marrone e la loro dimensione è imponente con bande larghe fino a 100 m e lunghe anche decine di chilometri;
- falso fondo: si tratta di filamenti e macroflocchi biancastri che, in corrispondenza del picnoclino subsuperficiale, formano un orizzonte con spessore variabile da pochi

millimetri a decine di centimetri e superficie molto estesa. Questa tipologia di aggregato, sebbene più densa, è meno compatta dello strato cremoso superficiale;

- coltre o lenzuolo: strato di aggregati gelatinosi che, in modo uniforme, copre rocce ed organismi sessili.



**Figura 3: Tipologie di aggregati**

### **2.3 I fattori che determinano la scomparsa delle mucillagini**

I processi che pongono fine agli eventi mucilluginosi possono agire in differenti modi: attraverso la disaggregazione, soprattutto grazie all'azione dei venti, la dispersione, merito della circolazione, e tramite la degradazione, legata ai processi di decomposizione batterica (**Figura 4**).



**Figura 4: Nubi sedimentate sul fondo e relative condizioni di anossia all'interfaccia nube/sedimento**

La disaggregazione avviene principalmente in seguito al rimescolamento indotto dai venti; il miscelamento sulla verticale causa la rottura dei fronti flottanti e conseguentemente delle aggregazioni stesse lungo la colonna. Si tratta di un fenomeno rapido (che si realizza su scala di sottobacino), e che viene aiutato dalla circolazione dell'Alto Adriatico la quale contribuisce a favorire la fine del fenomeno attraverso la dispersione o l'esportazione degli aggregati mucilluginosi.

L'affioramento e la sedimentazione, processi che facilitano la degradazione, sono strettamente dipendenti dalle dimensioni, dall'età e dalle componenti microbiche degli aggregati. L'inglobamento di piccole bolle d'aria causato dalla turbolenza superficiale e dalla produzione gassosa da parte dei microrganismi che vivono negli aggregati,

responsabile dell'affioramento degli stessi, promuove i 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 o lo spiaggiamento dove i processi degradativi già in atto potranno continuare o, nella colonna d'acqua, la sedimentazione sul fondo dove, una volta adagiate, subiscono la degradazione batterica. Da alcuni studi si evince come la sostanza organica costituente gli aggregati può persistere anche per mesi se non subisce processi di dispersione o di esportazione (Herndl *et al.*, 1992).

## **2.4 Effetti sull'uomo e l'ambiente**

Dalle attività produttive alle implicazioni di tipo sanitario, gli impatti degli aggregati mucilluginosi sono molteplici ma va sottolineato come non vi sia alcuna segnalazione di casi con conseguenze negative per la salute umana dovute al contatto con le mucillagini (Funari & Ade, 1999).

### **2.4.1 Salute umana**

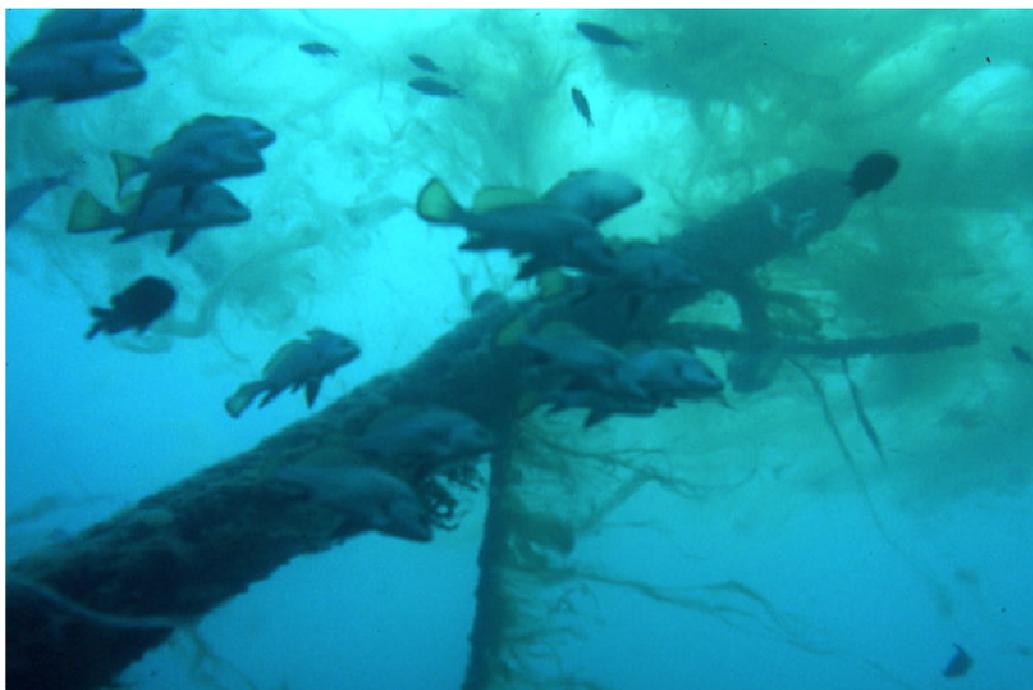
Una eventuale tossicità degli aggregati mucilluginosi potrebbe essere attribuita alla loro capacità di concentrare, trattenendoli, composti chimici tossici per l'uomo presenti normalmente in acqua. Fungendo da microhabitat, le mucillagini possono favorire lo sviluppo di agenti patogeni naturalmente presenti nell'ambiente accrescendone il potenziale rischio microbico (Mingazzini & Thake, 1995) anche se, appositi studi condotti a tale riguardo, individuano nella matrice mucillaginosa un ambiente sfavorevole allo sviluppo di batteri patogeni enterici (Volterra *et al.*, 1992). Resta comunque plausibile che, nel caso in cui abbiano attraversato aree contaminate o compromesse dal punto di vista igienico-sanitario, gli aggregati mucilluginosi possano fungere da agenti veicolanti.

All'interno degli strati cremosi è possibile osservare organismi di piccole dimensioni morti o in stato di sofferenza che si addensano sulla superficie e vengono trasportati sulla battigia (Rinaldi, 1992; Stachowitsch *et al.*, 1990). I casi di urticazione segnalati ed

attribuiti al contatto con le mucillagini sono da attribuire alla presenza di meduse molto piccole (Cnidari) inglobate per puro caso (ICRAM, 1993). Nonostante l'elevata presenza di specie fitoplanctoniche non è stato dimostrato un accumulo di sostanze di origine algale dannose per l'uomo (Viviani *et al.*, 1995) anzi, le dinoflagellate, a cui appartengono le specie produttrici delle DSP (le tossine diarroiche), sono spesso ritrovate con le teche aperte e svuotate del contenuto cellulare. Soltanto nel caso delle "neve marina" si sono riscontrati effetti tossici od inibitori dei sistemi cellulari nelle colture di cellule utilizzate per i test (Müller *et al.*, 1998).

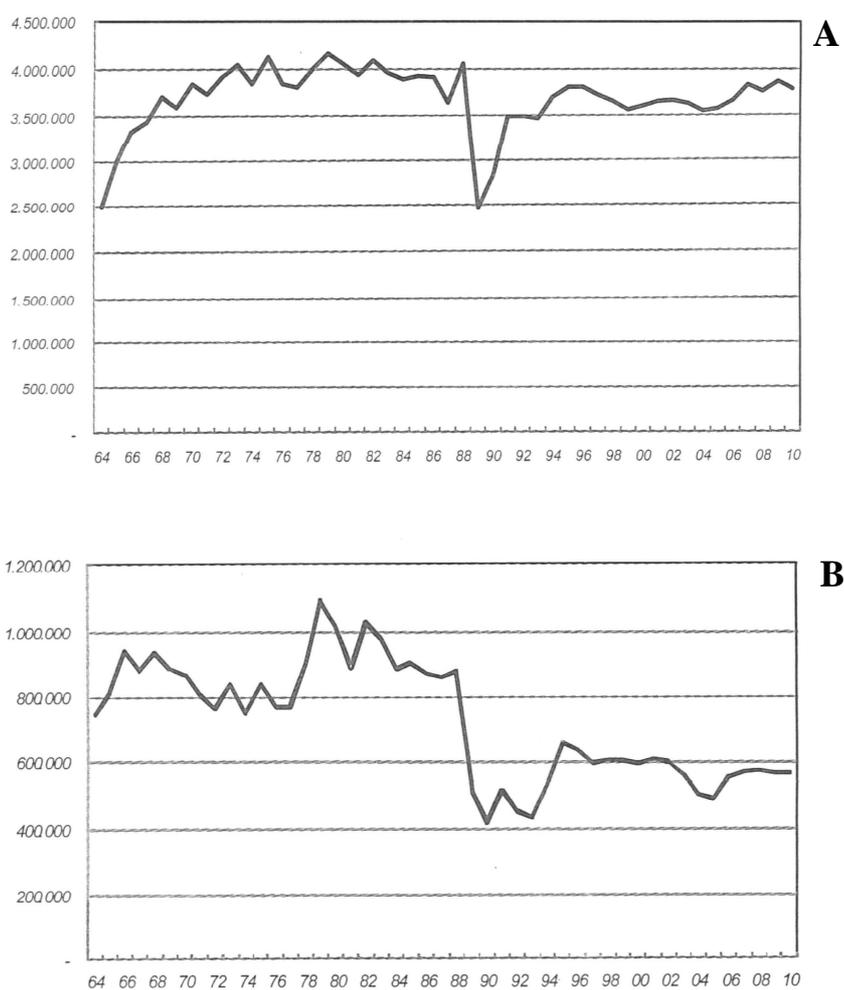
#### **2.4.2 Turismo**

Quando vengono sospinti verso la riva e quindi verso le spiagge occupate dai turisti, i fronti mucillaginosi rendono sgradevole la permanenza in acqua e la sensazione di disagio aumenta nel momento in cui, a causa dell'azione del vento e del sole, sulla pelle gli aggregati si essiccano. Nelle estati in cui il fenomeno è stato molto intenso, i danni economici riportati dalle associazioni di categoria sono stati molto ingenti. Oltre agli stabilimenti balneari situati sulle spiagge anche i diving che organizzano immersioni presso relitti (**Figura 5**) o fondali di particolare bellezza, si vedono costretti a rallentare o addirittura fermare le immersioni programmate, con ovvie ripercussioni economiche.



**Figura 5: Mucillagini – Relitto Paguro estate 1989**

Utilizzare panne galleggianti per arginare l'avanzata dei fronti o turbosoffianti per ossigenare e rimescolare le acque è risultato del tutto inefficace (Giani *et al.*, 2005). In un primo momento si è pensato di risolvere il problema attraverso la concessione di licenze per la costruzione di piscine presso gli stabilimenti balneari. Fortunatamente però, dopo un iniziale boom di richieste, le concessioni sono state fermate, evitando così la trasformazione della costa emiliano romagnola in un enorme vasca d'acqua dolce. Alla luce delle esperienze maturate negli anni si è capito che la strategia più efficace per combattere questo fenomeno in un'ottica turistica è principalmente una: la corretta informazione.



**Figura 6: Numero di prenotazioni turistiche per il periodo estivo presso Cervia, si noti il calo negli anni interessati dalla presenza di aggregati mucillaginosi ed in quelli immediatamente successivi. A) totale presenze; B) totale turisti stranieri**

### 2.4.3 Pesca

Il danno inflitto alla pesca dalle mucillagini è palese ma va sottolineato che non è tale da pregiudicare il mercato nel suo insieme; la distribuzione verticale, orizzontale e temporale degli aggregati influisce in maniera differente sulla quantità di pescato ed il danno economico è proporzionale alla quantità di mucillagini presenti. Ogni evento fa storia a sé dato che difficilmente i fenomeni si ripetono con uguale intensità.

Già dal 1892 sono state documentate le difficoltà incontrare nel svolgere l'attività di pesca in concomitanza di fenomeni mucillaginosi anche perché le reti dell'epoca, più pesanti e meno resistenti poiché costituite di fibra naturale, si spezzavano sotto il peso degli aggregati causando la perdita del pescato (Orel *et al.*, 1993). Inoltre, le maglie delle reti da imbocco rimanevano occluse dalle mucillagini diminuendo così l'efficacia della cattura del pesce e rendendo praticamente impossibile salpare le reti a causa del loro appesantimento.

Le informazioni storiche disponibili (Orel *et al.*, 1993), riguardanti il quantitativo di pescato in Adriatico orientale negli anni interessati da fenomeni mucillaginosi, riportano una forte riduzione in peso di sardine, tonni, palamiti e aguglie mentre nel 1880, anno di sicura comparsa delle mucillagini, si ebbe il minimo pescato in molluschi. Ovviamente non è dimostrabile che le mucillagini fossero la causa della riduzione del prodotto ittico sbarcato, ma è evidente come nubi a mezz'acqua e fronti gelatinosi sospesi in superficie possano intralciare la pesca pelagica con reti da saccaleva e reti volanti, mentre le nubi sul fondo danneggino la pesca demersale a strascico e quella bentonica esercitata con cocche, poste e nasse. In molte tecniche di pesca, come quella con le reti di circuizione, l'appesantimento della rete, dovuto all'occlusione delle maglie, 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 maggiore resistenza al recupero che si riflette su un aumento dello sforzo di pesca, problemi nella conduzione del natante e per la sicurezza del personale di bordo; alla diminuzione del pescato bisogna poi aggiungere il tempo speso nella frequente pulizia degli attrezzi da pesca.

Mitili ed ostriche ricoperti di mucillagini non riuscendo più a filtrare in modo ottimale possono andare incontro alla morte. Quando sopravvivono, il periodo di sofferenza indotto dalle mucillagini ne compromette lo stato di salute inteso come pienezza delle carni all'interno del nicchio e la crescita rallenta (Giovanardi & Boscolo, 2003).



**Figura 7: Recupero di una rete intasata dalle mucillagini**



**Figura 8: Aggregati impigliati tra le maglie di una rete**

Non deve essere dimenticato anche l'impatto che gli aggregati mucilluginosi 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. paganellus* potrebbero essere messe in relazione con l'impatto delle mucillagini sugli stadi larvali dei pesci di fondo (Rinaldi, 1992).

Si può assistere però anche all'incremento degli sbarchi di alcune specie che, dovendo abbandonare la propria tana nel sedimento quando questa è occlusa dalle mucillagini, divengono più facilmente catturabili come nel caso degli scampi (*Nephrops norvegicus*), delle cannocchie (*Squilla mantis*) (Giani *et al.*, 2005).

#### **2.4.4 Organismi del fondale**

Gli organismi con scarsa capacità di movimento e uno stretto rapporto con il fondale risultano ovviamente estremamente sensibili alla deposizione sul fondo degli aggregati mucilluginosi. Quando questi si depositano in modo massivo riducono, o addirittura eliminano, gli scambi gassosi con gli strati d'acqua sovrastanti e possono essere causa di soffocamento meccanico. I bivalvi in modo particolare sono vittime degli effetti negativi della sedimentazione poiché i sifoni restano 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.

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 variopedatus* 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. 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* 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.

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 importanti 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. 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 *Hermodice carunculata*, in genere, mangiano le estremità delle gorgonie per non uccidere la preda).

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 shrubsolii*) 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).

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 mucilluginosi 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 mucillaginose (Giani *et al.*, 2005).

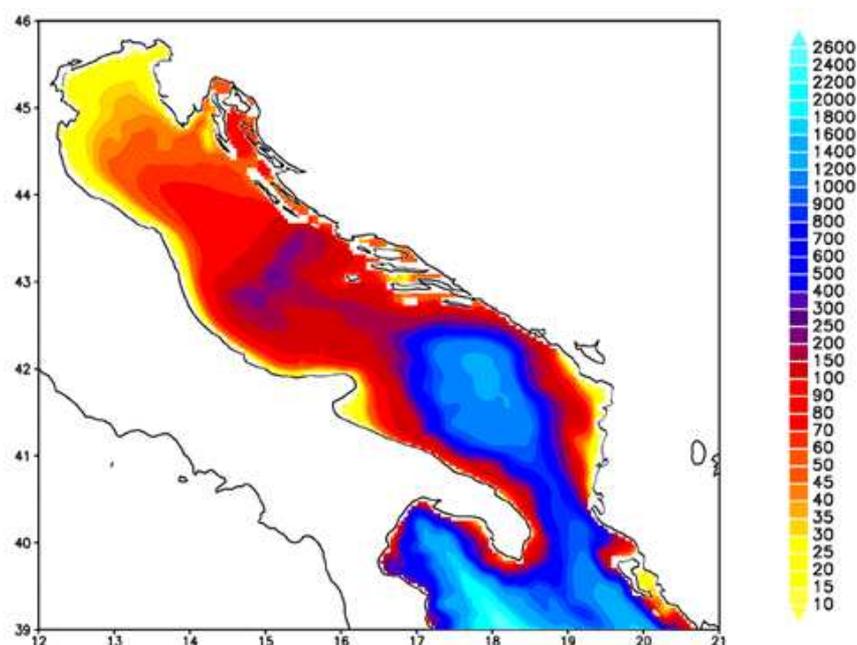


**Figura 9: Stella marina in condizioni anossiche prima (a sinistra) e dopo (a destra)**

### 3 CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

#### 3.1 *Il mare Adriatico: caratteristiche generali*

Sviluppandosi in direzione NW – SE con una lunghezza di circa 800 km ed una larghezza massima di 220 km, il Mar Adriatico copre 132.000 km<sup>2</sup>. Messo in relazione all'intero bacino mediterraneo di cui fa parte ci si accorge di una forte discrepanza nel rapporto tra la superficie ed il volume occupati: infatti in termini di superficie rappresenta ben 1/19 del “mare nostrum” (che ha infatti una estensione di 2.504.000 km<sup>2</sup>), mentre in termini di volume non rispetta queste proporzioni. Con una massa d'acqua di 36.000 km<sup>3</sup>, il Mar Adriatico corrisponde ad 1/103 del volume del Mar Mediterraneo (3.700.000 km<sup>3</sup>); facile dedurre quindi che si tratti di un mare non particolarmente profondo. Di fatto la profondità non supera i 300 metri nella parte settentrionale e raggiunge il suo massimo, con 1.222 metri, solo nella sua parte più meridionale dinanzi alle coste della Puglia (**Figura 10**).



**Figura 10: Batimetria dell'Adriatico**

Pur trattandosi di un bacino di dimensioni relativamente modeste, vede immettersi nelle proprie acque, se si esclude il Mar Nero, ben 1/3 di tutti gli apporti fluviali del

Mediterraneo: il solo fiume Po ha una portata media annuale di ben 1500 m<sup>3</sup>/sec. Con una tale portata il maggiore fiume italiano influenza in maniera determinante anche la circolazione delle acque nell'Adriatico del nord e contribuisce a rendere tale zona, per via del forte ingresso di acque dolci, un tratto in cui la salinità raggiunge livelli molto bassi.

### **3.2 Il “mare sporco” dal 1729 ad oggi, la serie storica di eventi mucilluginosi in Adriatico**

Se volessimo disegnare una linea sulla quale annotare la serie storica degli eventi mucilluginosi che hanno interessato l'Adriatico e che sia basata su documenti ufficiali, avremmo un arco temporale sul quale lavorare lungo quasi tre secoli. Infatti, 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, come documentato dalla raccolta delle segnalazioni dell'epoca (Fonda Umani *et al.*, 1989).

In una lettera alla Gazzetta di Venezia datata 2 luglio 1872, un lettore, Giò Antonio Rossetti, preoccupato per i danni che la “non indifferente piaga” arrecava alla pesca, auspica che cessino le condizioni tellurico-metereologiche favorevoli alle “nottiluche miliari” che egli riteneva responsabili del fenomeno. Soltanto pochi giorni dopo, il 6 luglio 1872, un “Avviso del Magistrato Civico di Trieste” smentisce le voci che il pesce sia avvelenato dalle mucosità e assicura che esso “può essere acquistato e consumato come in ogni tempo e senza timore alcuno” (**Figura 11**). Sempre nel 1872, Simeone Adamo de Syrski, zoologo polacco che ha ricoperto la carica di direttore del Museo di Storia Naturale di Trieste dal 1866 al 1875, nella sua relazione all'Imperial Regio Governo Marittimo di Trieste, attribuisce la formazione delle masse glutinose alla diatomea bentonica *Nitzschia clostridium* (Syrski, 1872).

