UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

FLORE
Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Diversità delle comunità fitoplanctoniche nelle acque costiere toscane

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:
Diversità delle comunità fitoplanctoniche nelle acque costiere toscane / S. Cappella; C. Nuccio; L. Lazzara. - STAMPA. - (2008), pp. 258-268.

Availability:
This version is available at: 2158/332484 since:

Publisher:
EDIZIONI ETS

Terms of use:
Open Access
La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

12 October 2024

CODICE ARMONICO
2008

Secondo congresso di scienze naturali
Ambiente toscano

A cura di Valentina Domenici, Alessandro Lenzi e Elvezio Montesarchio

Edizioni ETS

Questo volume è stato realizzato grazie al contributo di:

Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay

Comune di Rosignano Marittimo

REA Rosignano Energia Ambiente spa

Termoimpianti snc

Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay
www.musrosi.org - tel. 0586 767052 - info musrosi@tiscali.it

Comitato organizzatore:

Alessandro Lenzi, Carlo Baldacci, Sara Baldacci, Bruno Brizzi, Carla De Santi, Valentina Domenici, Pierluigi Lenzi, Laura Leoni, Giacomo Luppichini, Elvezio Montesarchio, Pierpaolo Piombanti, Alessandro Riga, Marcello Santinelli

Comitato scientifico:

Daniele Antonini, Massimo Antonini, Roberto Autieri, Bruno Brizzi, Pierdomenico burgassi, Gabriele Cacialli, Rita Cervo, Ferruccio Chiesa, Giorgio Culivicchi, Francesco Lenzi, Giacomo Lorenzini, Renzo Mazzanti, Paolo Orlandi, Carlo Pretti, Paolo Squarci

© Copyright 2008
EDIZIONI ETS
Piazza Carrara, 16-19, I-56126 Pisa
info@edizioniets.com
www.edizioniets.com

Distribuzione
PDE, Via Tevere 54, I-50019 Sesto Fiorentino [Firenze]

ISBN 978-884672019-1

indice

1. Ricostruzione della dinamica idrogeologica dell'antica cassa di colmata Tanali (ANPIL Tanali, Comune di Bientina) 9
M. Ambrosio, M.T. Fagioli, C. Curcio, R. Chierici, M. Lupi

2. Risultati dell'indagine preliminare sul Sito di Interesse Regionale "Monte Pelato", Rosignano Marittimo (LI) 20
R. Branchetti, F. Sammartino

3. *Ripple marks* e tracce fossili nelle formazioni del Cretaceo superiore del Rio Ardenza, Livorno 30
F. Sammartino, M. Bisconti, A. Borzatti de Loewenstern, E. Carnieri

4. Storia evolutiva tardo-olocenica del corso terminale del fiume Cecina 35
G. Moratti, M. Benvenuti, M. Bonini, M. Ricci, C. Tanini, P. Squarci

5. Raccontare la scienza 44
Classe 4E Liceo Scientifico "Leonardo da Vinci", Firenze

6. Calanchi e biancane, suggestive forme d'erosione nelle argille delle colline toscane 53
G. Lari

7. Rapida panoramica sullo sviluppo delle conoscenze geologiche nella provincia di Livorno e dintorni dalla metà del secolo XX 61
R. Mazzanti

8. Modificazioni ambientali e faunistiche durante l'Olocene sull'Isola di Pianosa (Arcipelago Toscano, Italia): le evidenze malacologiche 66
E. Carnieri, M. Bisconti

9. La xenodiversità animale delle acque interne italiane: la situazione in Toscana 70
E. Tricarico, S. Cianfanelli, E. Lori, A. Nocita, F. Gherardi

10. Nidificazione della Cicogna bianca (*Ciconia ciconia*) nel Comune di Cascina (PI) 77
E. Zarri

11. Il comportamento di ovoposizione nella vespa sociale *Polistes dominulus*: preliminari indizi di un comportamento ritmico 83
A. Cini, V. Lecat, T. Monnin