In contrasto a queste ipotesi, Renier, un medico naturalista di Chioggia, nel 1891, riferendosi ad un episodio accaduto proprio in quell'anno, respinge sdegnosamente le ipotesi del de Syrski e del Castracane asserendo che il fenomeno sarebbe dovuto ad una

“materia grassa del fondo” che ricoprirebbe costantemente i fondali dell’Adriatico. Questa materia sarebbe originata dalla decomposizione degli organismi marini e di quelli di acque dolci portati al mare dai fiumi (Renier, 1891). Su posizioni molto vicine a quelle di Renier è anche l’illustre ittiologo Ninni, che lamenta gli impedimenti al “libero esercizio della pesca” derivanti dalla formazione di muco gelatinoso (Ninni, 1872).

N. 11704. 97

Avviso.

Essendosi sparsa nel pubblico la diceria che l'acqua del mare sia avvelenata, ed il consumo del pesce nocivo alla salute, il Magistrato civico, sentiti i competenti organi sanitari ed i periti in materia, dichiara che tale notizia è un mero supposto destituito da ogni fondamento, e che il pesce sano e fresco che si vende giornalmente al mercato sotto la più rigorosa vigilanza degli ufficiali ammonari, possa essere acquistato e consumato come in ogni tempo e senza timore alcuno.

Trieste, 6 luglio 1872.  
Dal Magistrato Civico.

**Figura 11: Avviso del Magistrato Civico di Trieste datato 6 luglio 1872**

Ne nasce una violenta polemica tra l’algologo Levi-Morenos che, pur senza sposare nettamente la tesi del Renier e del Ninni (Levi Morenos, 1883, 1892, 1893) respinge con forza quella di de Syrski, di Castracane e di un altro algologo, il De Toni, che aveva sostenuto la tesi di Castracane e di de Syrski (De Toni, 1891). Questo autore riferisce anche di un episodio di “mare sporco” verificatosi tra Ravenna ed Ancona nel 1880.

Sul fenomeno del “mare sporco” non sono mancate neppure ipotesi fantasiose, come quella che affermava che il muco si fosse originato nel Mar Rosso o che si formasse in seguito a microsismi del fondo e, come se non bastasse l’incertezza sul determinismo del fenomeno e sulle specie responsabili, lo Zanardini, relatore di una commissione di studio nominata dal Regio Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, credette di individuare in

un nuovo fantomatico organismo, *Dermoglea limi*, il responsabile della formazione del muco (Zanardini, 1872).

Va rilevato che i giornali dedicarono ampi spazi alla descrizione dei fatti ed alle polemiche tra gli studiosi e questo conferma che, anche allora, c'era un grande interesse per i fenomeni anomali che accadono in mare.

Le discussioni ripresero, sia pure in modo meno acceso, dopo le manifestazioni mucillaginose osservate nel 1903 e nel 1905 (anche queste puntualmente riportate dai giornali dell'epoca). Vi presero parte, tra gli altri, illustri ricercatori della Stazione Zoologica di Trieste (1875-1915): nel 1905, Cori afferma che la formazione di muco si verifica ogni 1-4 anni; sempre il Cori, affiancato da Steuer, indica le peridinee come principali responsabili del fenomeno e giustifica la presenza di diatomee ritenendo che esse siano state inglobate dal muco prodotto dalle piridine (Cori & Steuer, 1901); il Forti, invece, nel 1906, in una dettagliata revisione dei lavori precedenti pubblicata sul "Nuovo giornale Botanico Italiano", sostiene che le masse gelatinose raccolte in differenti punti, pur potendo avere diversa origine, sono sempre esclusivamente formate da peridinee e diatomee e che queste ultime "in alcuni casi costituiscono l'intera massa del mare sporco" (Forti, 1906).

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).

La cronologia storica degli ultimi anni, invece, si presenta molto più precisa e dettagliata soprattutto in Emilia Romagna e soprattutto per merito del lavoro svolto dall'ARPA con l'ausilio della motonave Daphne II.

### **3.3 L'area di mare antistante l'Emilia Romagna**

#### **3.3.1 Stato trofico**

L'ecosistema marino in questa zona del nord Adriatico risente di un ambiente al contorno fortemente antropizzato e della presenza di bacini, in particolare quello padano, i cui apporti, confluendo direttamente in mare, influiscono sulla qualità ambientale. L'apporto di acque dolci infatti, nel tempo e nelle quantità, contribuisce a delineare situazioni particolari come diluizioni importanti delle acque superficiali e sviluppo di fioriture microalgali per effetto degli elementi eutrofizzanti veicolati (azoto e fosforo), che alimentano e sostengono la componente fitoplanctonica presente in ambiente marino. Quest'ultima, importante e positiva in termini di produttività, associata a condizioni idrodinamiche particolari che possono verificarsi durante l'anno, può innescare fenomeni eutrofici estesi in termini spaziali e temporali che portano poi a situazioni di criticità all'interno dell'ecosistema marino per l'instaurarsi di condizioni ipossiche/anossiche nelle acque di fondo (ARPA Emilia Romagna, 2010).

Le immissioni di acque dolci in mare dal bacino padano, e quindi anche di sostanze nutritive (sali di fosforo e azoto), contribuisce ad alimentare fioriture microalgali che si manifestano con caratteristiche colorazioni; infatti a seconda della specie microalgale presente in forti concentrazioni nelle acque, la colorazione del mare subisce variazioni e si presenta con una gamma di colori che vanno dal verde al marrone dal rossastro all'arancio. Queste fioriture sono generate da microalghe appartenenti al gruppo delle Diatomee, in particolare al genere *Chaetoceros*, *Pseudonitzschia*, *Skeletonema*, al gruppo delle Dinoflagellate con i generi *Prorocentrum*, *Gymnodinium*, *Protoperidinium* ed al gruppo delle Raphidoficee con la specie *Fibrocapsa japonica*.

La concentrazione di clorofilla "a" rappresenta un efficace indicatore della produttività del sistema e determina il livello di eutrofizzazione delle acque ed è una componente fondamentale degli indici trofici (valutazione della produzione primaria) applicati nella valutazione delle caratteristiche trofiche del corpo idrico e dello stato ambientale dell'ecosistema.

L'ossigeno disciolto rappresenta un importante indicatore dello stato trofico di un ecosistema marino in quanto il suo andamento è strettamente correlato alla biomassa

autotrofa presente. In acque fortemente produttive come queste capita spesso di registrare valori elevati in molti casi al di sopra del 100% di saturazione.



**Figura 12:** Da sinistra fioritura di *Noctiluca scintillans* e *Fibrocapsa japonica*

La salinità è un elemento importante nel definire i campi di densità e stratificazione ed è un ottimo tracciante per analizzare la distribuzione degli inquinanti veicolati dai bacini. Valori di salinità bassa sono il risultato di elevate quantità di acque dolci immesse in ambiente marino dai bacini costieri. Per effetto di questi apporti i valori di salinità delle acque si mantengono bassi lungo tutta la costa con valori medi sotto dei 30 psu; valori molto bassi risultavano soprattutto nella zona nord; in particolare nel tratto costiero, dai 500 m ai 3 km dove si possono osservare importanti riduzioni di salinità.

La temperatura delle acque superficiali, mostra un tipico andamento sinusoidale con valori minimi nei mesi invernali che aumentano raggiungendo i massimi nel periodo estivo. I valori di fondo generalmente mantengono un andamento più lineare con un'attenuazione dei valori estremi sia minimi che massimi soprattutto a largo.

Il riscaldamento delle acque superficiali durante l'estate contribuisce alla formazione di termoclini più o meno marcati che comportano variabilità elevata del parametro tra gli strati superficiali e di fondo. Nel periodo estivo si ha solitamente una stratificazione importante lungo la colonna, con escursioni termiche elevate.

### **3.3.2 Le correnti**

In una zona costiera dove l'influenza degli apporti fluviali è dominante e la stratificazione in temperatura è rilevante, l'informazione del campo di temperatura e salinità può essere tradotta in quella del campo di velocità associato alle correnti cosiddette "geostrofiche". La parola viene dal greco e significa "terra che gira": infatti per ottenere una relazione tra temperatura, salinità e correnti si suppone che i gradienti di temperatura e salinità inducano un campo di velocità che risente degli effetti della rotazione terrestre. Questo bilancio impone che nell'emisfero nord la circolazione sia antioraria attorno alle zone di bassa pressione, ovvero ciclonica, mentre al contrario attorno alle zone di alta pressione la circolazione sia oraria, ovvero anticiclonica.

La struttura più importante che emerge per tutti i mesi, anche se con diversa intensità, è una separazione netta dei regimi di circolazione tra la regione a nord e a sud dell'area tra Ravenna e Lido Adriano. In generale si può dire che la circolazione a nord di Ravenna sia molto variabile durante l'anno e sia rovesciata in direzione tra l'inverno e l'estate, mentre a sud la corrente, pressoché invariata in direzione durante l'anno, sia generalmente verso sud. Nella regione centrale attorno a Ravenna le correnti possono essere deboli e verso il largo (come nel caso di gennaio e dicembre) o deboli ma verso costa (come nel caso di settembre e ottobre). La circolazione a Nord di Ravenna è caratterizzata da un campo di velocità diretto verso il largo sotto la foce del Po (nella zona antistante il Lido di Volano e il Lido delle Nazioni) che si richiude a nord di Ravenna con correnti verso costa. Queste due correnti opposte sono generalmente disconnesse ma ci sono mesi, quali quelli di aprile, maggio, giugno, dove si può chiaramente vedere che le correnti verso il largo e verso costa si connettono, quasi chiudendosi ad anello, producendo lungo la batimetria dei 10-20 metri una corrente verso sud.

Questo anello è comunemente chiamato vortice in oceanografia ed in particolare in questo caso, vortice anticiclonico (Montanari *et al.*, 2006).

Tale vortice è sempre presente e la circolazione assume dei cambiamenti repentini in direzione nei vari mesi. Tra febbraio e marzo la corrente in questa area ha direzioni opposte, indicando ancora una volta un regime idrodinamico assai variabile ed instabile.

Data l'importanza che questo tipo di circolazione può avere per i fenomeni eutrofici della zona costiera è necessario concentrarsi sulla circolazione dei mesi estivi di luglio, agosto e settembre.

A luglio e settembre le correnti sono generalmente verso costa e limitano una zona di alta temperatura e bassa salinità che naturalmente può condurre a fenomeni distrofici, non rari in queste aree. Questa circolazione può essere vista come il bordo del vortice che è però così accostato che non riesce a chiudersi lungo la costa. Il vortice tende a confinare le acque calde e poco salate e la circolazione in agosto è leggermente più “aperta” ovvero di scambio tra la costa ed il mare aperto, ma persiste una condizione di confinamento delle acque di tipo fluviale e ad alta temperatura verso la costa. Nella zona a sud di Ravenna e Lido Adriano le correnti sono generalmente verso sud e dell’ordine di 5-10 cm/sec tutto l’anno. È questa un segmento della famosa corrente del nord Adriatico, chiamata WACC che persiste tutto l’anno raggiungendo la massima intensità tra novembre e gennaio (questi massimi di corrente non si rilevano lungo la costa ma su una batimetria di 20–30 metri, circa 20–30 km da costa facendo sì che si formino delle zone di “ricircolo” ovvero di corrente vicino a costa con direzione verso nord).

Questo segmento di corrente è disconnesso dalla circolazione a nord di Ravenna eccetto che in novembre, settembre, agosto, giugno e febbraio, dove la corrente sembra formare un’ unica struttura a curve alternanti (o meandri), occludendo da un certo punto di vista la zona costiera dagli scambi con il mare aperto. Nella stessa area a sud di Ravenna vi sono mesi dove la componente della corrente lungo costa è decisamente molto debole (marzo e luglio) mentre la componente perpendicolare alla costa è molto forte come nel caso di maggio, luglio, agosto e settembre.

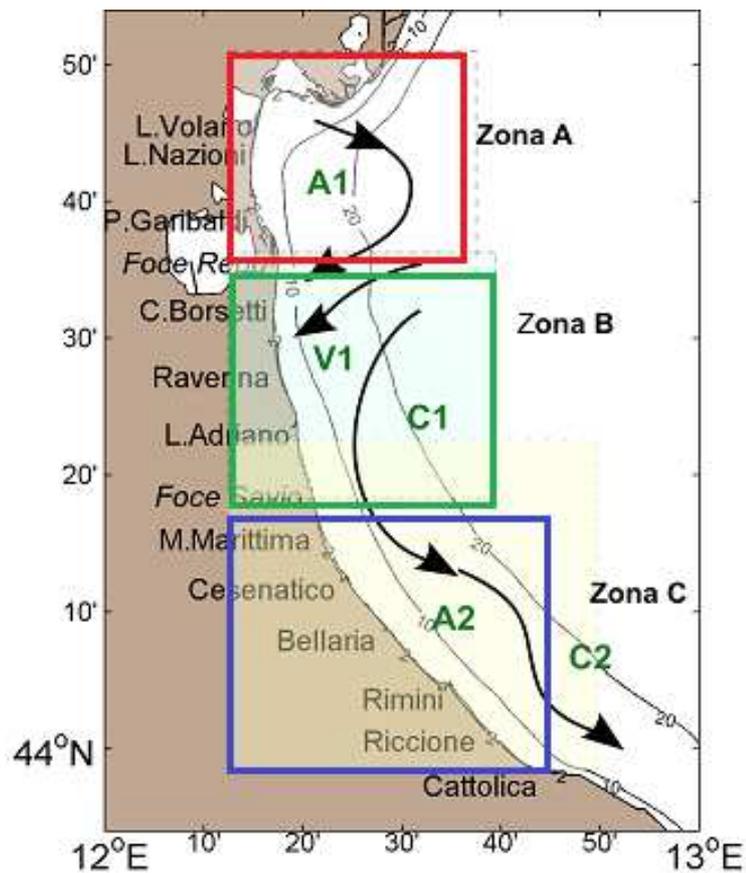
Questa circolazione è indicativa di dinamiche di ‘downwelling’ lungo la costa, tipiche del regime di venti di questa area. Infatti, il vento di Bora induce fenomeni di accumulo delle acque verso costa, seguiti da processi di sprofondamento e susseguente movimento verso il largo delle acque sul fondo.

In **Figura 13** è riportato uno schema che mette in rilievo le tre aree, caratterizzate anche da sistemi di circolazione diversi, una a nord di Ravenna (area A) , una seconda centrata attorno a Ravenna fino a Lido Adriano (zona B) e la terza a sud di Lido Adriano (area C). Nella zona A esiste un vortice anticiclonico (chiamato A1 nella **Figura 13**) più o meno sviluppato nei vari mesi dell’anno. Nei mesi di aprile, maggio, agosto, novembre e dicembre il vortice è ben sviluppato ed è addossato alla costa. Questo accostamento alla linea di costa lascia evidente solo una corrente verso Sud con un meandro che rappresenta il lato orientale del vortice.

Nella zona B invece la corrente è quasi sempre diretta verso costa (regime V1 nella **Figura 13**), fatta eccezione per i mesi di maggio, giugno, luglio e agosto dove la corrente

è verso il largo. Questa regione è quella di transizione tra il regime anticiclonico prevalente a nord e quello della corrente intensificata verso sud. L'ipotesi che emerge dall'analisi di queste distribuzioni è che il vortice anticiclonico a nord, essendo più o meno sviluppato durante i diversi mesi dell'anno, possa creare situazioni idrodinamiche diverse che dipendono in larga parte dalla prossimità del vortice alla costa. Qui si può notare come Ravenna faccia da "separatrice di corrente", infatti la variabilità delle correnti costiere indotte dai gradienti termici e associata alla salinità dell'acqua, è molto accentuata nella zona a nord della città, mentre la zona sud è caratterizzata da correnti pressoché permanenti verso sud.

La zona C è invece assai più stabile dal punto di vista delle strutture (Montanari *et al.*, 2006).



**Figura 13: Circolazione climatologica dell'Emilia Romagna in superficie**

### **3.4 La rete di monitoraggio**

Con un'estensione che va, procedendo da nord verso sud, da Lido di Volano a Cattolica, la rete di monitoraggio ARPA ER copre l'intero tratto di costa emiliano-romagnolo. Con il supporto operativo del battello oceanografico Daphne II, l'attività viene svolta lungo 34 stazioni che vanno da 500 metri a 20 chilometri dalla costa.

Ciascuna stazione è individuata da un codice identificativo, il quale esprime due informazioni fondamentali:

- il transetto di appartenenza (indicata dalle ultime cifre del codice, che coincidono con il codice della stazione a 0.5 km);
- la distanza da costa (indicata dalle cifre anteposte al codice della stazione a 0.5 km).

In **Figura 14** si può vedere chiaramente come il litorale venga suddiviso in tre zone:

- la zona A: rappresenta il tratto di costa più settentrionale, si estende dal Lido di Volano a Casalborgorsetti;
- la zona B: ricopre l'area centrale della costa dell'Emilia Romagna interessando il tratto di mare compreso tra Ravenna e Milano Marittima;
- la zona C: da Cesenatico a Cattolica, la zona più meridionale estesa fino al confine con le Marche.

L'area comprende otto transetti di 3 km, cinque transetti di 10 km e due direttrici di 20 km caratterizzati da 34 stazioni di misura e 29 stazioni di campionamento nutrienti con una profondità che varia dai 3 ai 26 metri; in questo modo settimanalmente viene controllata un'area vasta  $1200 \text{ km}^2$ .

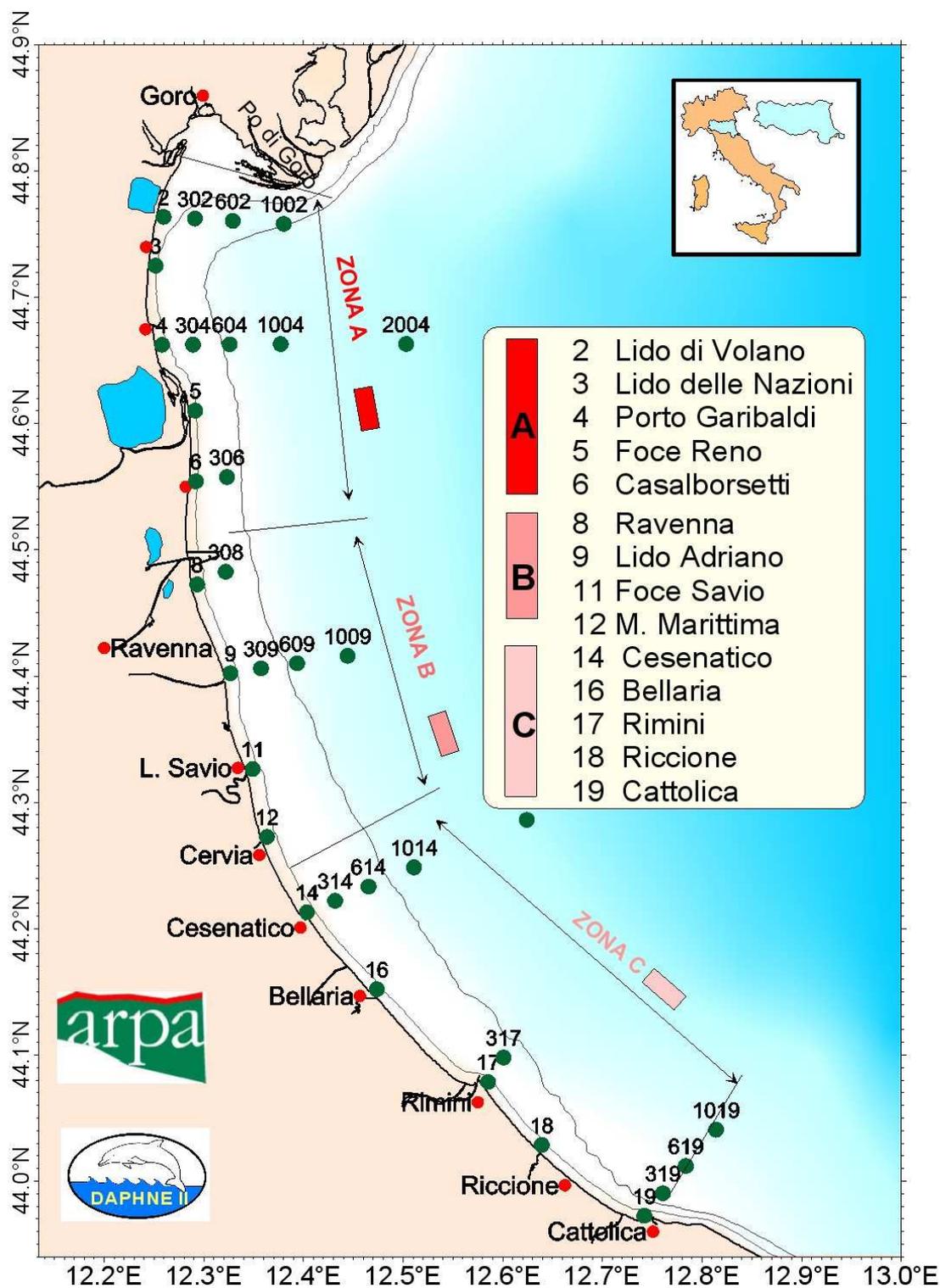


Figura 14: La rete di monitoraggio ARPA Emilia Romagna

## 4 MATERIALI E METODI

### 4.1 Acquisizione ed organizzazione dei dati pregressi

Il primo passo svolto, al fine di ottenere il maggior numero di dati possibili, è stato quello di acquisire, attraverso le registrazioni video effettuate con telecamera filoguidata, i dati pregressi degli anni oggetto di studio.

La scala di valutazione assegnata agli aggregati mucillaginosi è mostrata in **Tabella 1**:

STATO DI AGGREGAZIONE	VALORE NUMERICO ASSEGNATO
Assenza	0
Fiocchi / Neve marina	1
Macrofiocchi	2
Filamenti	3
Nastri	4
Reticoli / Ragnatele	5
Nubi	6

**Tabella 1: Stati di aggregazione del materiale mucillaginoso e relativo valore numerico**

Le schede (**Figura 15**) sono di rapida compilazione ed interpretazione. Dopo aver inserito la data, il codice della stazione monitorata e la sua profondità, ovviamente già nota, si assegna, all'eventuale aggregato presente, uno dei valori presenti in **Tabella 1**. Ad ogni profondità, espressa in metri, si abbina dunque il valore che ne identifica lo stato di aggregazione; è comunque buona prassi, aggiungere eventuali note alla scheda al fine di fornire a chi la consulta, la minor perdita di informazione. Assegnare infatti un livello 1, indicando quindi la presenza di neve marina, risulta corretto sia nel caso in cui ci siano pochi fiocchi radi sia nel caso in cui la presenza di neve marina sia molto intensa. Anche indicare la torbidità delle acque, comunque sempre rilevata attraverso il disco di Secchi e registrata dal personale di bordo, risulta molto importante al fine di comprendere quanto la qualità delle immagini fornite dalla telecamera filoguidata, in termini di visibilità, sia attendibile.

Nella scheda predisposta è anche richiesta l'indicazione della profondità del termocline, importante in quanto la temperatura subisce un rapido cambiamento, ovvero presenta una marcata variazione del gradiente termico che influisce sulla disposizione dell'aggregato.

Durante la stagione estiva, le acque superficiali si riscaldano e contribuiscono alla formazione di termoclini più o meno marcati che comportano una elevata variabilità tra gli strati più superficiali e quelli di fondo ed è quindi molto importante identificare il suo valore.

Struttura Oceanografica Daphne					
Scheda di rilevazione aggregati mucillagine				Data 05/07/2005	
Codice Stazione	Termoclino	Profondità (m)	Stato aggregazione mucillagine	Profondità addensamento	Note
2014	10 m	0	0		acqua torbida
		1	0		
		2	0		
Ora		3	0		
		4	0		
10:38		5	0		
		6	0		
		7	1		focchi radi
Profondità		8	1		
		9	1		
22 metri		10	3		
		11	3		
		12	3		
		13	3		
		14	3		
		15	1		
		16	1		
		17	1		
		18	1		
		19	0		
		20	0		
		21	0		
		22	0		
		23			
		24			
		25			
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
				Responsabile Rilevazione	

**Figura 15: Esempio di scheda di rilevazione degli aggregati**

E'consigliabile anche indicare l'orario del monitoraggio; si cerca infatti di effettuare le riprese sottomarine sempre intorno allo stesso orario per mantenere la confrontabilità dei dati acquisiti.

Le operazioni fin qui descritte vengono compilate direttamente a bordo ed in tempo reale. Terminata la compilazione delle schede si è passati alla digitalizzazione dei dati al fine di poterli analizzare in future analisi a fini statistici e/o per rappresentazioni grafiche che ne permettano una più rapida e semplice interpretazione.

Ai dati pregressi riguardanti lo stato degli aggregati mucilluginosi sono stati affiancati quelli riguardanti la temperatura, espressa in gradi centigradi, la salinità, in psu (Practical Salinity Units), e la clorofilla "a", in µg/l.

## **4.2 La motonave Daphne II**

La Struttura Oceanografica Daphne è una delle sezioni operative dell'Azienda Regionale Prevenzione e Ambiente (ARPA) dell'Emilia Romagna. La sua sede operativa si trova a Cesenatico presso il Centro di Ricerche Marine. Questa Struttura Oceanografica è attiva fin dal 1977 in seguito alla Legge Regionale n.39, "Interventi per la ricerca ambientale, norme per l'esercizio della Motonave Daphne", con cui vennero istituite e disciplinate le attività di monitoraggio e di ricerca delle acque marino-costiere prospicienti la Regione. Essa venne istituita a seguito delle emergenze ambientali dovute ai processi di eutrofizzazione dell'Adriatico con l'obiettivo di presidiare, controllare e tutelare le risorse naturali marine, sviluppando conoscenze, informazioni e interpretazioni delle dinamiche e delle caratteristiche qualitative dell'ecosistema marino utili per i soggetti, sia pubblici che privati, coinvolti nei processi di miglioramento e sostenibilità delle relazioni tra ambiente, salute e sviluppo.

La sua attività di studio è orientata prevalentemente verso il controllo dei fenomeni di eutrofizzazione e dei processi di formazione degli aggregati mucillaginosi e delle loro cause, la verifica dello stato di salute dell'ecosistema bentonico e delle risorse ittiche oltre che al rispetto degli adempimenti dettati dalle leggi nazionali.

L'attività prevalente della Struttura Oceanografica Daphne comprende il monitoraggio effettuato a frequenza settimanale sull'eutrofizzazione delle acque costiere regionali, finalizzato a:

- definire l'intensità e l'estensione delle fioriture microalgali;
- determinare qualitativamente e quantitativamente le specie fitoplanctoniche che sostengono i blooms algali;
- controllare le distrofie conseguenti ai processi di eutrofizzazione;
- individuare e determinare gli elementi causali e i fattori limitanti tali processi;
- rilevare i principali parametri fisico-chimici e il loro andamento lungo la colonna d'acqua.

Questo monitoraggio ha permesso la predisposizione di una banca dati informatizzata continuamente aggiornata. Tale banca dati, che comprende tutte le stazioni del reticolo del monitoraggio costiero (vedi paragrafo 3.4), rappresenta un patrimonio unico a livello del Mediterraneo, sia come periodicità di rilevazione ed informazione sul territorio che come contenuto delle variabili ambientali.

I dati vengono raccolti settimanalmente con la Motonave Daphne II (**Figura 16**) in circa 40 stazioni disposte lungo 14 direttrici perpendicolari a costa mediante il posizionamento con GPS (vedi **Figura 14**).



**Figura 16: La Motonave Daphne II in navigazione**

La motonave Daphne II è un battello oceanografico attrezzato per compiere controlli e studi sull'ecosistema marino e sulla qualità delle acque. Essa dispone di un locale laboratorio dove sono installati la strumentazione scientifica e i mezzi adibiti al pre-trattamento (filtrazione e fissazione) e alla refrigerazione dei campioni raccolti. Nel laboratorio è presente anche un fluorimetro predisposto per la misura della clorofilla "a". La strumentazione scientifica è costituita da una sonda multiparametrica e da una telecamera filoguidata (vedi paragrafo 4.3). Il battello è dotato anche di: correntometro a lettura diretta; correntometri a registrazione per misure a medio-lungo periodo; benne e carotiere per campionare il sedimento; bottiglia "Niskin" per prelievi di acqua alle diverse profondità; rete, sorbona e draga per il campionamento di organismi bentonici; bombole, compressore e adeguate attrezzature per le attività subacquee; telecamera e macchine fotografiche predisposte alla fotodocumentazione in ambiente subacqueo (Simoncelli, 2002).

Si intuisce dunque come Daphne II sia un vero e proprio laboratorio in mare.

Lo scafo è dotato di una carena adatta ai bassi fondali mentre sul ponte è installato un verricello idraulico con cavo in acciaio e a poppavia un arco, dotato di due bracci laterali e uno centrale, per il recupero e la posa degli strumenti oceanografici descritti.

La sovrastruttura comprende la timoniera e il locale laboratorio mentre la timoniera è dotata di: radar, pilota automatico, ecoscandaglio, GPS cartografico, radiotelefoni SSB, VHF e CB.

Nel laboratorio sono installati la strumentazione scientifica e i mezzi adibiti al pretrattamento ed alla refrigerazione dei campioni raccolti.

Le principali caratteristiche e dimensioni della motonave Daphne II sono elencate in **Tabella 2**.

<b>lunghezza fuori tutto</b>	<b>17,25 m</b>
<b>lunghezza al galleggiamento</b>	<b>13,50 m</b>
<b>larghezza fuori tutto</b>	<b>4,70 m</b>
<b>altezza di costruzione</b>	<b>2,35 m</b>
<b>immersione a pieno carico</b>	<b>1,30 m</b>
<b>Dislocamento</b>	<b>24 t</b>
<b>potenza apparato motore</b>	<b>2x470 CV</b>
<b>velocità di crociera</b>	<b>20 nodi</b>
<b>capacità serbatoi nafta</b>	<b>5,00 t</b>
<b>capacità serbatoio acqua</b>	<b>0,70 t</b>
<b>Equipaggio</b>	<b>2 persone</b>
<b>imbarco tecnici</b>	<b>10 persone</b>

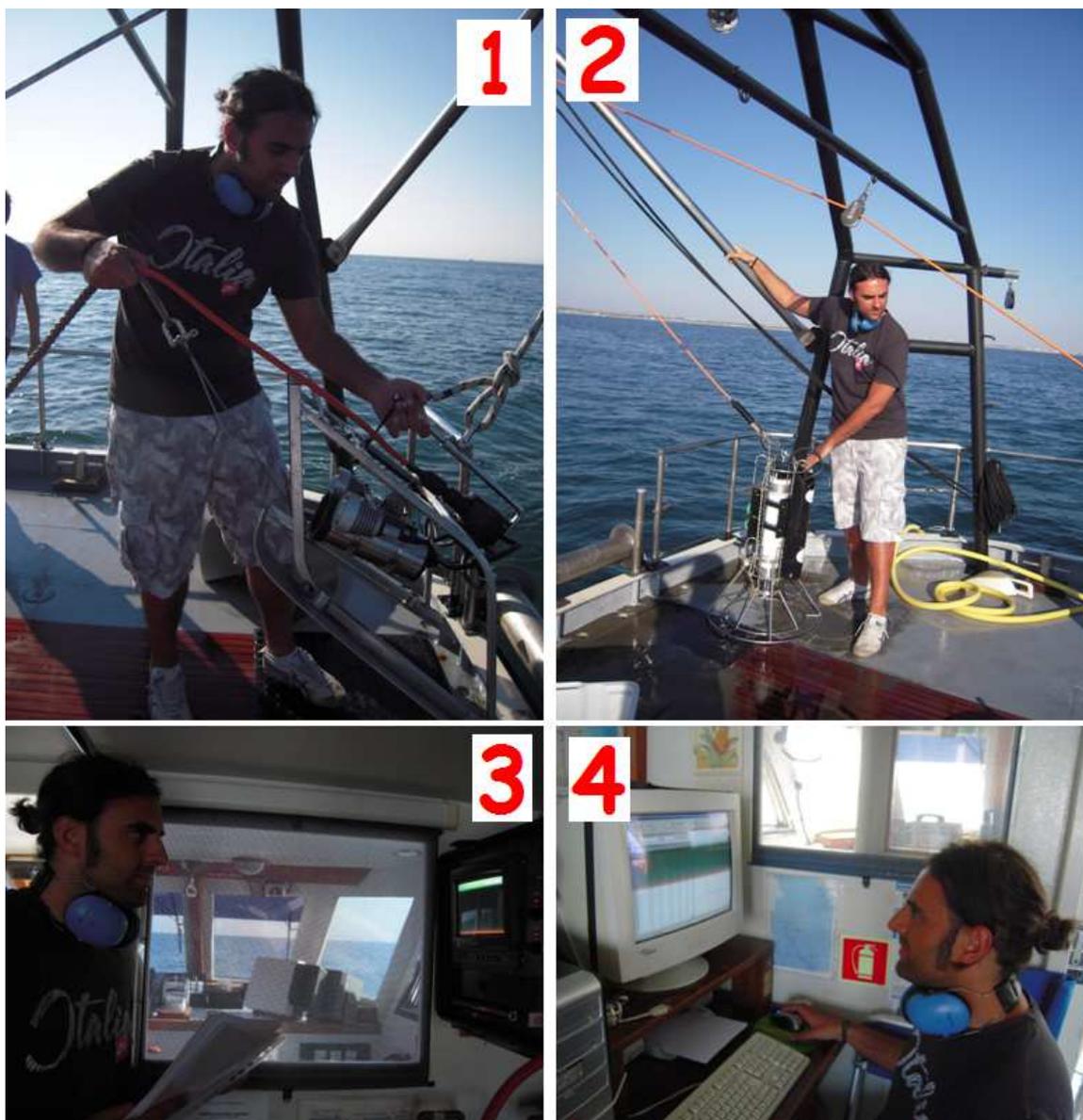
**Tabella 2:** Caratteristiche e dimensioni del battello oceanografico Daphne II

### **4.3 Tecniche di rilevamento**

Il monitoraggio ricopre tutte le stazioni prestabilite in due giorni successivi, un giorno la motonave Daphne II si muove a Nord di Cesenatico, il giorno successivo in direzione Sud. Il posizionamento del battello nei vari punti avviene con l'ausilio del GPS.

Al raggiungimento della stazione le tecniche di rilevamento si dividono in due fasi: la prima fase prevede l'utilizzo della telecamera al fine di individuare la presenza o l'assenza di eventuali aggregati mucilluginosi oltre alla loro dimensione e morfologia; la seconda fase, svolta grazie all'ausilio della sonda multiparametrica, è finalizzata alla raccolta dei parametri chimico fisici. La telecamera subacquea filoguidata consente di visualizzare direttamente su monitor e memorizzare le immagini relative allo stato di aggregazione di eventuale materiale

mucillaginoso presente lungo la colonna d'acqua; è montata su slitte e può essere trainata sul fondo per documentare le biocenosi e gli effetti di eventi anossici sulla fauna bentonica.



**Figura 17: Operazioni di monitoraggio a bordo della Daphne II: Messa in mare della telecamera filoguidata (1) e della sonda multiparametrica (2), visione delle riprese sottomarine (3), digitalizzazione dei dati raccolti (4)**

La sonda è uno strumento ottimale per l'analisi di profili verticali essendo dotata di elettrodi per la determinazione dei valori di :

- temperatura,
- salinità,
- pH,

- ossigeno disciolto,
- clorofilla “a”,
- torbidità.

Trasmette via cavo le informazioni acquisite a una centralina comprendente il sistema di visualizzazione dei profili verticali, di registrazione e di tabulazione dei dati (Simoncelli, 2002).

#### **4.4 La scelta dei transetti**

La scelta dei transetti si prefigge lo scopo di coprire interamente l’area di studio. Per tale motivo sono stati selezionati quattro transetti che, da nord verso sud, sono:

- il transetto 4: il più settentrionale dei transetti prescelti, si prolunga a partire da Porto Garibaldi;
- il transetto 9: situato a sud del transetto 4, è il primo della coppia dei transetti “centrali” e si sviluppa a partire da Lido Adriano;
- il transetto 14: il secondo dei transetti centrali è posto dinanzi a Cesenatico;
- il transetto 19: è il transetto più meridionale di tutta la rete di monitoraggio ARPA, a largo di Cattolica.

Lungo ogni transetto si sono scelte poi tre stazioni rispettivamente a 3, 6 e 10 chilometri dalla costa.

#### **4.5 Analisi statistica e grafica**

L’analisi statistica è stata effettuata con l’impiego del software Microsoft Excel (utilizzato anche per la digitalizzazione di tutti i dati raccolti) e del programma PRIMER (Plymouth Routines Multivariate Ecological Research, Clarke & Warwick, 1994).

Quest’ultimo è stato utilizzato per la Principal Component Analysis (PCA), un’analisi delle componenti principali tramite una procedura matematica che utilizza una trasformazione ortogonale per convertire una serie di osservazioni di variabili correlate possibilmente in un insieme di valori di variabili, linearmente non correlati, chiamati componenti principali. Il numero di componenti principali è minore o uguale al numero di variabili originali. Questa trasformazione è definita in modo tale che la prima componente principale ha la varianza più grande possibile in percentuale e ciascun

componente a seguire ha la massima varianza relativa possibile purchè sia ortogonale ai componenti precedenti.

Per la rappresentazione grafica dei dati sono stati impiegati il software applicativo Microsoft Excel e Surfer di Golden Software.

## 5 RISULTATI E DISCUSSIONE

### 5.1 Comparazione degli stadi di aggregazione negli anni

Nell'ambito degli eventi mucillaginosi verificatisi negli anni precedenti, si sono scelti 3 anni:

- il 2002 come anno in cui il fenomeno delle mucillagini si è manifestato in modo intenso
- il 2003 come anno in cui gli aggregati hanno fatto la loro comparsa ad un livello intermedio
- il 2005 come anno durante il quale l'Adriatico nord occidentale non è stato interessato da aggregati degni di rilevanza

#### 5.1.1 Analisi del fenomeno – 2002

L'estate del 2002 ha visto il manifestarsi di aggregati mucillaginosi dinanzi alle coste oggetto di studio. La prima individuazione della presenza di mucillagine in fase aggregata è stata effettuata dall'Arpa Struttura Oceanografica Daphne nella zona distante 40 e 50 km dalla costa in data 19 giugno. Tali addensamenti erano presenti lungo la colonna d'acqua e visibili anche dalla superficie. Una visione dettagliata dell'intensità di tale manifestazione si deduce dalla **Figura 18**.

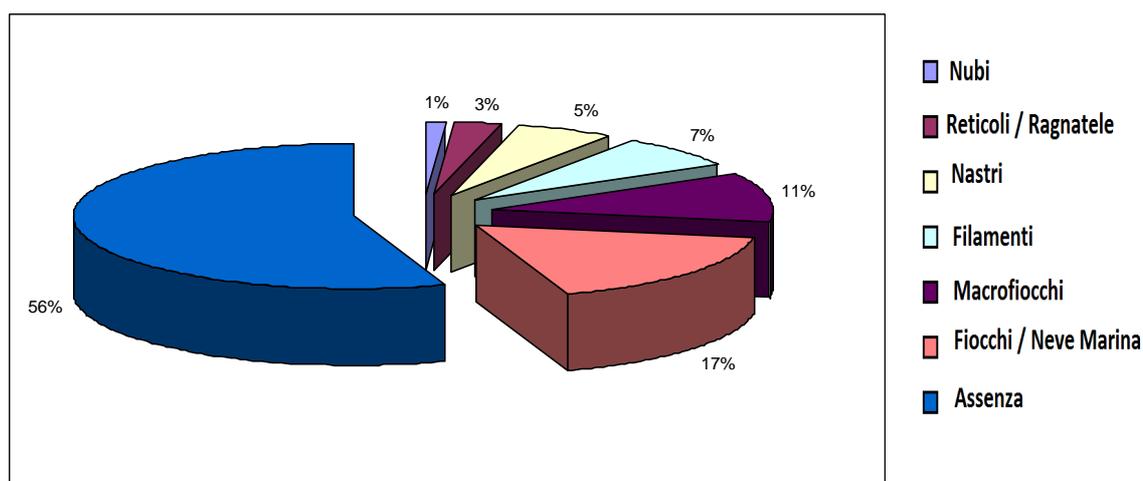
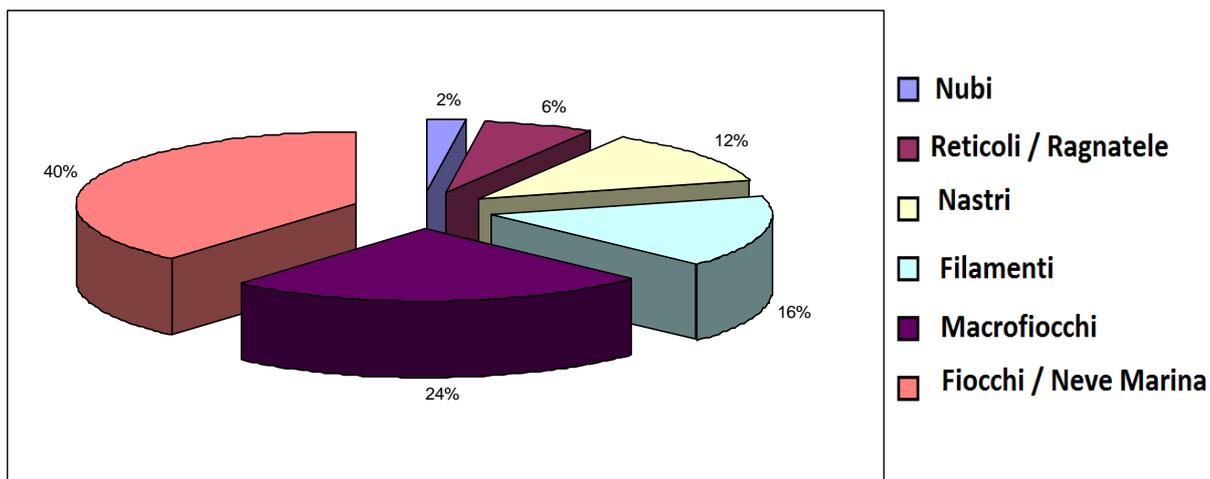


Figura 18: Percentuale dei risultati delle riprese sottomarine

Il 46% delle riprese sottomarine effettuate a mezzo della telecamera filoguidata hanno evidenziato la presenza di aggregati in tutti gli stadi evolutivi, dal più giovane (fiocchi e neve marina) al più vecchio (nubi, spesso sedimentate sul fondo). In **Figura 19** è rappresentata la distribuzione percentuale dei vari stadi.