12. Possibile attività pronuba svolta dall'ape (*Apis mellifera*: Hymenoptera, Apoidea) nell'impollinazione dell'olivo (*Olea europaea*) 89
S. Marcucci, G. Flamini, M. Pinzauti, M. Conidi, L. Filippi, G. Bedini, A. Felicioli

13. Analisi climatica dell'isola di Pianosa 94
I. Nicotra, F.P. Vaccari, A. Crisci

14. Caratterizzazione geochimica dei suoli dell'area urbana di Siena ed utilizzo dei lombrichi come bioindicatori 103
F. Nannoni, G. Protano, F. Riccobono

15. Distribuzione, mobilità e biodisponibilità di Co, Cr, Cu, Ni, Sr e Zn nel sistema roccia-suolo-pianta in Toscana meridionale 113
S. Rossi, G. Protano, F. Riccobono

16. Contenuti e distribuzione del tallio in suoli e piante spontanee della Toscana meridionale 122
A.Pisani, G. Protano, F. Riccobono

17. Il biomonitoraggio degli inquinanti atmosferici: il caso dell'ozono 130
C. Nali, G. Lorenzini

18. Il capriolo (*Capreolus capreolus L.*) come bioindicatore della qualità dell'ambiente in Toscana meridionale 138
F. Baroni, L.A. Di Lella, A. Pisani, E Pizzetti, G. Protano, F. Riccobono

19. L'evoluzione biologica nei percorsi e nei laboratori didattici di zoologia e antropologia presso il Museo di Storia Naturale del Mediterraneo di Livorno 146
M. Bisconti, E. Carnieri, A. Roselli

20. "I Musei narrano la Scienza": un progetto educativo 153
M.R. Ghiara, C. Petti, A. Mormone, M. Rossi

21. La redazione della Carta dello Stato di Conservazione della Natura a supporto della gestione naturalistica di un Sito d'Importanza Comunitaria: il caso delle Colline delle Cerbaie e del Padule di Bientina 160
S. Bacci, A. Bernardini, R. Corsi, F. Malfanti, M. Petrolo

22. Le torbiere a sfagno della Lucchesia 166
L. Zocco Pisana, R. Narducci, P.E. Tomei

23. Dall'ambiente un aiuto per l'ambiente: l'impiego di biofitofarmaci per un'agricoltura sostenibile 170
G. Vannacci, S. Sarrocco

24. Il sistema di aree protette della Provincia di Livorno 175
F. Ruggeri

25. Una bellezza da salvaguardare: le Orchidee della costa toscana 183
G. Baldassari

26. Per una flora critica dei macromiceti nel territorio pisano 186
R. Narducci, M. Marchetti, P.E. Tomei

27. Chiave di determinazione del sottogenere *Telamonia* (*Agaricales, Cortinarius*) delle leccete toscane 190
D. Antonini, M. Antonini

28. Andar per funghi… in mare? 196
G. Vannacci

29. Catture e rendimenti da pesca di reti da posta con differenti colorazioni nel litorale di Castiglioncello (LI) 202
R. Silvestri, P. Sartor, R. Baino, B. Francesconi, M. Ria, M. Sbrana

30. Caratteristiche delle catture del rombo di rena *Bothus podas podas* (Delaroche, 1809) 205
M. Ria, R. Baino, R. Silvestri, F. Serena

31. La metodologia CARLIT nell'ambito del monitoraggio marino costiero del litorale toscano 210
D. Pelli, E. Cecchi

32. Le Secche della Meloria: un fiore all'occhiello del mare toscano 218
A.M. De Biasi, L. Pacciardi

33. Studio sulle presenze fitozoobentoniche in due aree situate tra Capo Pero e l'Isola di Palmaiola individuate come possibili siti per il deposito di piloni in cemento armato antipesca a strascico 221
R. Bedini, M. Pertusati, F. Batistini

34. Riproduzione ed allevamento dell'*Octopus vulgaris* in Toscana: ricerche e risultati nel periodo 2002-2007 229
F. Lenzi, T. De Wolf, S. Lenzi