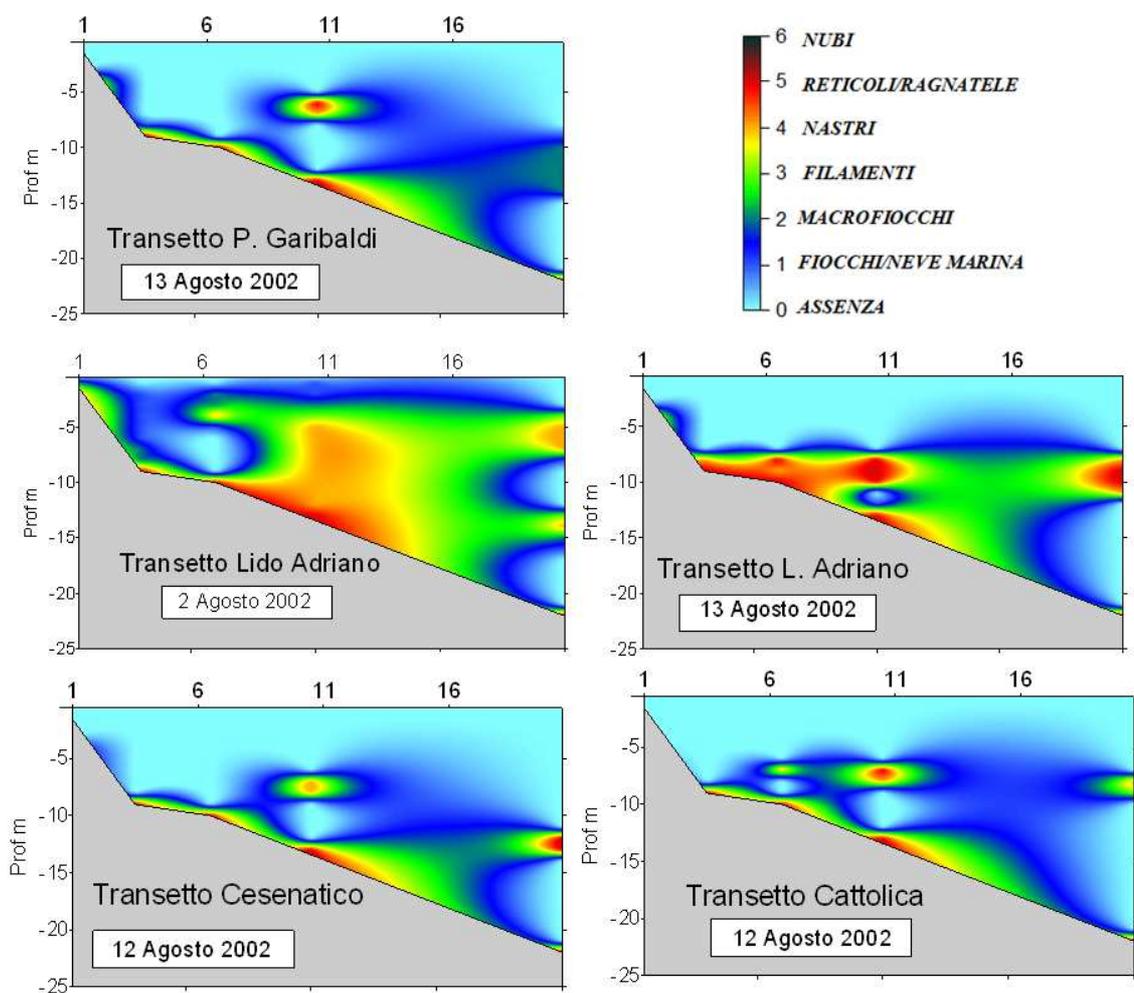
**Figura 19: Valori percentuali degli aggregati mucilluginosi nel periodo Giugno-Agosto 2002**

La colorazione biancastra della mucillagine, la fluidità del materiale e gli elementi che l'avevano generata facevano presupporre che si trattasse di sostanza organica gelatinosa di recente formazione. Grazie all'esame al microscopio ottico si evidenziava la presenza della microalga *Gonyaulax fragilis* che, disaggregandosi, contribuiva appunto alla formazione della mucillagine. Tutto il materiale mucilluginoso si trovava al di sopra del termocline e, in aree circoscritte, tendeva anche ad affiorare.

Nella sua fase iniziale la compattezza del materiale e la sua distribuzione si presentavano in maniera non omogenea.

Alla fine di luglio la mucillagine, pur tendendo progressivamente ad incrementare e ad avvicinarsi verso costa, rimaneva per gran parte distribuita nella colonna d'acqua e verso il fondo: gli affioramenti restavano per lo più sporadici e poco significanti.

La rappresentazione grafica dell'intensità dell'evento su diversi transetti durante le prime settimane di agosto, come mostrato in **Figura 20** rende l'idea di quanto intenso sia stato il fenomeno durante l'estate del 2002.



**Figura 20: Rappresentazione grafica della distribuzione degli stadi di aggregazione (2002)**

La superficie presentava, nei giorni in cui il fenomeno è comparso in maniera più intensa, striature non compatte di mucillagine anche durante lo stato iniziale di aggregazione. Strisce di dimensioni variabili da qualche decina di metri a qualche centinaia di metri erano frequenti soprattutto nella fascia costiera (1-3 km) con tendenza a diradarsi verso il largo. Inoltre, a causa dell'effetto spugna del materiale mucoso, la colorazione della mucillagine passava da biancastra a giallognola per via dell'inglobamento del fitoplancton.

Durante i primi giorni di agosto tutta la colonna d'acqua, da costa fino ad oltre 20 km, presentava aggregati mucilluginosi da 2-3 metri di profondità fino a 10-12 metri sotto forma di reticoli addensati. In questo periodo l'azione del mare mosso causato dal vento di Scirocco impediva la disgregazione del materiale mucoso contribuendo al suo affioramento e confinamento verso costa.

In seguito, le condizioni meteo-marine abbastanza stabili, le temperature elevate e la presenza di nuovo materiale in formazione rappresentavano situazioni che favorivano lo sviluppo del fenomeno in atto.

Sempre in agosto si sono susseguite diverse fasi: in un primo momento gli aggregati tendevano a depositarsi (provocando problemi di anossia sul fondo e inibendo la possibilità di praticare l'attività di pesca con reti da posta), il tutto documentato dalle riprese sottomarine che ci riportano un fondale ricoperto per il 50-60%. Parallelamente nella parte alta della colonna d'acqua si generava nuovo materiale con conseguenti affioramenti che si mescolava con la mucillagine depositata e rimessa in circolazione dai venti di Libeccio che di norma genera fenomeni di "upwelling".

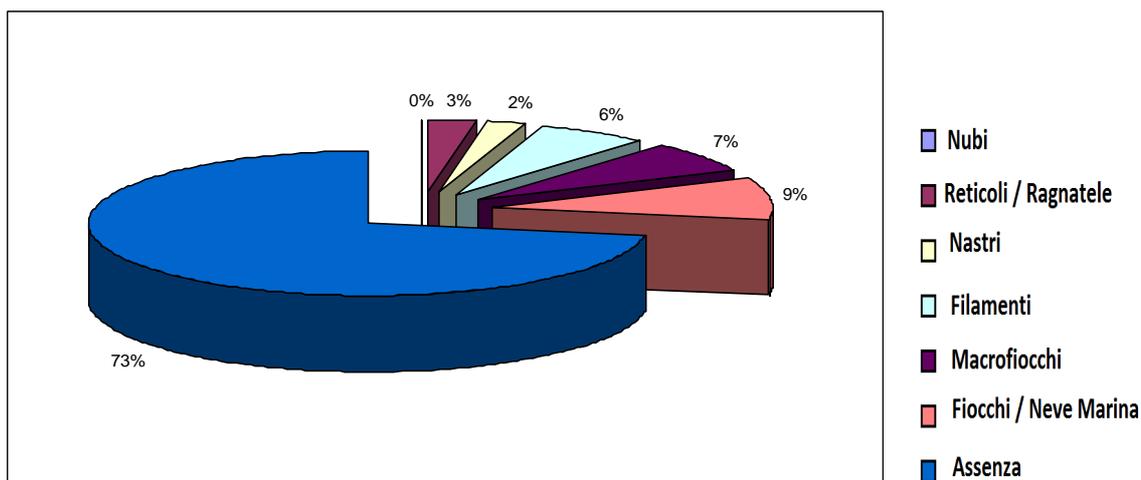
Inoltre, lungo la costa permanevano attivi quei fattori biologici che favoriscono la neoformazione di mucillagine lungo le coste emiliano romagnole quali la crescita di *Gonyaulax fragilis*.

Contemporaneamente a tutto ciò, un intenso processo di eutrofizzazione sostenuto da Diatomee, colorava di verde e marrone le acque attestando i livelli trofici su valori di 3-4 volte superiori al limite di eutrofizzazione; i due fenomeni, agendo in concomitanza, rendevano gli aggregati più consistenti e compatti.

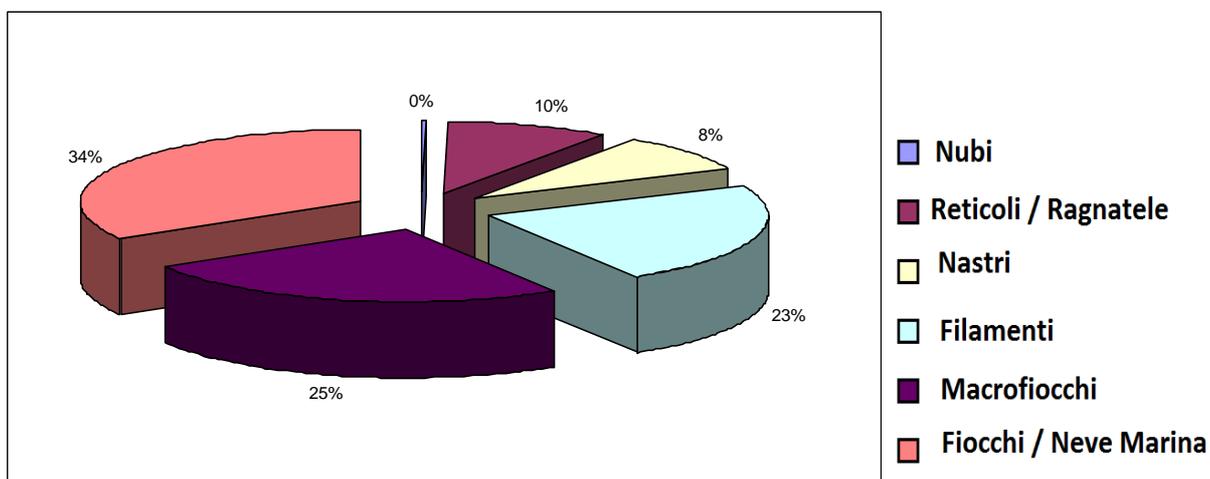
Alla fine di agosto, l'attivazione della circolazione costiera e l'arrivo di alcune perturbazioni, sommati alla modificazione del regime dei venti, portavano progressivamente a spostare verso il largo gli ammassi mucillaginosi disgregandoli e diluendoli verso l'Adriatico centrale: il fenomeno si poteva ritenere concluso (ARPA ER, 2003).

### 5.1.2 Analisi del fenomeno – 2003

Il 2003, anno in cui gli aggregati hanno fatto la loro comparsa ad un livello intermedio, presenta una distribuzione percentuale degli aggregati come riassunto nella **Figura 21** e nella **Figura 22**.



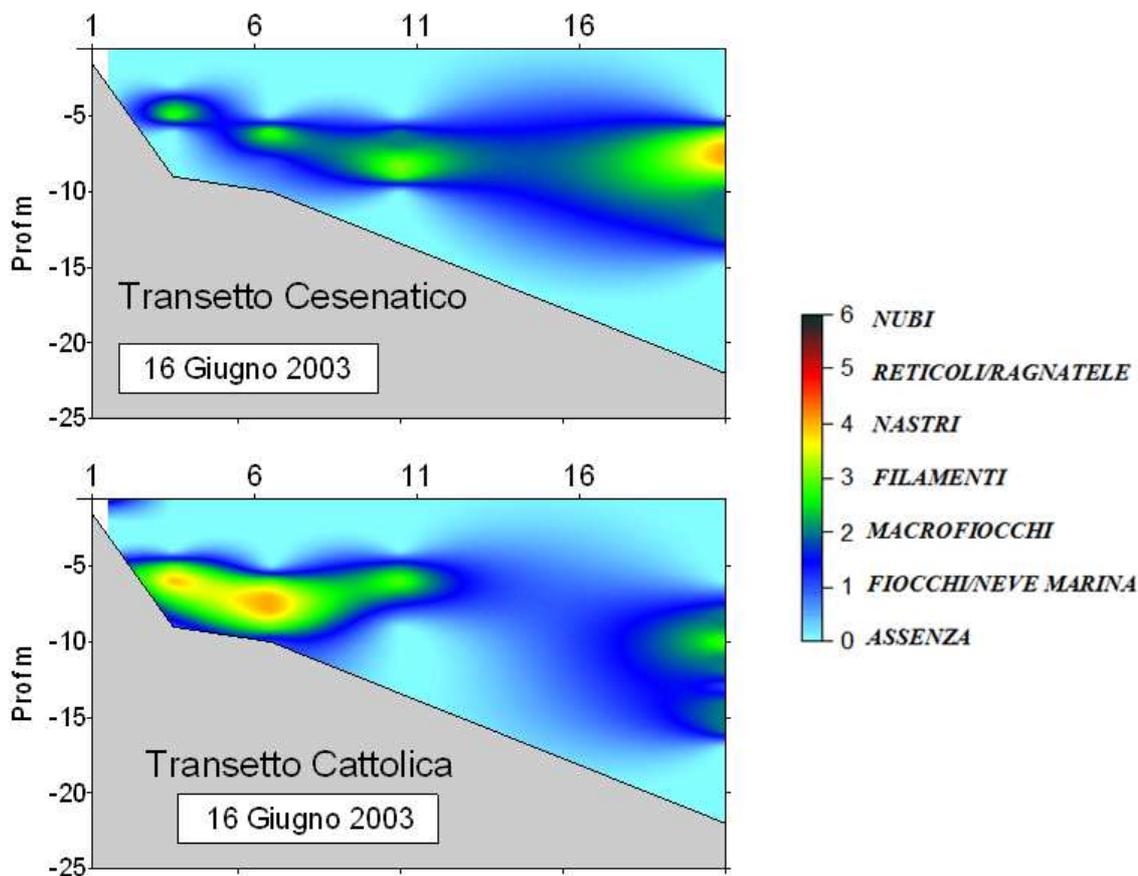
**Figura 21: Percentuale dei risultati delle riprese sottomarine**



**Figura 22: Valori percentuali degli aggregati mucillaginosi nel periodo Giugno – Agosto 2003**

Verso la metà di giugno viene rilevato un processo di sviluppo e di aggregazione della mucillagine. Il materiale mucillaginoso risultava particolarmente addensato a forma di reticoli, filamenti e piccole nuvole, nella zona compresa tra -5 metri e -10 metri di profondità, in corrispondenza del termocline. La mucillagine, in forma aggregata, era

visibile a queste profondità, da circa 1 km fino a 20 km dalla costa ed oltre e risultando più compatta lungo il transetto di Cattolica rispetto a quello di Cesenatico (**Figura 23**).



**Figura 23: Rappresentazione grafica della distribuzione degli stadi di aggregazione lungo il transetto di Cesenatico e di Cattolica (anno 2003)**

L'esame al microscopio ottico della mucillagine e della componente acquosa associata mostrava la presenza della dinoflagellata *Gonyaulax fragilis*.

Nelle stazioni più prossime alla costa (1-10 km), il materiale mucillaginoso da un lato tendeva ad abbassarsi verso il fondale, dall'altro piccole quantità di filamenti si spostavano verso la superficie formando chiazze di gelatina finissima che si disponeva a strisce parallele alla costa.

Nella zona off-shore, nelle stazioni site a 30-50 km dalla costa, l'estate del 2003 è stata caratterizzata da addensamenti di mucillagine lungo la colonna d'acqua, visibili anche dalla superficie, che tendevano a concentrarsi nel fascia compresa tra -5 e -8 metri. Anche qui l'analisi al microscopio ottico ha identificato *Gonyaulax fragilis* come responsabile del fenomeno; la microalga infatti, essudando e/o disaggregandosi, contribuiva alla produzione della mucillagine. Tutto il materiale mucillaginoso si trovava

al di sopra del termocline o in corrispondenza della variazione di temperatura e, in aree circoscritte sia al largo che in costa, tendeva anche ad affiorare. In questa particolare circostanza il fenomeno aveva già superato la fase iniziale in quanto si presentava in forma di reticolo e quindi allo stadio 5 (vedi **Tabella 1**) distribuito su uno strato di colonna limitato ma compatto.

A fine giugno il passaggio di una perturbazione, incrementando il moto ondoso da Nord-Est, contribuiva in maniera netta alla già avviata regressione del materiale causandone un ridimensionamento sia riguardo lo stato di aggregazione che la quota batimetrica di posizionamento. La mucillagine, dunque, si adagiava sul fondale dove si aggiungeva a quella già presente e più datata.

Dopo tale evento le acque superficiali, già tornate trasparenti, venivano definitivamente liberate dal fenomeno grazie all'opera, ai primi di luglio, di un persistente ed intenso Libeccio (Sud-Ovest) che, favorendo un ricambio delle acque costiere, provocava il completo allontanamento verso il largo e verso sud della rimanente mucillagine ponendo definitivamente fine alla presenza di aggregati per l'anno 2003 (ARPA ER, 2004).

### 5.1.3 Analisi del fenomeno – 2005

Nel 2005 gli aggregati mucilluginosi si sono limitati a comparire solo allo stadio di neve marina in maniera sporadica lungo il tratto di mare antistante l'Emilia Romagna.

Da un lato sono mancate le anomalie nella circolazione delle acque che, ad esempio nel 2002 e nel 2003, hanno causato un minore idrodinamismo con conseguenti condizioni di ristagno; dall'altro non è stata trovata la microalga *Gonyaulax fragilis* (la cui presenza è da associare ad essudati mucosi) (ARPA ER, 2006).

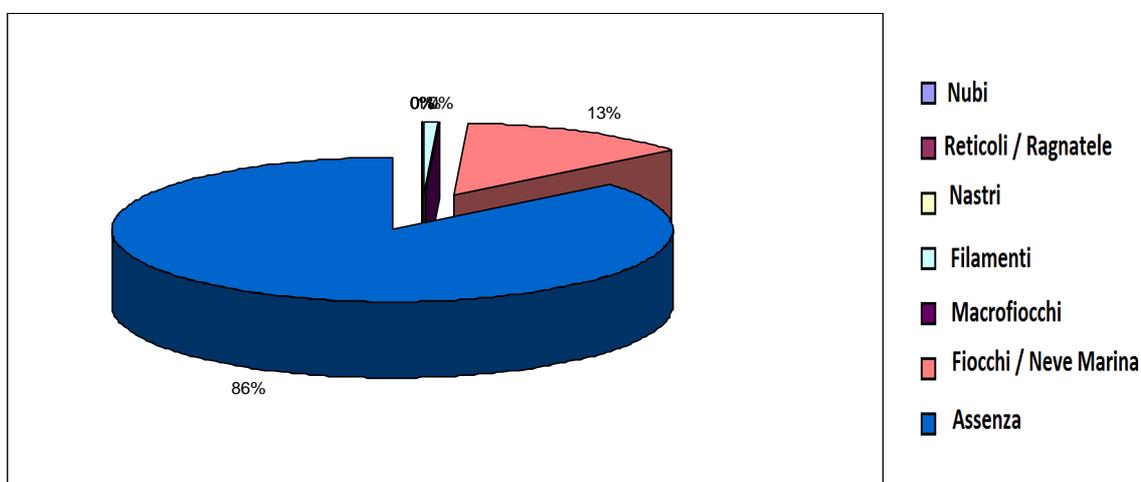
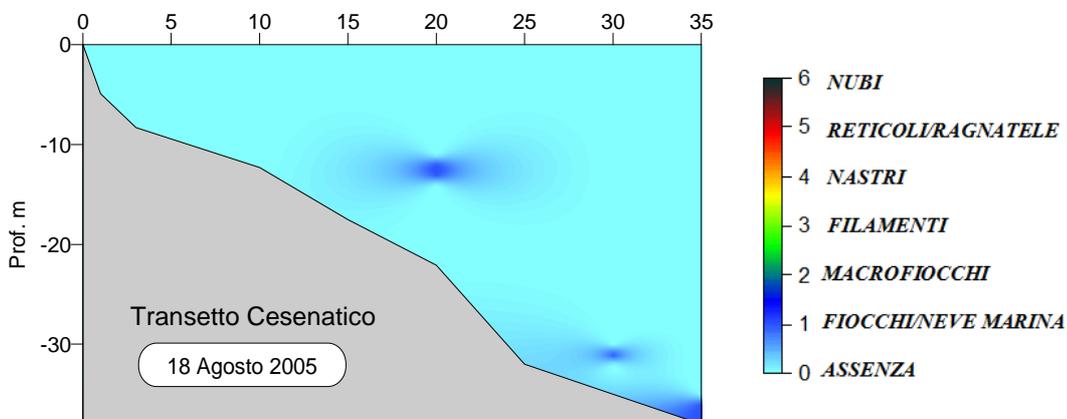


Figura 24: Percentuale dei risultati delle riprese sottomarine

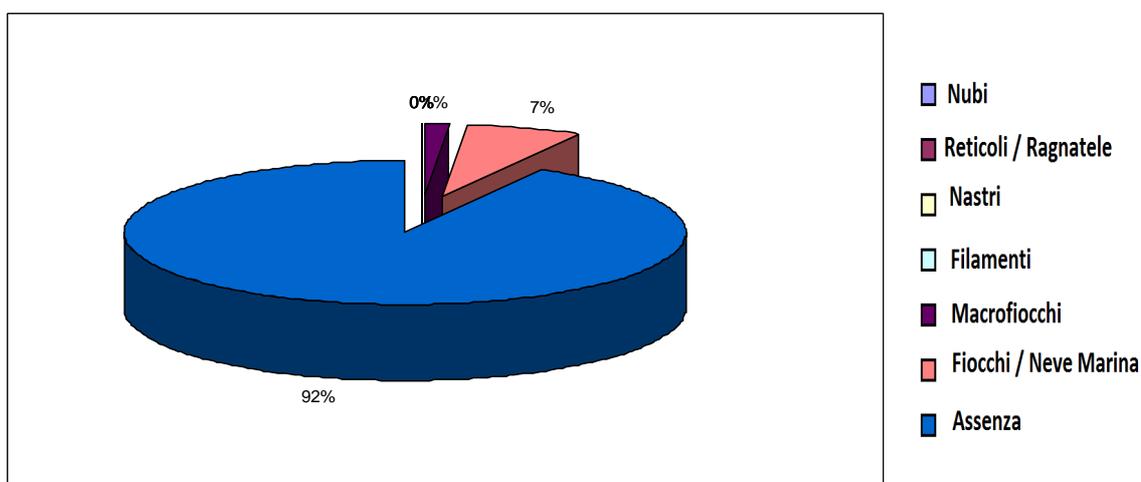
Nell'86% delle riprese sottomarine si riscontrava l'assenza di stadi di aggregazione superiori a quello di neve marina che ha raggiunto il 13% (**Figura 24 e Figura 25**).



**Figura 25: Rappresentazione grafica della distribuzione degli stadi di aggregazione (2005)**

#### **5.1.4 Analisi del fenomeno – 2012**

Le riprese sottomarine effettuate dalla Daphne II a mezzo della telecamera filoguidata, hanno rilevato un'assenza di aggregati accertata del 92%. Tale andamento rende questo anno paragonabile al 2005. Esso ha presentato il 7% di fiocchi e neve marina e l'1% di macrofiocchi (**Figura 26 e Figura 27**).



**Figura 26: Percentuale dei risultati delle riprese sottomarine**

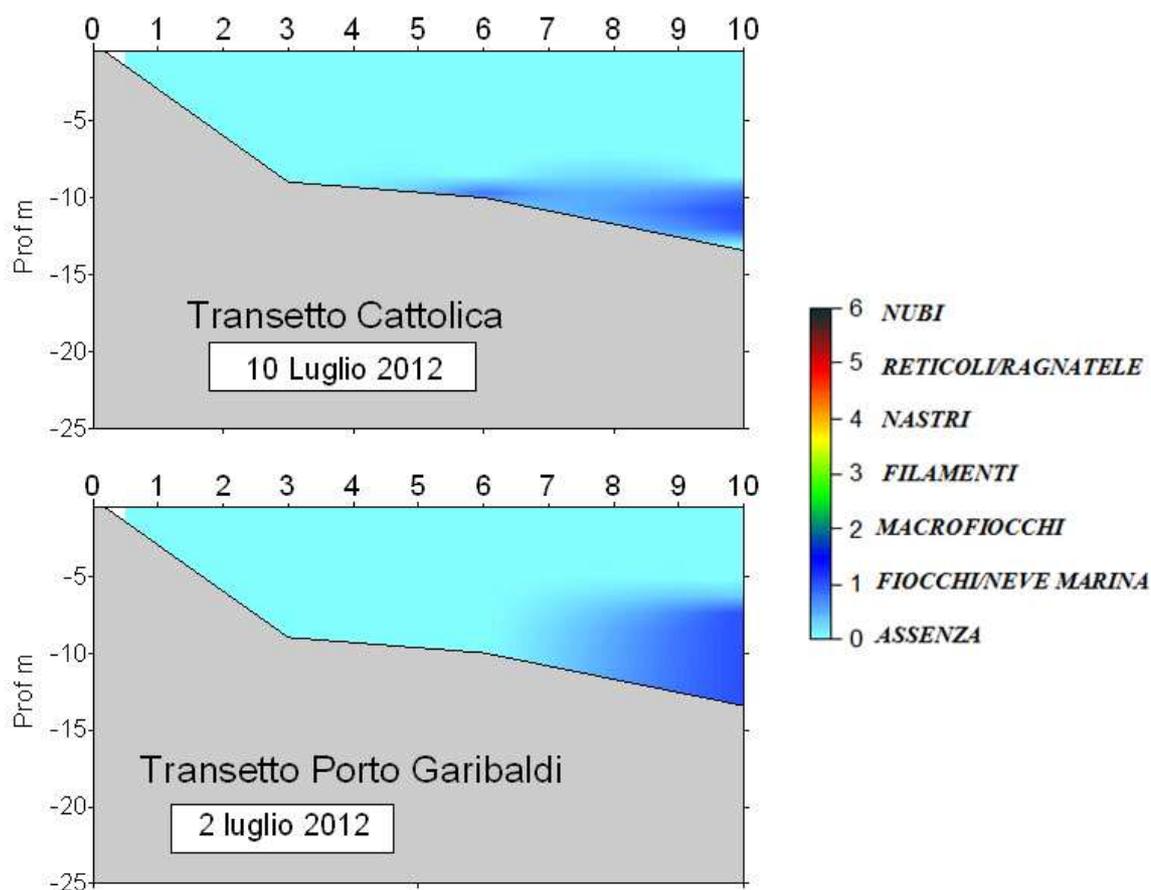


Figura 27: Rappresentazione grafica della distribuzione degli stadi di aggregazione lungo il transetto di Cattolica e di Porto Garibaldi (anno 2012)

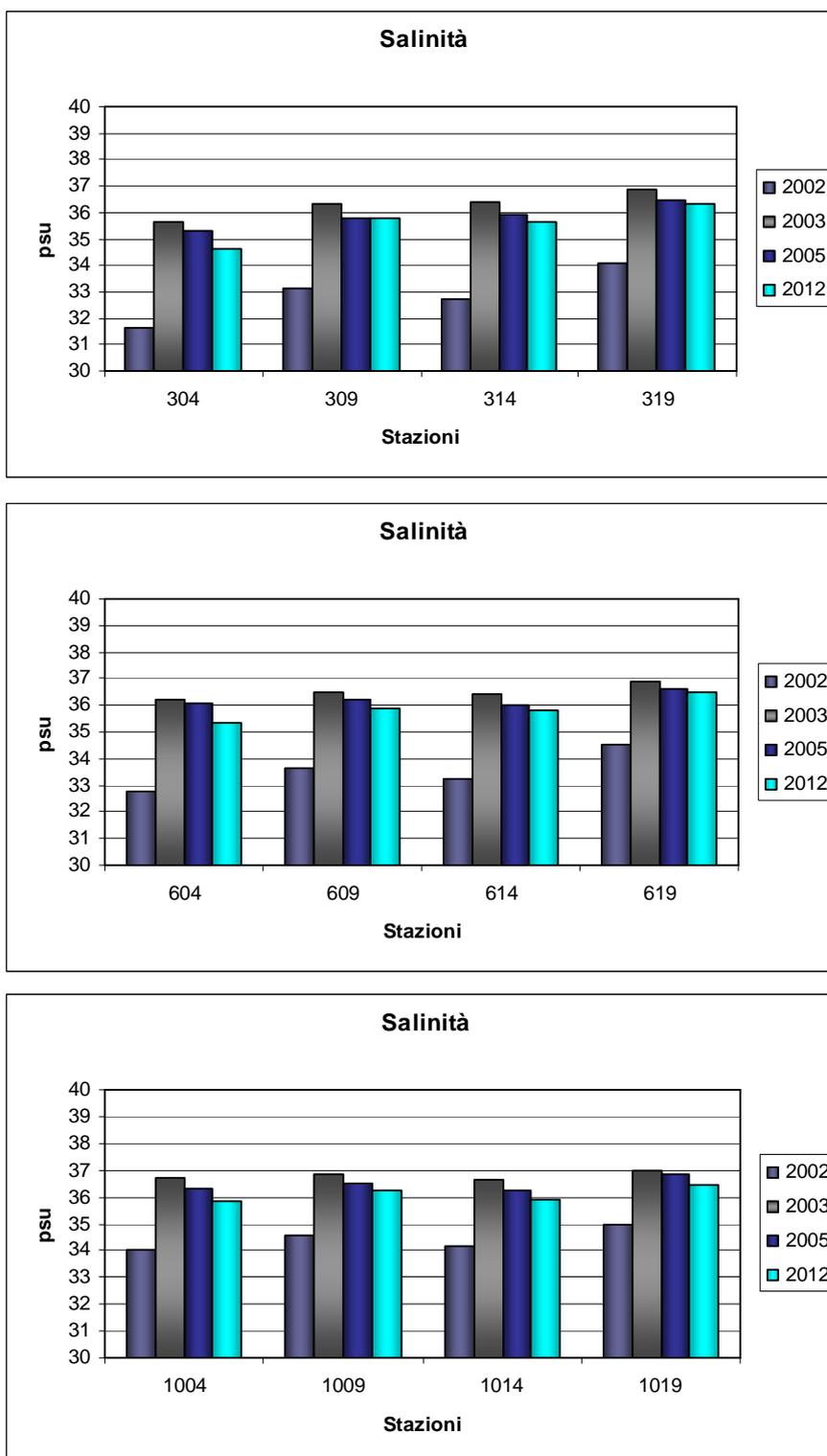
## 5.2 Lo studio dei parametri prescelti

Vengono analizzati tre parametri: salinità, temperatura e clorofilla per valutare la possibile influenza di questi parametri ambientali sulla formazione degli aggregati mucilluginosi.

### 5.2.1 Salinità

La variabilità del parametro nelle acque costiere è correlata ai regimi di portata fluviale, all'azione di mescolamento operata dal moto ondoso, nonché a situazioni idrodinamiche particolari come i processi di upwelling che richiamano in costa acque di fondo a più elevata salinità. Gli andamenti confermano, per tutti gli anni oggetto di studio, un accentuato trend positivo nord-sud. Le stazioni più settentrionali, investite maggiormente

dagli apporti del bacino padano, presentano variazioni più marcate e valori di salinità più bassi rispetto alle altre stazioni (**Figura 28**).



**Figura 28:** Andamento delle medie dei valori di salinità per le stazioni a 3 km (in alto), a 6 km (al centro) ed a 10 km (in basso) dalla costa da nord verso s

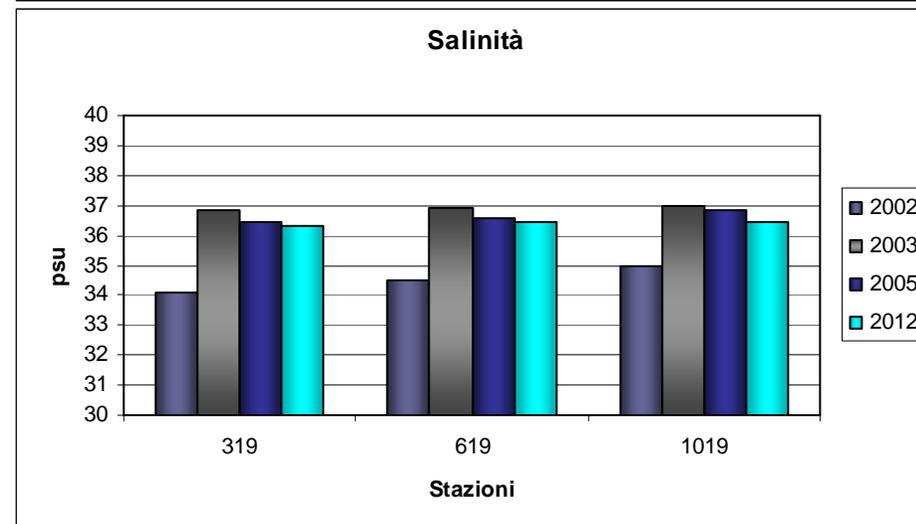
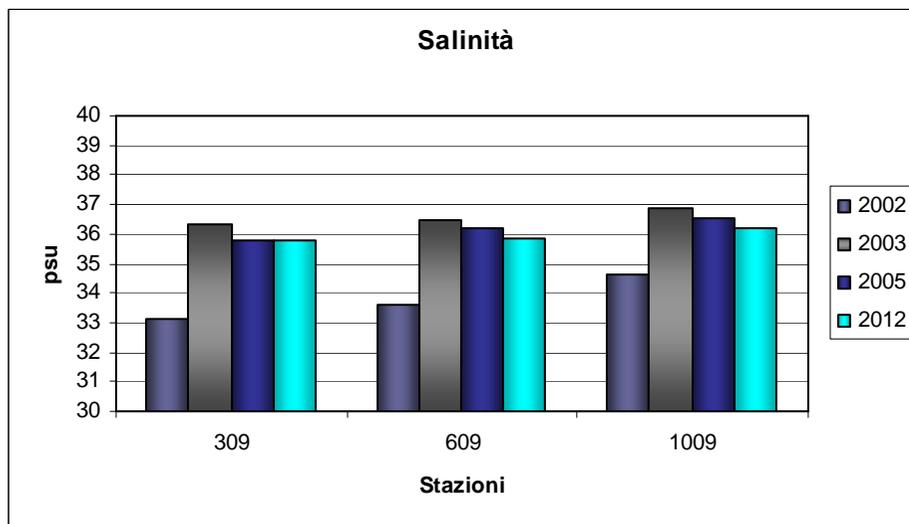
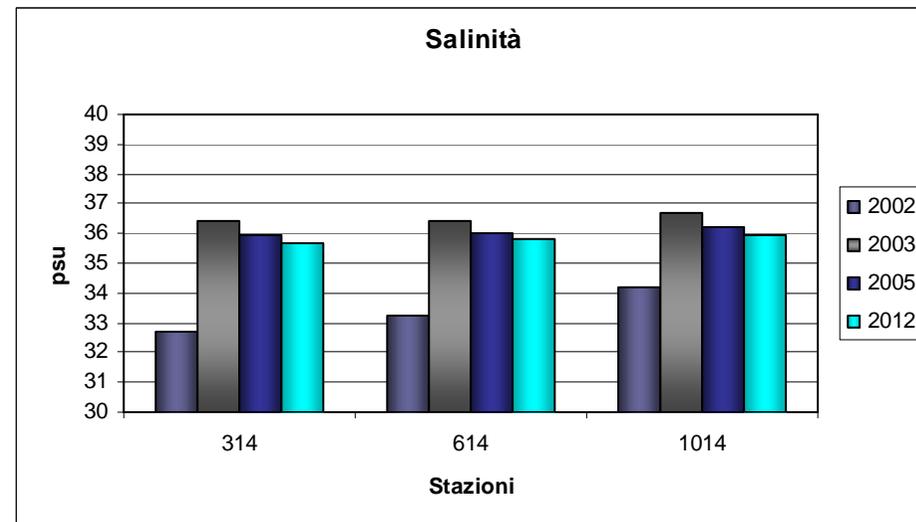
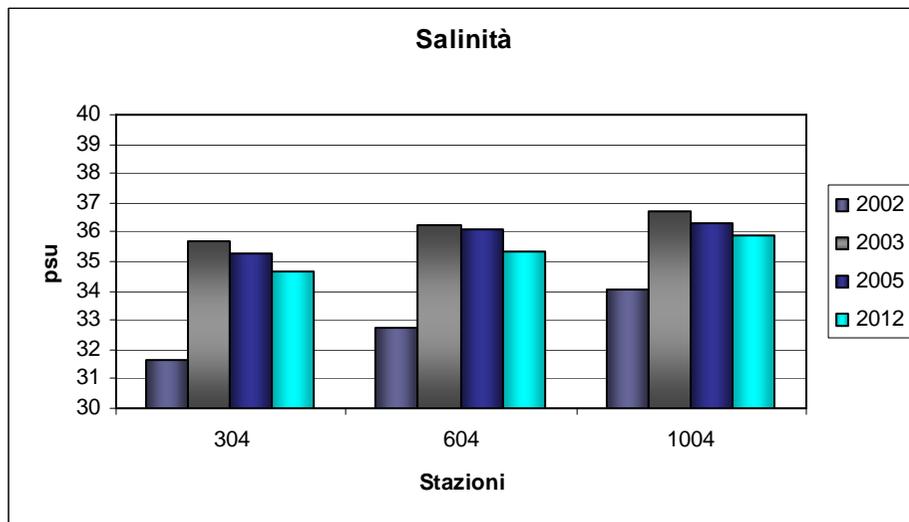


Figura 29: Andamento delle medie dei valori di salinità per le stazioni del transetto 4, del transetto 9, del transetto 14 e del transetto 19 da costa verso largo

Analizzando i valori procedendo da costa verso largo si nota una tendenza all'aumento del valore in maniera proporzionale e simile in tutte le stazioni (**Figura 28 e Figura 29**) Nel 2002 (anno in cui la manifestazione di aggregati mucillaginosi è stata più intensa) emerge chiaramente come il valore medio della salinità, in ogni stazione, sia nettamente inferiore rispetto al dato riscontrato nel 2003, nel 2005 e nel 2012. Questi ultimi tre anni non mostrano grandi differenze tra loro.