35. Studio sulla popolazione e sulle abitudini alimentari di *Galeus melastomus* (Rafinesque, 1810) nel Mar Ligure Sud-orientale 237
G. Bulgheri, M. Scali, A. Voliani

36. L'invasione delle specie aliene e i cambiamenti climatici globali: l'esempio di *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* sulle coste italiane 243
L. Pacciardi, A.M. De Biasi

37. Controllo ambientale sulla biometria e demografia di coralli solitari nel mar Mediterraneo 248
S. Goffredo, E. Caroselli, E. Pignotti, G. Mattioli, F. Zaccanti

38. Diversità delle comunità fitoplanctoniche nelle acque costiere toscane 258
S. Cappella, C. Nuccio, L. Lazzara

39. Il pesce San Pietro 268
G. Neto

40. La mazzancolla 270
G. Neto

41. Le torpedini 272
G. Neto

42. Cervello umano: quale destino? 274
F. Chiesa

Indice alfabetico delle parole chiave 283

Indice degli Enti rappresentati 287

Diversità delle comunità fitoplanctoniche nelle acque costiere toscane

Silvia Cappella[1], Caterina Nuccio*[1], Luigi Lazzara[2]

Parole chiave: fitoplancton, diversità specifica, acque costiere toscane, BioMarT

Una delle caratteristiche più note delle comunità fitoplanctoniche è la grande diversità specifica, evidenziabile anche dall'osservazione di piccoli campioni d'acqua in cui si ha la contemporanea presenza, seppur per breve tempo e con abbondanze non elevate, di una grande varietà di specie, che contribuiscono a strutturare comunità complesse e diversificate. Queste comunità variano inoltre la loro composizione al variare delle condizioni ambientali, sia in senso spaziale che temporale e, alle latitudini temperate, determinano una successione stagionale con caratteristiche evidenti e riconoscibili anche in base alla struttura dei popolamenti e quindi alla diversità. Condizioni fortemente perturbate, come nel caso delle acque eutrofizzate, favoriscono lo sviluppo eccessivo solo di poche specie, evidenziando una riduzione della diversità, che quindi diventa un fondamentale elemento di valutazione della qualità delle acque.

A questo scopo si è fatto finalmente strada nell'ultimo decennio il concetto di «stato ecologico», come espressione integrata di caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche da valutare ai fini del controllo, della conservazione e della gestione degli habitat acquatici, come stabilito dalla Direttiva 2000/60/CE sulle acque. In questo senso la Regione Toscana, in collaborazione con ARPAT e Museo «La Specola» di Firenze, ha promosso il progetto BioMarT (Biodiversità Marina Toscana), mirato proprio alla valutazione della biodiversità delle comunità fito- e zoobentoniche lungo le coste toscane. Nell'ambito dei rilevamenti BioMarT è stata effettuata una prima raccolta di campioni per la valutazione dell'abbondanza, della composizione e della diversità specifica delle comunità fitoplanctoniche, insieme a quella delle condizioni trofiche (nutrienti e biomassa autotrofa), in alcuni punti ritenuti rappresentativi delle acque costiere toscane (Cala di Forno, Cerboli, Calafuria).

I risultati hanno evidenziato condizioni oligotrofiche e di debole mesotrofia e popolamenti fitoplanctonici non abbondanti, non oltre l'ordine di grandezza di 10^5 cell L^{-1}. Domina numericamente la frazione nanoplanctonica (2-20 µm), con molti flagellati appartenenti a diverse classi, ma sono presenti anche molte forme microplanctoniche (20-200 µm), soprattutto diatomee, che contribuiscono alla grande varietà di specie rilevata in ogni campione. La biodiversità è infatti generalmente alta, sia nell'aspetto della ricchezza specifica (280 taxa in totale) che in quello della equitabilità, come indicano gli alti valori dell'indice di Shannon, che varia tra 3 e 5 bits $cell^{-1}$. Le comunità presentano dei tratti caratteristici con una variazione stagionale abbastanza evidente dalla composizione, senza fioriture anomale, ma anzi con una presenza costante di una grande varietà di organismi, a delineare una complessità e una diversificazione fitoplanctoniche riferibili a un ecosistema marino costiero in condizioni non degradate.

Introduzione

Il fitoplancton rappresenta la componente dei produttori primari vivente in sospensione nella colonna d'acqua (pelagica), più diffusa e ubiquitaria, con dimensioni (unicellulari) e morfologie (tendenti al massimo rapporto superficie/volume) ritenute adattamenti specifici all'ambiente acquatico per una ottimale assimilazione nutritizia e una opposizione all'affondamento.
Già dal secolo scorso [1] è nota l'alta diversità che si riscontra nelle comunità fitoplanctoniche, definita come «il paradosso del plancton» per il fatto che anche campioni di piccolissimi volumi d'acqua contengono un gran numero di specie coesistenti. Lo sviluppo delle ricerche condotte sulla dinamica di queste comunità, ha successivamente permesso [2] di chiarire che il fitoplancton è stato considerato un paradosso solo perché lo si è studiato secondo una scala di riferimento troppo vasta, combinando processi che agiscono su scale diverse. L'ambiente acquatico, pur potendo essere considerato relativamente isotropo nella scala spaziale delle masse d'acqua superficiali, aventi caratteristiche più (temperatura, salinità) o meno (nutrienti) conservative in un arco di tempo stagionale, presenta al contrario un'alta variabilità delle stesse condizioni in quelle scale spazio-temporali che direttamente riguardano l'accrescimento e l'assimilazione del fitoplancton, cioè l'ambito spaziale micrometrico e temporale di minuti-giorni. Questa ampia «chiazzatura» a piccola scala dell'ambiente può quindi consentire lo sviluppo e la contemporanea presenza di un grande numero di specie.
La diversità del fitoplancton presenta inoltre, particolarmente nei cicli stagionali delle nostre latitudini, una variazione temporale dovuta ai cambiamenti della composizione, alle interazioni tra il raggruppamento di specie presenti e alle opportunità presentate dalle risorse ambientali e dalla loro ripartizione, che può essere considerata rappresentativa dei diversi stadi della successione fitoplanctonica ed esserne quindi attributo di riconoscimento in condizioni non perturbate [3] [4]. Schematizzando, lo stadio iniziale si considera quello della fioritura primaverile in un ambiente ricco di risorse dove la diversità è bassa per la dominanza della/e specie in accrescimento, poi la diversità aumenta fino ad un massimo valore rappresentativo della massima ripartizione delle ormai scarse risorse disponibili e quindi della fase più matura della successione. Le diverse situazioni sono evidenziabili dalle cosiddette «curve rango-frequenza» che assumono forme diverse nei diversi stadi [5].
Lo studio sintetizzato in questo articolo si inserisce da una parte all'interno della continuità di ricerche sulla ecologia del fitoplancton neritico ed oceanico dell'Alto Tirreno Toscano svolte da anni dall'Università di Firenze [6] [7] [8] [9], dall'altra nell'ambito dei progetti promossi dalla Comunità Europea relativi alla valutazione dello stato ecologico delle acque costiere degli stati membri. Valutazione che si fonda non solo sui dati abiotici, ma anche e soprattutto su quelli biotici, cioè sulla conoscenza delle caratteristiche delle varie comunità (fitobenthos, zoobenthos, angiosperme, fitoplancton) definite *Biological Quality Elements*, cioè gli elementi di qualità biologica a cui fare riferimento per le classificazioni [10].
In questo ambito, la Regione Toscana ha elaborato un programma mirato alla valutazione della biodiversità marina in Toscana (BioMarT) in collaborazione con ARPAT ed il Museo «La Specola» di Firenze. È stato previsto lo studio delle comunità fito- e zoobentoniche dei litorali toscani rocciosi e sabbiosi per la definizione di un repertorio naturalistico, l'individuazione delle biocenosi vulnerabili, delle specie rare e dei siti di elevato interesse conservazionistico nel mare della Toscana. A questo si è affiancata la descrizione delle condizioni fisiche e trofiche delle acque e della consistenza, composizione e diversità delle comunità fitoplanctoniche, ulteriore elemento fondamentale della rete trofica marina per valutare lo stato delle acque costiere. In questo lavoro vengono descritti i primi risutati ottenuti nel tentativo di fornire informazioni sulla biodiversità fitoplanctonica come indice dello stato di salute delle acque costiere toscane e sull'eventuale grado di cambiamento che i luoghi possono avere subito nel corso del tempo.