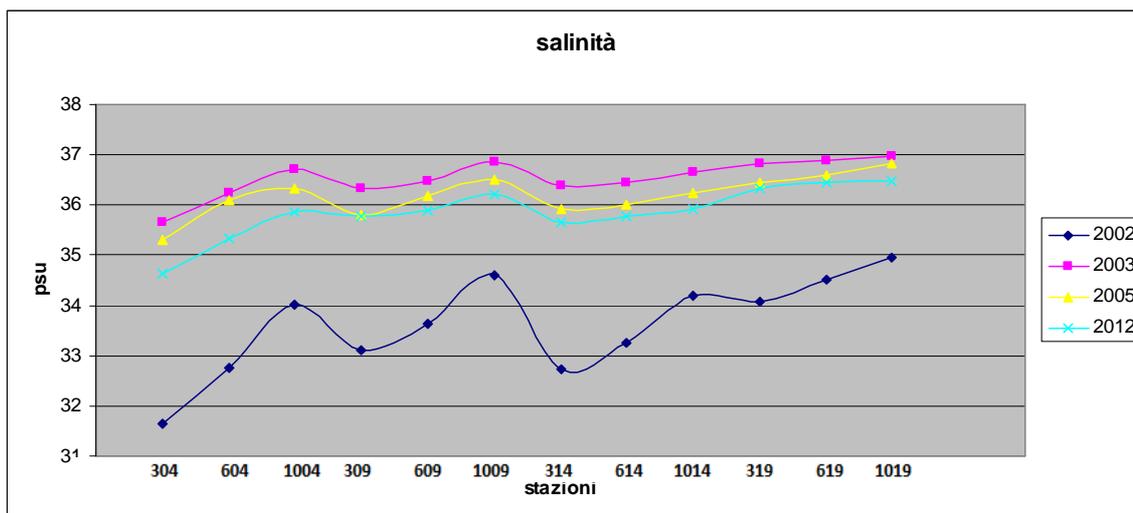
Nella **Tabella 3** sono mostrati, contraddistinti dalla data e dalla profondità in cui sono stati rilevati, i valori massimi e minimi in psu (Practical Salinity Units): il psu corrisponde al rapporto tra la conduttività di un campione di acqua di mare e quella di una soluzione standard di KCl formata da 32,4356 grammi di sale disciolti in 1 kg di soluzione a 15°C (Lewis, 1980) (Unesco, 1981).

Anno	Data	Stazione	MIN / MAX Salinità (psu)	Profondità (m)
2002	20/08/2002	304	18,38	1
	04/06/2002	319	37,51	11
2003	03/06/2003	304	29,21	0,5
	15/07/2003	319	38,21	9
2005	29/08/2005	304	27,05	0,5
	02/08/2005	2014	38,38	17
2012	18/06/2012	304	18,89	0,5
	14/08/2012	1019	38,58	13

**Tabella 3: Valori massimi e minimi di salinità**

Da notare come il valore minimo di salinità, indipendentemente dall'anno, si trovi sempre nella stazione 304: questo dato conferma chiaramente il trend che vede aumentare la salinità andando da nord verso sud e da costa verso largo (i valori massimi sono infatti sul transetto 19, ossia il più meridionale, o a 20 miglia dalla costa, la stazione più a largo).

Riportando le medie per stazione dei quattro anni in esame in una singola rappresentazione grafica è possibile apprezzare ancora meglio le differenze tra le medesime stazioni nel tempo (**Figura 30**).



**Figura 30: Salinità media per stazione nel periodo giugno – agosto 2002**

### 5.2.2 Temperatura

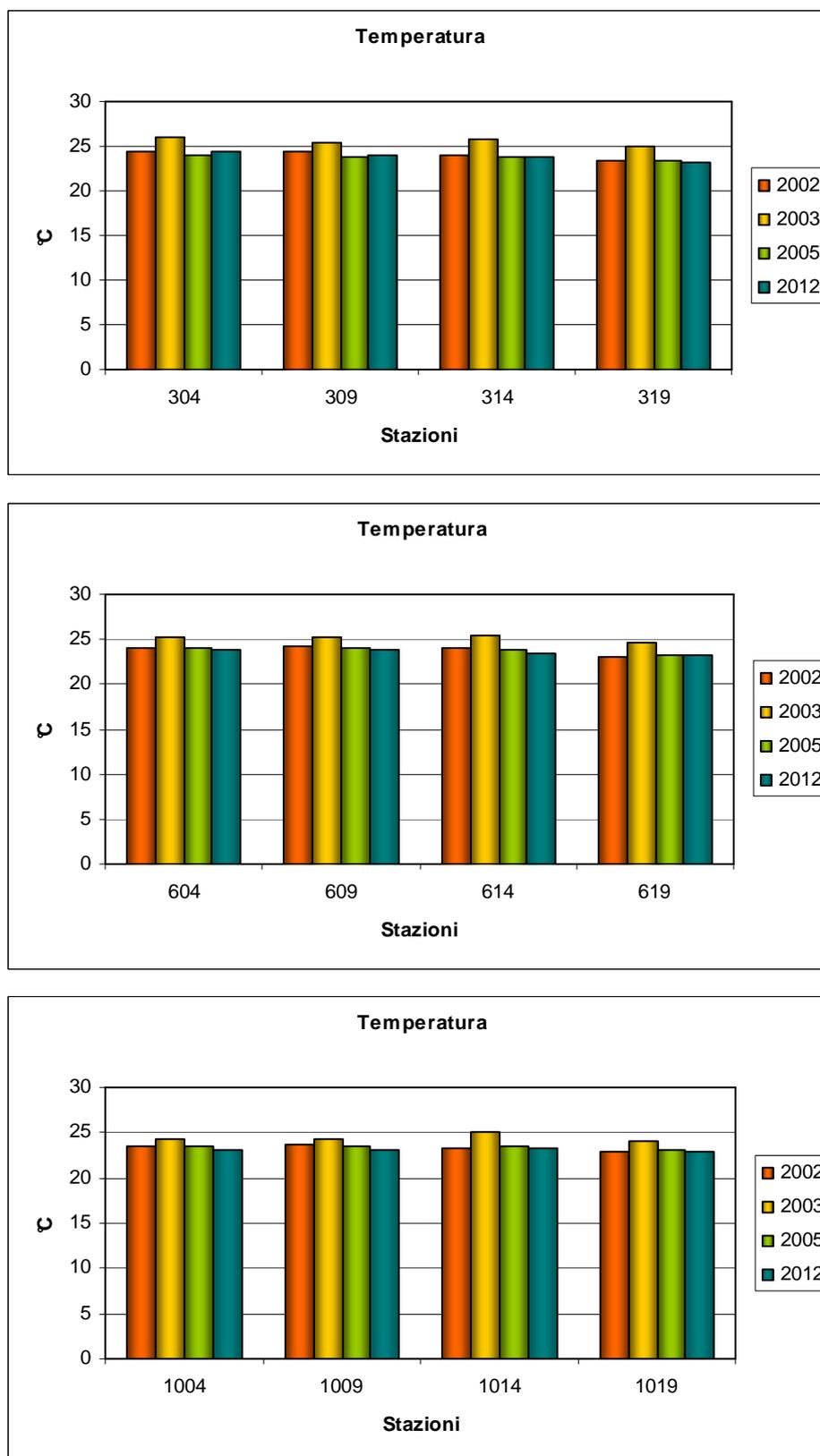
A partire dall'ultima decade di maggio si comincia a rilevare un riscaldamento delle acque più superficiali. Ragionando su piccola scala notiamo che le variazioni dei valori sono per lo più dovute ad apporti fluviali, incrementi di biomassa microalgale in sospensione, assenza di moto ondoso e particolari condizioni di stasi idrodinamica. Tra le cause del riscaldamento delle masse d'acqua troviamo sia il maggiore assorbimento di radiazione luminosa di acque torbide sia la stasi idrodinamica; infatti quest'ultima innalza la temperatura poiché limita il ricambio tra le acque profonde più fredde e quelle superficiali più calde. Nelle stazioni off-shore, con profondità maggiori, il riscaldamento delle acque superficiali provoca termoclini più o meno marcati: nelle acque di fondo si assiste a un trend più conservativo rispetto alle acque superficiali, esse infatti tendono a surriscaldarsi meno poiché meno esposte alla radiazione solare.

Dai dati oggetto di studio, si notano trend non molto marcati.

Sebbene si evinca che il 2003 sia stato l'anno più caldo tra gli anni presi in considerazione (per il mese di giugno e per la parte finale dei mesi di luglio e agosto), a differenza di quanto visto per la salinità, la temperatura non sembra mostrare differenze molto evidenti tra i vari anni.

Il tentativo di rintracciare una tendenza secondo un gradiente verticale nord-sud, non indirizza verso tendenze ben marcate. Il tutto si evince in maniera ancora più chiara dalla **Figura 31**.

Anche un'analisi svolta seguendo un trend orizzontale costa-largo non evidenzia particolari anomalie tra i diversi anni (**Figura 32**).



**Figura 31: Andamento delle medie dei valori di temperatura per le stazioni a 3 km (in alto), a 6 km (al centro) ed a 10 km (in basso) dalla costa da nord verso sud**

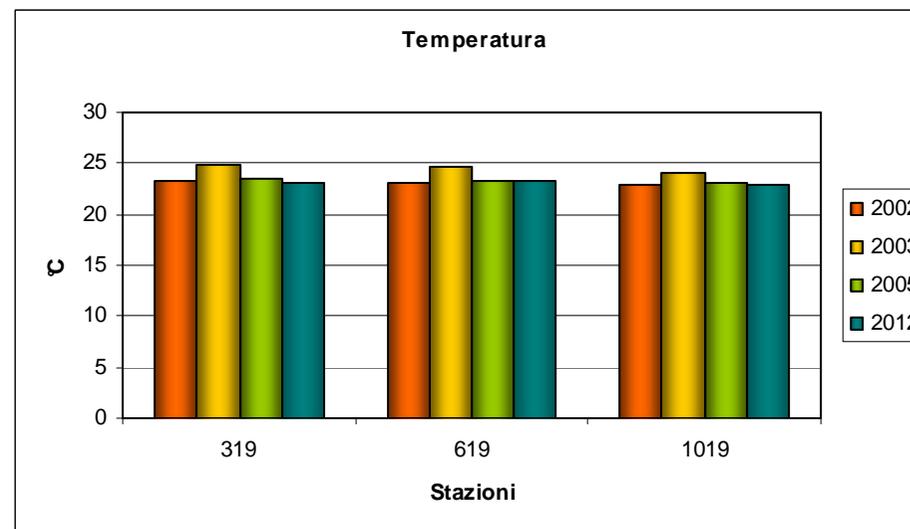
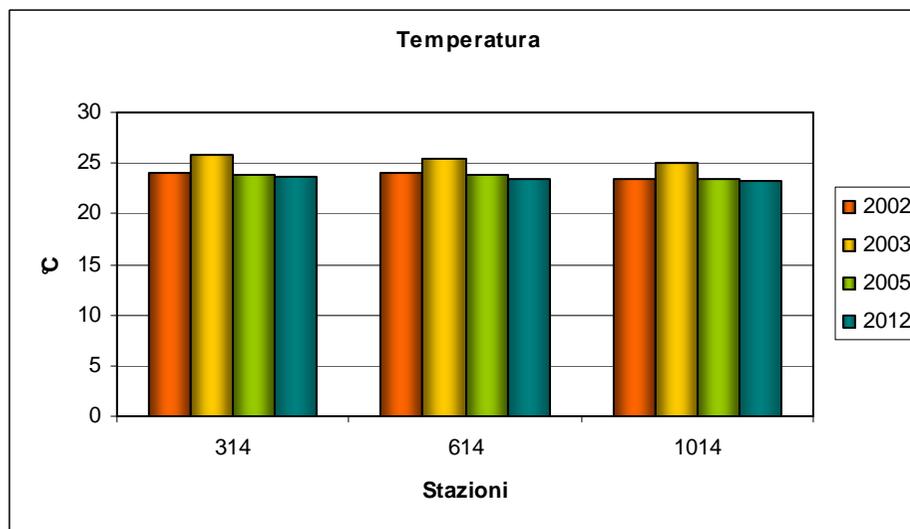
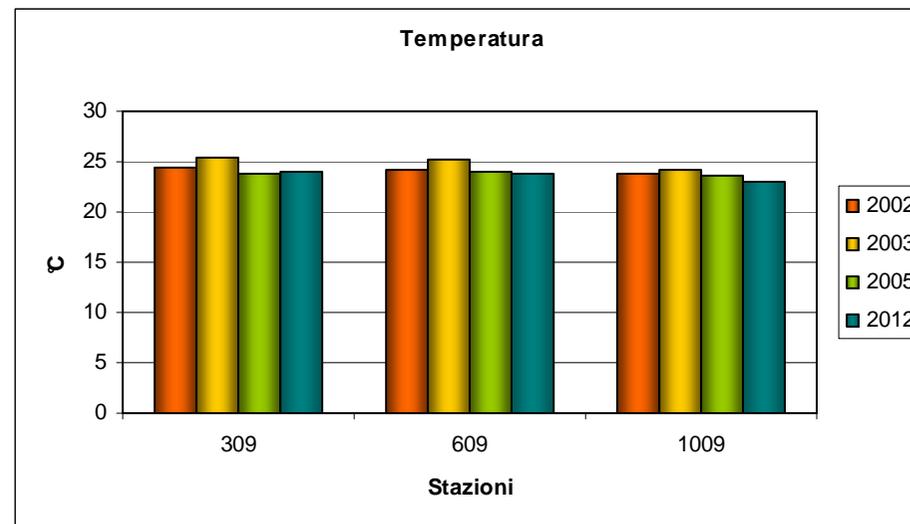
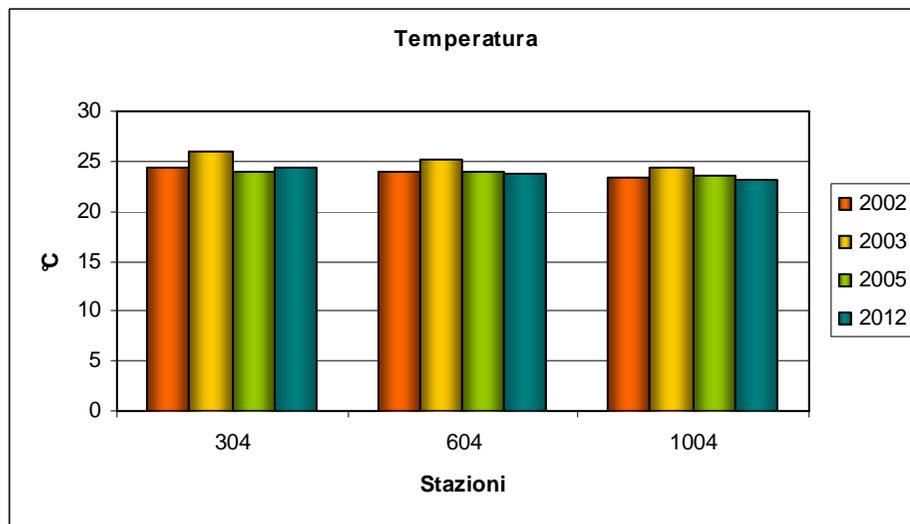
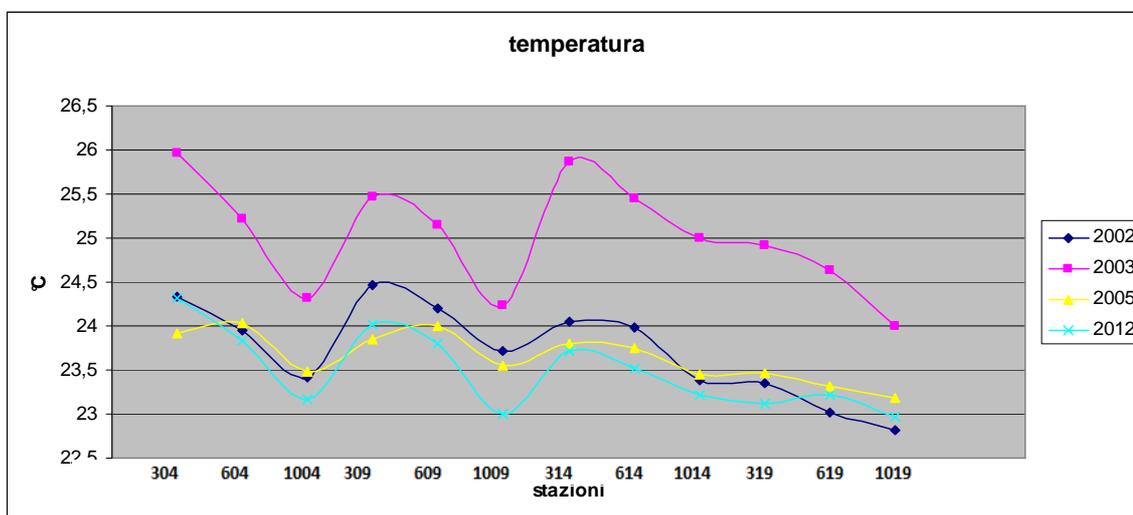


Figura 32: Andamento delle medie dei valori di temperatura per le stazioni del transetto 4, del transetto 9, del transetto 14 e del transetto 19 da costa verso largo

Come visto per la salinità, confrontando le medie per stazione dei quattro anni in esame in una singola rappresentazione grafica è possibile apprezzare ancora meglio le differenze tra le medesime stazioni nel tempo (**Figura 33**).



**Figura 33: Temperatura media per stazione nel periodo giugno – agosto 2002**

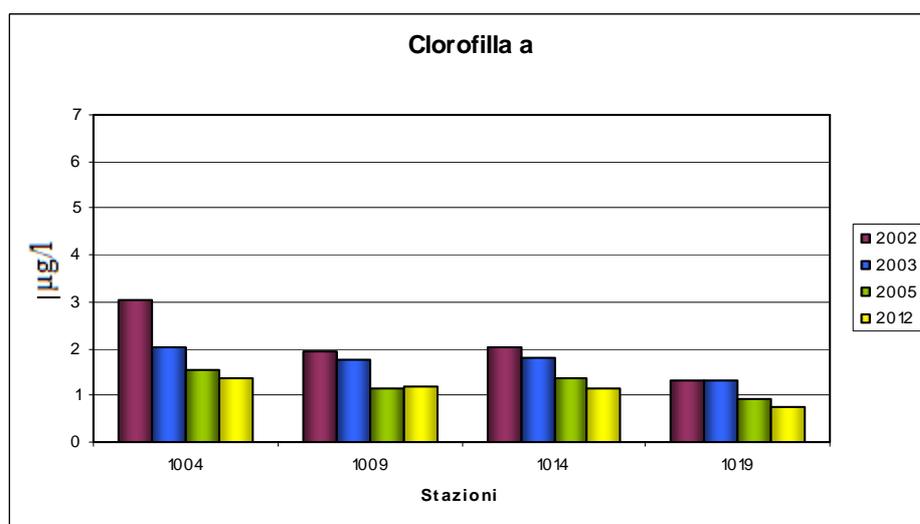
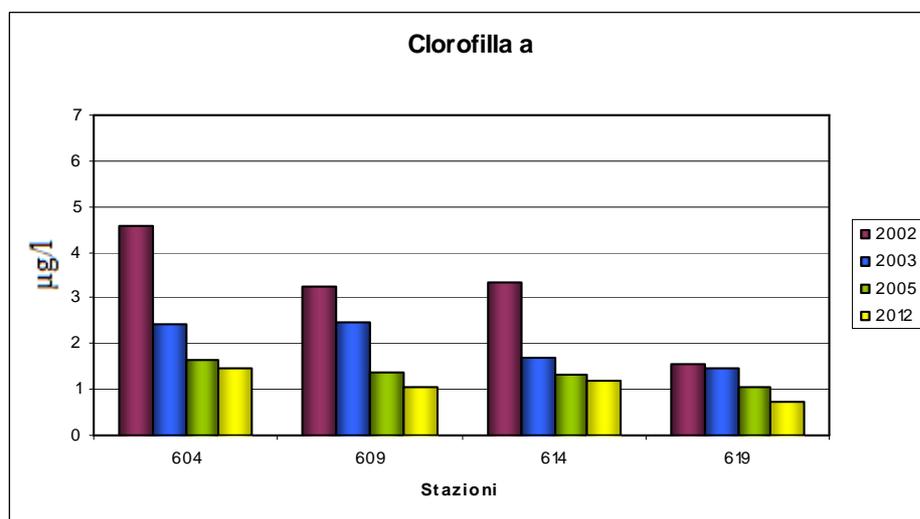
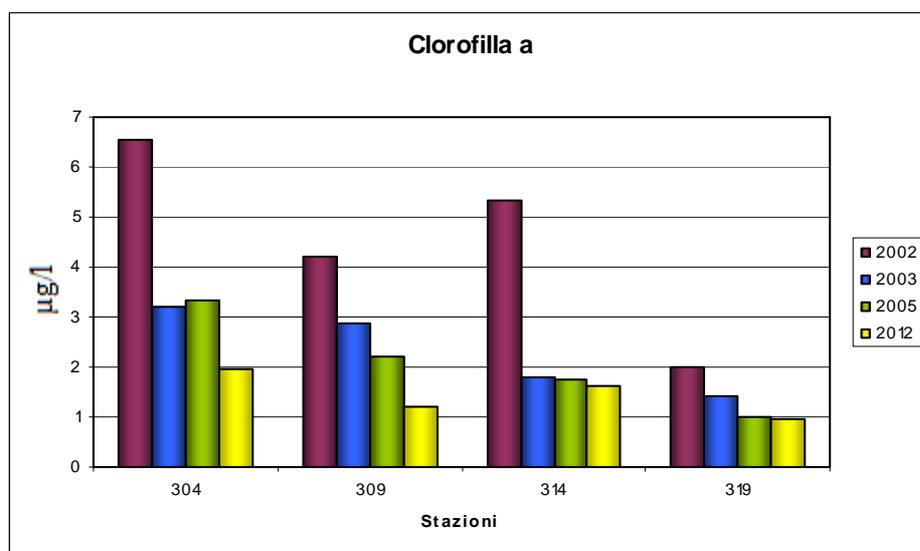
### **5.2.3 Clorofilla “a”**

Gli andamenti della clorofilla “a”, indicatore di biomassa microalgale, confermano in tutti gli anni oggetto di studio un trend negativo nord-sud (**Figura 34**).