gli autori

[1] **Dipartimento di Biologia Vegetale, Università di Firenze, Via P.A. Micheli 1 50121 Firenze**

[2] **Dipartimento di Biologia Animale e Genetica, Università di Firenze, Via Romana 17 - 50121 Firenze**
luigi.lazzara@unifi.it

*** autore per corrispondenza**
catnuccio@unifi.it

Materiali e metodi

Le campagne di rilevamento si sono svolte dal giugno 2005 in collaborazione tra il Dipartimento di Biologia Animale e Genetica e il Dipartimento di Biologia Vegetale. Sono state effettuate nove uscite in mare in stagioni diverse, in tre dei siti campionati nell'ambito del progetto BioMarT, aree ritenute rappresentative delle coste toscane (figura 1), anche in riferimento alle informazioni pregresse di cui disponiamo: due stazioni antistanti la costa del Parco dell'Uccellina, davanti alla spiaggia di Cala di Forno, denominate CdF10 a circa 700 m dalla costa e con fondale intorno a 10 m, e CdF20 a circa 800 m dalla costa e con fondale intorno a 20 m, una stazione in prossimità dell'isolotto di Cerboli situato nel canale di Piombino, a distanza di circa 1300 m dalla costa e fondale di circa 30 m, e la stazione di Calafuria, di fronte all'omonima località della costa toscana più settentrionale a distanza di circa 300 m dalla costa e fondale di circa 40 m.

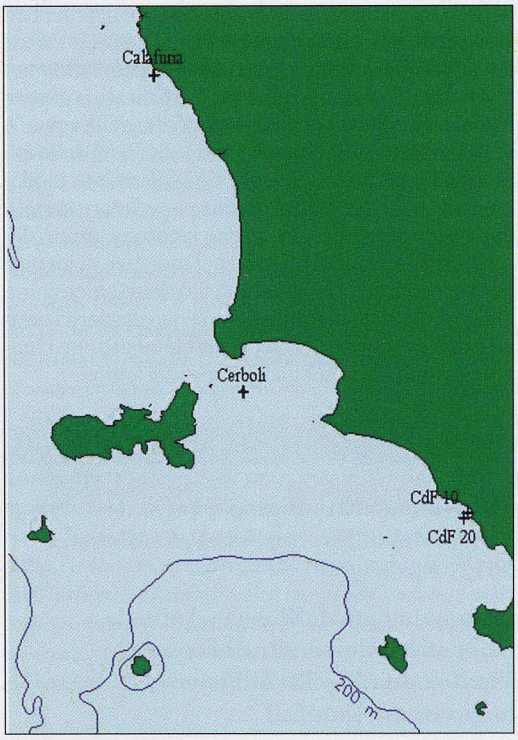

Figura 1: Ubicazione delle stazioni di campionamento.