Tale calo si mostra più evidente nel 2002 (anno con evento mucillaginoso più intenso), anno in cui il valore medio di clorofilla “a” nella colonna d’acqua si mostra chiaramente più alto di quelli del 2003, del 2005 e del 2012.

Il 2003 (anno in cui gli aggregati sono comparsi a livello intermedio) presenta una diminuzione del 50% rispetto al 2002. Molto simili tra loro i restanti due anni (2005 e 2012).

L’andamento dei valori osservato da costa verso largo indica un calo del valor medio più marcato nei transetti settentrionali rispetto a quelli meridionali. Il transetto 19, il più meridionale, è l’unico che presenta un calo meno evidente mostrando conseguentemente una maggiore omogeneità del parametro (**Figura 35**)



**Figura 34: Andamento delle medie dei valori di clorofilla “a” per le stazioni a 3 km (in alto), a 6 km (al centro) ed a 10 km (in basso) dalla costa da nord verso sud**

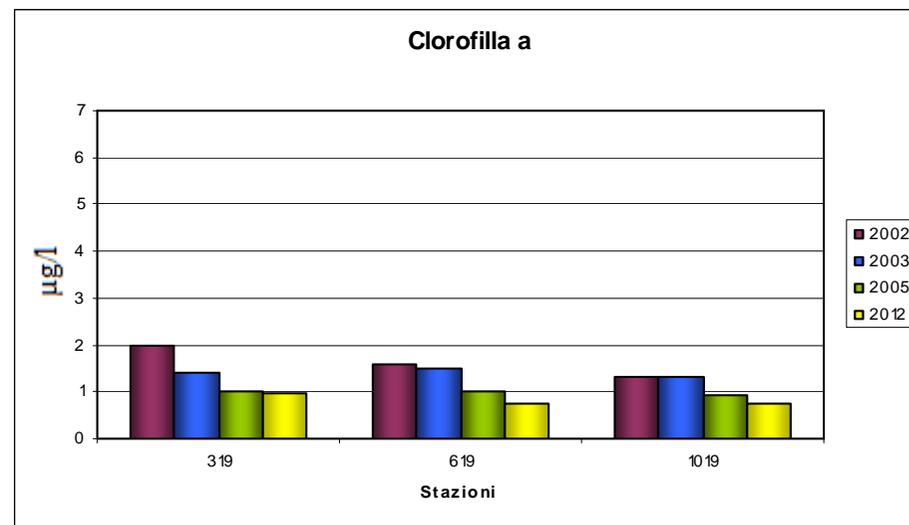
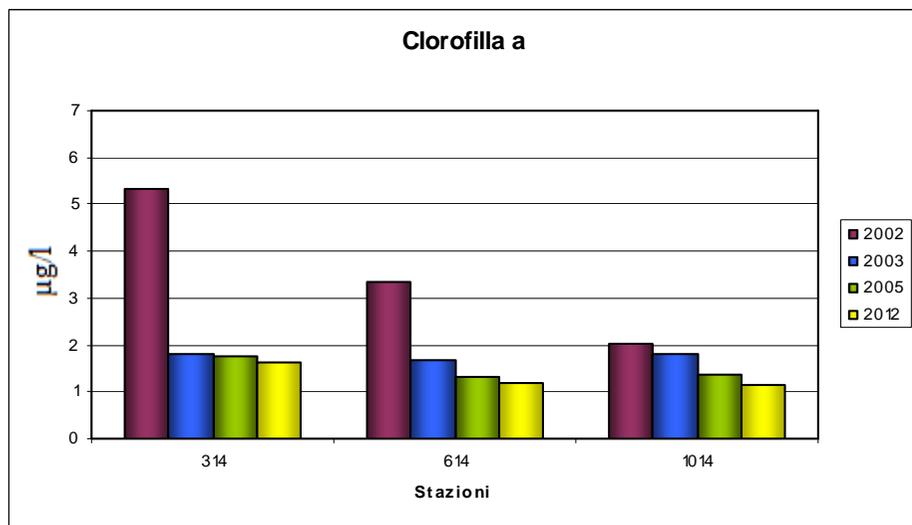
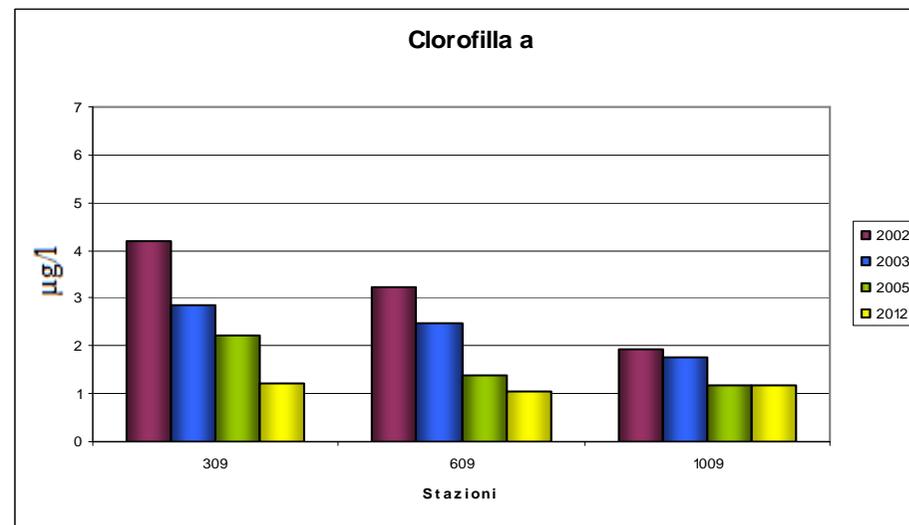
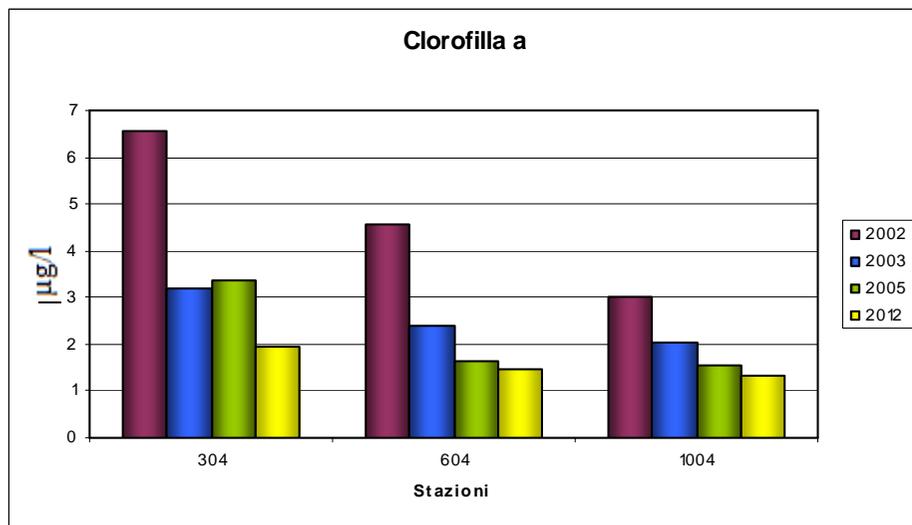


Figura 35: Andamento delle medie dei valori di clorofilla “a” per le stazioni del transetto 4, del transetto 9, del transetto 14 e del transetto 19 da costa verso largo

Anche per la clorofilla “a”, come già visto per la salinità e la temperatura, confrontando le medie per stazione dei quattro anni in esame in una singola rappresentazione grafica è possibile apprezzare ancora meglio le differenze tra le medesime stazioni nel tempo (Figura 36).

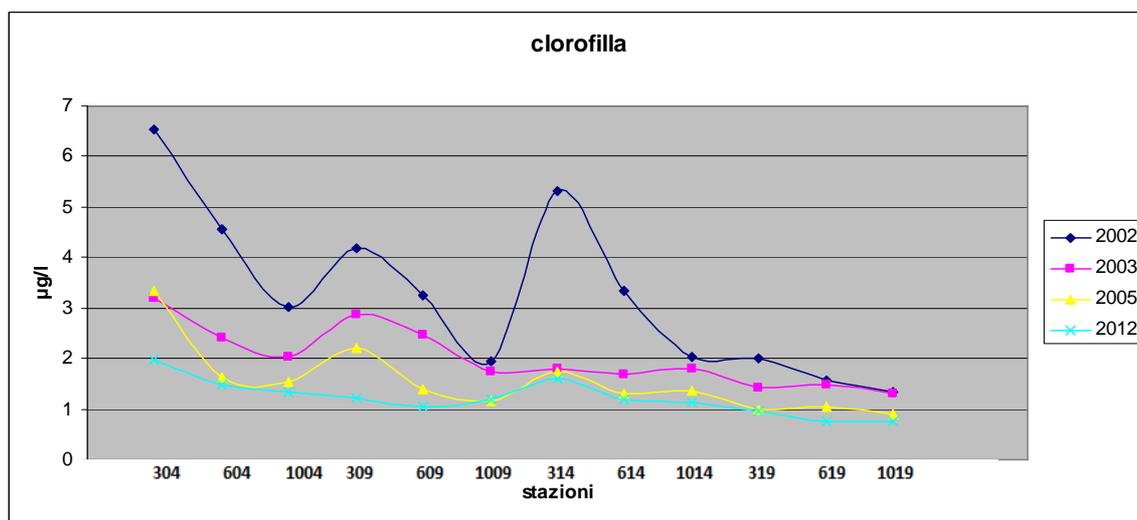


Figura 36: Valori medi di clorofilla “a” per stazione nel periodo giugno-agosto

### 5.3 Relazione tra profondità e stadio di aggregazione

Tra gli anni presi in considerazione nel presente lavoro di tesi il 2002 rappresenta, come sottolineato più volte, l'anno durante il quale la mucillagine è comparsa in maniera più intensa ed impattante. Per tale motivo i dati sugli stadi degli aggregati raccolti tramite telecamera durante l'estate di quell'anno sono sicuramente più numerosi e più completi al fine di effettuare delle relazioni con le batimetrie.

Tutti i transetti sono stati analizzati e lungo ognuno di essi sono state esaminate tre stazioni, rispettivamente quella situata a 3 km, 6 km e 10 km dalla costa per un totale di 12 stazioni.

La profondità minima e la massima variano tra gli 8,3 metri della stazione 314 e i 13,6 metri della stazione 1019. La profondità media risulta essere 11,5 metri.

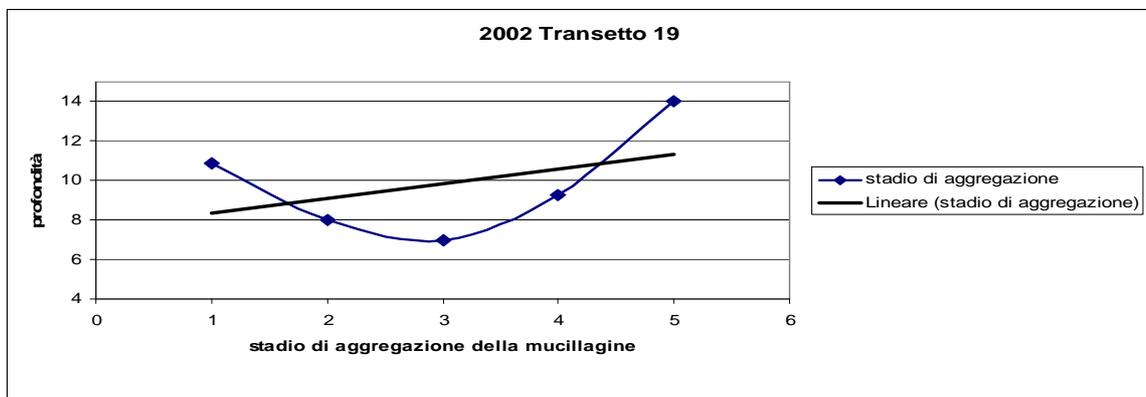
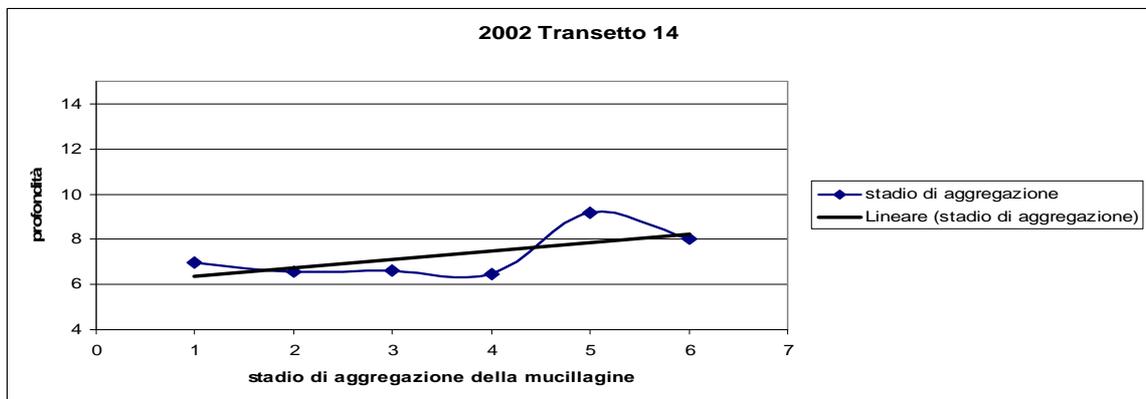
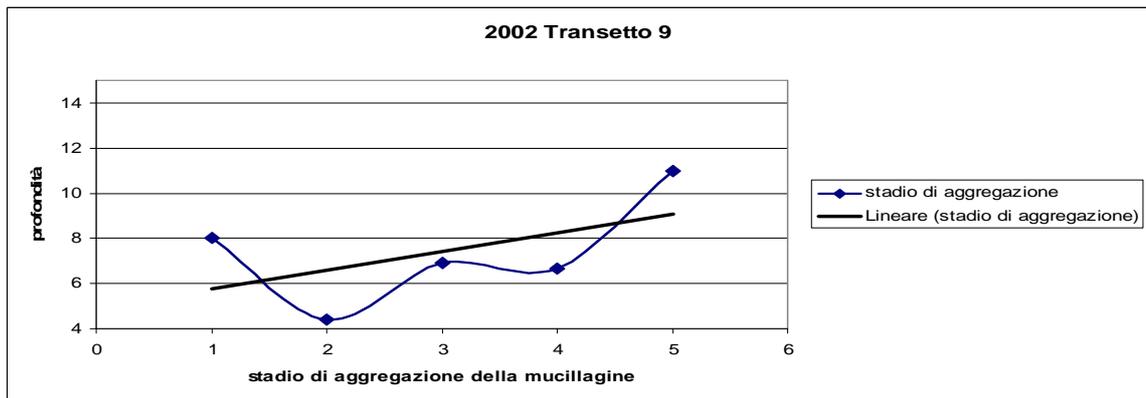
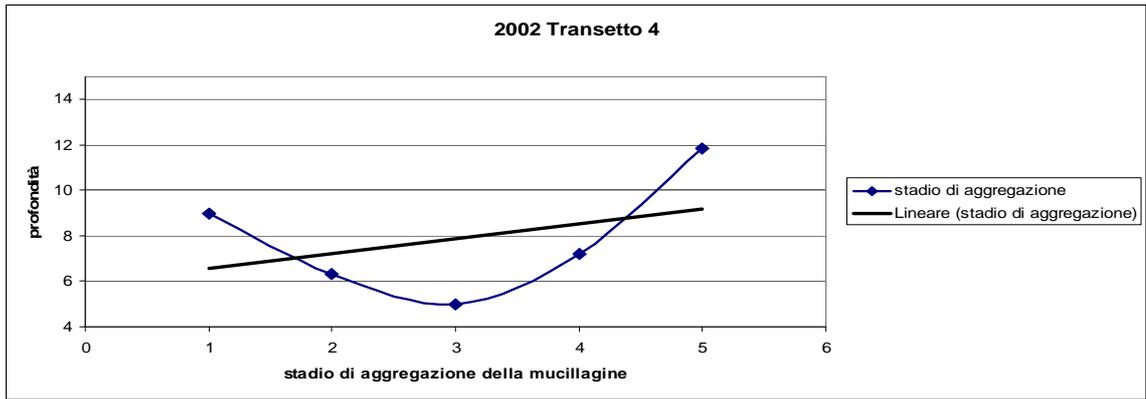
Tutte le profondità sono comunque riassunte in **Tabella 4**.

Transetto	Stazione	Profondità massima (m)
4	304	9,1
	604	12
	1004	14,8
9	309	9,4
	609	11,4
	1009	15,1
14	314	8,3
	614	10,2
	1014	12,3
19	319	11
	619	12,1
	1019	13,6

**Tabella 4:** Stazioni e relative profondità

Gli stadi di aggregazione della mucillagine sono presenti in tutte le loro forme, dalla neve marina alle nubi e i valori numerici assegnati ad ogni forma mucillaginosa sono quelli riportati in **Tabella 1** (vedi paragrafo 4.1).

I risultati sono riassunti dalla **Figura 37** ed indicano un andamento simile per tutti i transetti esaminati.



**Figura 37: Espressione della profondità in funzione dello stadio di aggregazione della mucillagine nel periodo giugno – agosto 2002 lungo il transetto 4, 9, 14 e 19**

## **5.4 Principal component analysis (PCA)**

Il data set relativo alle osservazioni in mare è stato utilizzato per un'analisi delle componenti principali (PCA). La PCA è stata eseguita tenendo conto della clorofilla "a", della temperatura, della profondità e della salinità. Fra gli eventi mucillagginosi riconosciuti durante il campionamento sono stati individuati tre casi particolari:

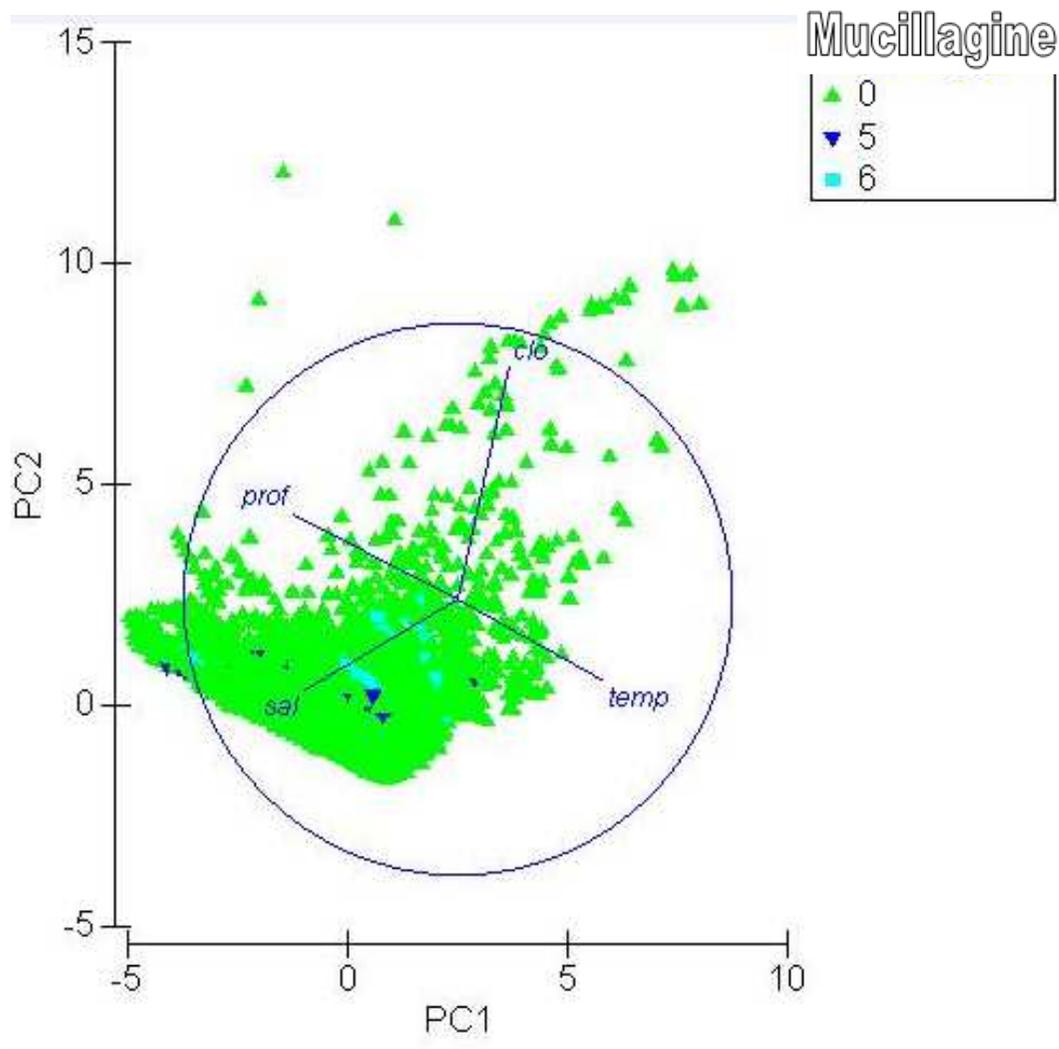
- assenza, indicata con il valore 0;
- presenza sotto forma di reticoli e ragnatele, indicata con il valore 5;
- presenza di nubi, indicata con il valore 6.

Gli altri stadi di aggregazione sono stati trascurati.

La PCA così condotta spiega nei primi due assi il 75.3% della varianza. In particolare il 46.8% è spiegato dal primo asse (PC1) ed il 28.5% è spiegato dal secondo asse (PC2). Fra le variabili considerate quelle che sembrano influenzare maggiormente la variabilità osservata sono la profondità e la salinità rispettivamente con valori dei coefficienti di correlazione di -0.604 e -0.563.

Dal plot della PCA si nota innanzitutto come i campioni raccolti non mostrino aggregazioni particolari e come si dispongano sulla PC1 secondo valori in diminuzione della salinità e sulla PC2 secondo valori in diminuzione della clorofilla.

E' interessante notare come gli eventi mucillagginosi, nonostante non si separino dal resto delle osservazioni, si dispongano secondo un gradiente decrescente della salinità che sembra essere la variabile che meglio descrive i fenomeni mucillagginosi inseriti nel data base. Nella parte destra del plot (dove aumenta la salinità) non è presente alcun valore oltre lo 0 (**Figura 38**).



### PCA Principal Component Analysis

Data worksheet  
Name: Data7  
Data type: Environmental  
Sample selection: All  
Variable selection: All

PC	Eigenvalues	%Variation	Cum.%Variation
1	1,87	46,8	46,8
2	1,14	28,5	75,3
3	0,636	15,9	91,2
4	0,353	8,8	100,0

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
prof	-0,604	0,309	-0,259	0,688
sal	-0,563	-0,332	-0,527	-0,543
clo	0,187	0,841	-0,367	-0,352
temp	0,532	-0,296	-0,722	0,329

Sample	SCORE1	SCORE2	SCORE3	SCORE4
T04D002A1	2,56	1,8	2,81	0,44
T04D002B1	2,27	2	2,46	0,275
T04D002C1	1,62	2,69	1,26	-0,754
T04D002D1	1,09	3,25	0,292	-1,53
T04D002E1	1,03	3,88	-3,85E-2	-1,68
T04D002F1	0,833	3,77	-1,83E-2	-1,49
T04D002G1	0,629	3,71	-7,87E-2	-1,36
T04D002H1	-0,382	1,48	0,636	-0,67
T04D002I1	-0,934	0,814	0,876	-0,461
T04D002J1	-1,34	0,641	1,05	-0,368
T04D002K1	-1,52	0,729	0,983	-0,289
T04D005A1	5,34	3,17	2,34	2,09
T04D005B1	5,3	3,33	2,29	2,26
T04D005C1	5,12	3,81	1,93	2,07
T04D005D1	4,3	3,5	1,53	1,64
T04D005E1	3,71	2,94	1,52	1,68
T04D005F1	2,99	2,74	1,29	1,35

Figura 38: A sinistra: elaborazione grafica della PCA: gli eventi mucillaginosi sembrano seguire l'andamento della salinità più che delle altre variabili.  
A destra: la tabella della PCA

## 6 CONCLUSIONE

La presenza o l'assenza di aggregati mucilluginosi durante i mesi estivi resta ancora adesso un evento non prevedibile o quantomeno prevedibile su scala temporale piuttosto piccola. Difatti non è possibile intuirne l'inizio se non quando ci si trova già a processo iniziato ovvero quando siamo in presenza di abbondanti fiocchi di neve marina.

La scelta di concentrarsi nell'analisi di anni che hanno mostrato presenze di aggregati differenti per abbondanza, per tipologia, per tempistica di permanenza, per modalità di estinzione del processo evolutivo concorre ad una migliore evidenza dei fattori concomitanti al verificarsi del fenomeno.

Nel 2002 e nel 2003, gli anni interessati dal fenomeno, l'andamento percentuale dei vari stadi suggerisce una similarità tra le proporzioni degli stadi precoci di mucillagine (di neve e fiocchi) e gli stadi successivi (dimensionalmente maggiori e strutturalmente più persistenti). La percentuale dello stadio di nube tra i due anni mostra una differenza (2% nel 2002, 0% nel 2003) che se ad una prima analisi potrebbe apparire minima, alla luce della maggior mole di dati rilevati nel 2002 assume la sua rilevanza.

L'intensificarsi di fiocchi e neve marina lungo la colonna d'acqua rappresenta sicuramente il segnale più evidente che l'evento, in un lasso di tempo non troppo ampio (2-3 giorni), possa manifestarsi. La possibilità che questo si realizzi o meno dipende dalla presenza della dinoflagellata *Gonyaulax fragilis*, dall'idrodinamismo del periodo e dalle condizioni meteomarine al contorno.

La temperatura non sembra contribuire in modo particolare; l'anno in cui essa ha raggiunto valori più elevati (il 2003) è stato l'anno in cui il fenomeno è apparso di scarsa intensità ed in un arco temporale piuttosto ristretto.

La clorofilla, essendo un parametro dipendente dalla concentrazione microalgale, segna trend positivo con la mucillagine; si può ipotizzare che la variabile clorofilla mostri questa relazione positiva sia per la presenza del *Gonyaulax fragilis* fotosinteticamente attivo sia per via dell'effetto trappola del muco sulla comunità fitoplanctonica presente.

La profondità mostra un trend positivo con lo stadio di aggregazione: questo appare plausibile in quanto ovviamente gli stadi più vecchi essendo più pesanti tendono a sedimentare lungo la colonna d'acqua fino a depositarsi sul fondo (causando problemi di anaerobiosi/anossia). Occorre ricordare che talvolta gli stadi vecchi possono risalire se

favoriti da correnti che spingono le acque superficiali a largo richiamando quelle di fondo.

Tra i parametri analizzati, lo spunto più interessante viene offerto sicuramente dalla salinità. Nel 2002 questo parametro ha mostrato valori bassi dimostrando come la presenza di acque dolci di provenienza fluviale (portatrici di nutrienti) possa favorire l'innescò del processo di formazione costituendo anche il sostentamento per la crescita microalgale. Questo aspetto viene evidenziato anche dall'analisi delle Componenti Principali (PCA) in cui il parametro ambientale che meglio fitta con gli eventi sembra essere la salinità nei suoi valori più bassi. La salinità dà l'impressione di essere, però, non un fattore decisivo nell'accadimento dell'evento ma una covariata. Si potrebbe azzardare che fra i dati registrati manchi il parametro decisivo nella comprensione del pattern multivariato. Tale parametro potrebbe essere l'idrodinamismo inteso come corrente nella disposizione geografica degli eventi e come evento meteorologico nell'accadimento degli stessi. Nello specifico la mancanza di eventi meteorologici di rilievo per un tempo abbastanza lungo causa una stratificazione superficiale delle acque del Po, ricche di nutrienti, creando le condizioni giuste per lo sviluppo di eventi mucillagginosi mentre la loro localizzazione è influenzata dal sistema di correnti anche su piccola scala della zona considerata. La mancanza di rimescolamento della colonna d'acqua può influenzare anche la profondità a cui si trovano gli aggregati mucillagginosi. Dalla PCA infatti anche la profondità appare come una covariata degli eventi senza mostrare rapporti di causa effetto.

In conclusione il fenomeno appare complesso e di difficile interpretazione/previsione, sicuramente monitoraggi continui della situazione chimico-fisica delle acque possono aiutare i gestori delle acque a tenere sotto controllo la formazione di aggregati mucillagginosi. In futuro sarebbe opportuno irrobustire i monitoraggi con osservazioni e studi di altri parametri ambientali legati all'idrodinamismo (correnti, onde, eventi meteorologici, ecc.) che possono condizionare la formazione di fenomeni mucillagginosi potenzialmente pericolosi per l'ambiente e dannosi per attività economicamente e socialmente importanti quali pesca e turismo.

Concludendo si può affermare che, da quanto emerso durante lo svolgimento del presente elaborato, in qualche modo, l'idrodinamismo, la salinità e la densità dell'aggregato sembrano influenzare sia lo svilupparsi che il progredire dell'evento mucillagginoso, mentre non sembrano influire la clorofilla e la temperatura.

Va inoltre evidenziata la scarsa conoscenza delle condizioni “ecologiche” che possono favorire la comparsa della microalga *Gonyaulax fragilis*, elemento importante, se non fondamentale, sia per gli aspetti conoscitivi della dinamica del fenomeno che per quelli previsionali.

Questo lavoro vuole essere un piccolo passo verso la comprensione di un fenomeno, quello della comparsa di aggregati mucilluginosi lungo la costa dell’Adriatico nord occidentale, che ricopre notevole importanza sia dal punto di vista ecologico-ambientale che da quello socioeconomico e sanitario.

I risultati raggiunti possono fungere da aiuto per una ricerca accurata e ben strutturata che possa consentire a chi studia l’ecosistema marino di comprendere al meglio l’evoluzione di un processo, quello dello sviluppo di mucillagine, che ancora oggi riserva molti punti da chiarire.

## 7 BIBLIOGRAFIA

Andreoli C., Arata P., Giani M., Hommé 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.

ARPA - Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna - Struttura Oceanografica Daphne. 2003. Eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna Rapporto annuale 2002. Centro Stampa della Giunta Regionale.

ARPA - Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna - Struttura Oceanografica Daphne. 2004. Eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna Rapporto annuale 2003. Centro Stampa della Giunta Regionale.

ARPA - Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna - Struttura Oceanografica Daphne. 2006. Eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna Rapporto annuale 2005. Centro Stampa della Giunta Regionale.

ARPA - Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna - Struttura Oceanografica Daphne. 2011. Qualità ambientale delle acque marine in Emilia Romagna Rapporto annuale 2010. Centro Stampa della Giunta Regionale.

ARPA Veneto, 2005. A proposito di... - Mare – Mucillagini – Tegnue. Area Tecnico Scientifica Osservatorio Alto Adriatico Polo Regionale Veneto.

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.

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.

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.

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.

Clarke K.R. & Warwick R.M., 1994. *Change in Marine Communities*. Plymouth Marine Laboratory, pp. 144.

Cori D. J. & Steuer A., 1901. Beobachtungen u'ber das Plankton des Triester Golfes in den Jahren 1899 und 1900. *Zoologischer Anzeiger* n. 637.

De Toni G.B., 1891. Il curioso fenomeno della poltiglia in mare – il mare sporco. «*La Venezia*» 17-18 agosto 1891.

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.

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, pp 178.

Forti A., 1906. Alcune osservazioni sul Mare sporco ed in particolare sul fenomeno avvenuto nel 1905. *Nuovo Giornale Botanico Italiano N.S.* vol. XIII, Ottobre 1906, N. 4.

Funari E. & Ade P., 1999. Human health implications associated with mucilage in the northern Adriatic Sea. *Ann Ist Super Sanità*, 35 (3): 421:425.

Giani M., Rinaldi A., Sartoni G., Berto D., Cornello M., 2005. Le mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno – Quaderno 1. ICRAM.

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.

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. & Peduzzi P., 1988. The ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the northern adriatic sea. 1. General considerations. *Mar. Ecol.*, 9 (1): 79-90.

ICRAM, 1993. Parere sulla situazione del fenomeno “mucillagine” nella Sicilia settentrionale in relazione all'attività di pesca. Prot. 1196/PA, 2 pagg.

Kovac N., Bajt O., Faganeli J., Sket B., Orel B., 2002. Study of macroaggregate composition using FT-IR and <sup>1</sup>H-NMR spectroscopy. *Mar. Chem.*, 78:205-215.

Levi Morenos D., 1883. Risposta ad uno scritto critico del sig. G.B. De Toni. Vicenza Stab. L. Fabris.

Levi Morenos D., 1892. Le diverse ipotesi sul fenomeno del mare sporco nell'Adriatico. «Notarisia» di D. Levi, vol. VIII, Agosto 1892 n. 32.

Levi Morenos D., 1893. Le cause del mare sporco. *Neptunia* n.21.

Lewis E.L., 1980. The Practical Salinity Scale 1978 and its antecedentes. *IEEE J. Ocean. Eng.*, OE-5(1): 3-8.

Mingazzini M. & Thake B., 1995. Summary an conclusions of the workshop on marine mucilages in the Adriatic Sea and elsewhere. *Sci. Total Environ.*, 165: 9-14.

Mistri M., Ceccherelli V.U., 1997. Interazioni macrobenthos-mucillagine: danno e recupero di una popolazione di gorgoniacei. *Biologia Marina Mediterranea*, 4 (1):133-139.

Montanari G., Rinaldi A., Pinardi N., Simoncelli S., Gaicomelli L., 2006. Le correnti costiere dell'Emilia-Romagna nel periodo dal 1995 al 2002. I quaderni di ARPA ER: pp. 62

Müller W. E. G., Riemer S., Kurelec B., Smodlaka N., Puskaric S., Jagic B., Müller-Niklas G., Queric N. V., 1998. Chemosensitizers of the multixenobiotic resistance in amorphus aggregates (marine snow): etiology of mass killing on the benthos in the Northern Adriatic. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 6: 229-238.

Ninni A.T., 1872. Sopra la causa che impedisce il libero esercizio della pesca lungo le coste venete. Lettere due al Prof. Canestrini. «Giornale di Padova» Luglio nn. 196, 198.

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.

Pistocchi R., Cangini M., Totti C., Urbani R., Guerrini F., Romagnoli T., Sist P., Palamidesi S., Boni L., Pompei M., 2005. Relevance of the dinoflagellate *Gonyaulax fragilis* in mucilage formations of the Adriatic Sea. *Science of the Total Environment* 353: 307– 316.

Pompei M., Mazziotti 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* 2003 vol. 2: 301-316.

Pompei M., Cangini M., Boni L., Guerrini F., Pistocchi R., Cucchiari E., Romagnoli T., Totti C., 2005. *Microalghe tossiche del Medio ed Alto Adriatico – Guida per Acquacoltori e Operatori sanitari*. Editore Fernandel, Ravenna.

Precali R., Giani M., Marini M., Grilli F., Ferrari C. R., Pečar O., Paschini E., 2005. Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999-2002: Typology and distribution. *Sci. Tot. Environ.* 353: 10-23.

Renier D.A., 1891. *La materia che infestò il nostro Golfo nel 1872, ricomparsa nel 1891*. Tipografia L. Duse, Chioggia.

Rinaldi A., 1992. Aggregati mucillaginosi 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.

Schreiber B., 1928. Osservazioni su di un principio di "Mar sporco" in una Valle Lagunare Veneta. *Memorie*: 123-131.

Simoncelli S., 2002. Variabilità di campi fisici e bio-chimici nella fascia costiera dell'Emilia Romagna Tesi di laurea in Oceanografia e meteorologia (tesi di laurea).

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.

Syrski de S.A., 1872. Sulle masse glutinose osservate nei mesi di Giugno e Luglio 1872 nella parte settentrionale dell'Adriatico. Relazione prodotta all'I. R. Governo Marittimo di Trieste. Tip. Hermanstofer, Trieste.

Tiozzi I., 1941. La Gazzetta di Venezia, 1 settembre 1941.

Unesco, 1981. The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. Tech. Pap. Mar. Sci., pp. 36:25

Vilicic D., 1991. A study of phytoplankton in the Adriatic sea after the July 1984 bloom. Int. Revue ges, Hydrobiol., 76 (2): 197-211.

Viviani R., Boni L., Cattani O., Milandri A., Poletti R., Pompei M., Sansoni G., 1995. 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 1998, 1989 and 1991. Sci. Tot. Environ., 165: 203-211.

Volterra L., Aulicino F.A., Bonadonna L., De Mattia M., Di Girolamo I., Liberti R., Mancini L., 1992. Microbial Analyses of Adriatic Sea mucilages. Marine costal eutrophication. In: Proceedings of the international conference "Marine coastal eutrophication" Vollenweider R.A., Marchetti R., Viviani R. (eds). Elsevier, Amsterdam: 551-556.

Zanardini G., 1872. Atti dell'Ist. Venez. X serie IV, pag. 1885.

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.

## RINGRAZIAMENTI

Desidero prima di tutto ringraziare il professor Attilio Rinaldi per i preziosi insegnamenti e per il tempo dedicatomi, è stata una bellissima opportunità poter svolgere il mio lavoro accanto a un grande amante e conoscitore del mare.

Inoltre ringrazio la dottoressa Mazziotti e la dottoressa Benzi che ho imparato a chiamare Cristina e Margherita. Sono state sempre, a volte anche oltre l'orario di lavoro, al mio fianco e sempre nei momenti di maggiore difficoltà. Mi hanno aiutato a realizzare questo lavoro dalla prima all'ultima parola, a volte anche con qualche ramanzina (che non fa mai male!).

Per l'ospitalità e la grande opportunità concessami non posso non sottolineare la gratitudine che provo per la dottoressa Carla Rita Ferrari.

Per quanto mi hanno fatto sentire a mio agio non dimenticherò mai Sandro, Stefano, Enza, Patricia, Claudio, Alessandra e tutti i dipendenti Daphne ARPA ER.

Un enorme "GRAZIE!!!" va al dottor Fabio Bozzeda (che per tutti è semplicemente Fabione). Mi ha aiutato nonostante i mille impegni, ha saputo darmi coraggio e mi ha dedicato il suo tempo (anche di domenica!). Grazie Fabione!

Grazie anche a tutti i miei compagni di corso, nominare tutti e tutto quello che abbiamo condiviso sarebbe quasi impossibile, ma in queste due righe vi assicuro che ci siete tutti!

Grazie di cuore a mia madre e a mia sorella, non mi hanno fatto sentire mai lontano da casa e mi hanno sostenuto durante ogni singolo attimo, affinché potesse arrivare questo giorno, che dedico a loro.

*"Last but not least" ...a te! Abbiamo avuto la fortuna di poter condividere questa esperienza insieme, ci aspettavamo qualcosa di bello... è stato meraviglioso!*