In tutte le stazioni sono stati effettuati profili batimetrici di temperatura, conducibilità, salinità e ossigeno disciolto mediante sonda multiparametrica (Idronaut Ocean Seven 701) e prelievi di acqua alle varie profondità, destinati alle analisi chimiche e biologiche. I campioni d'acqua sono stati raccolti mediante bottiglie Niskin da 5 L e portati nel più breve tempo possibile nei laboratori a Firenze per le filtrazioni e i trattamenti necessari alle analisi. 3 L di acqua per ogni profondità sono stati filtrati sottovuoto su filtri Whatman GF/F per la successiva estrazione e determinazione dei pigmenti liposolubili mediante spettrofluorimetria (Perkin Elmer LS5) [11] [12] e HPLC (Shimadzu Class VP) [13] [14]. Una quota variabile tra 1 e 2 L di acqua è stata filtrata utilizzando lo stesso tipo di filtri, per la determinazione del peso secco (80° C per 24 ore) e del peso secco meno le ceneri (380° C per 48 ore). 100 ml di acqua filtrata sono stati fissati con $HgCl_2$ per la successiva determinazione dei nutrienti inorganici disciolti ($N\text{-}NO_2^-$, $N\text{-}NO_3^-$, $P\text{-}PO_4^{2-}$, $S\text{-}SiO_2^-$) mediante AutoAnalyzer 3 (Bran-Luebbe). 250 ml di acqua prelevata sono stati fissati con formaldeide neutralizzata (concentrazione finale 1%), per l'osservazione del fitoplancton al microscopio ottico rovesciato (Zeiss IM, Zeiss IM35) dopo sedimentazione (50 o 100 ml) su camere di conteggio. Su ogni campione sono state effettuate due osservazioni: a 400x su una porzione dell'area di sedimentazione fino a raggiungere un numero di almeno 200 individui contando tutti gli organismi incontrati e questi sono i conteggi trattati nel seguito dei risultati; a 160x su tutta l'area di sedimentazione, per la quantificazione del solo microplancton (20-200 µm) che solitamente è presente in quantità notevolmente minore della componente nanoplanctonica. Tutte le analisi sono state condotte con metodologie standard [15] a cui si fa riferimento anche per i testi consultati per la determinazione del fitoplancton. Nella categoria «Altro plancton» sono inseriti flagellati nanoplanctonici, alcuni di incerta determinazione con morfologie assimilabili a diversi gruppi autotrofi, mixotrofi ed eterotrofi (*Prasinophyceae, Dictyochophyceae, Chrysophyceae,* Incertae sedis). Per il calcolo della diversità specifica è stato utilizzato l'indice di Shannon [16] che, calcolato per ognuno dei campioni osservati, è assimilabile ad una diversità, cioè come quella del più piccolo campione analizzabile.

Risultati

Le comunità fitoplanctoniche si sono caratterizzate per scarse densità cellulari, in tutti i siti e i mesi campionati (figura 2). Le densità più elevate, inferiori a 200000 cell L^{-1}, sono state riscontrate a settembre nello strato più superficiale, sia a Calafuria che a Cala di Forno (figura 2b, h, j). I minimi si osservano nei mesi autunno-invernali (figura 2c, f) e in estate (figura 2e, g, i), intorno a 20000 cell L^{-1}. Negli unici due rilievi primaverili (figura 2a, d) si notano di nuovo valori un po' più alti, soprattutto a Cerboli.

Osservando la composizione tassonomica si possono sintetizzare alcune caratteristiche generali sulla variazione temporale dei diversi gruppi fitoplanctonici. Le diatomee sono scarsamente presenti ma determinano le abbondanze massime a settembre a Calafuria, hanno una certa importanza relativa in autunno-inverno (figura 2c, f) e appaiono più presenti anche in estate a Cala di Forno (figura 2g, i) soprattutto con forme bentoniche appartenenti alle *Pennales* che in acque basse facilmente si risospendono e vanno a far parte del popolamento planctonico. I dinoflagellati sono presenti con maggiore importanza relativa in tarda primavera-estate (figura 2a, b, e, g, i) ma non oltre un 25% circa. I coccolitofori (*Haptophyceae*) sono più presenti in estate (figura 2e, g, i), sia a Cala di Forno che a Cerboli, dove rappresentano rispettivamente dal 25 al 50% circa del popolamento, soprattutto per la presenza di *Emiliania*

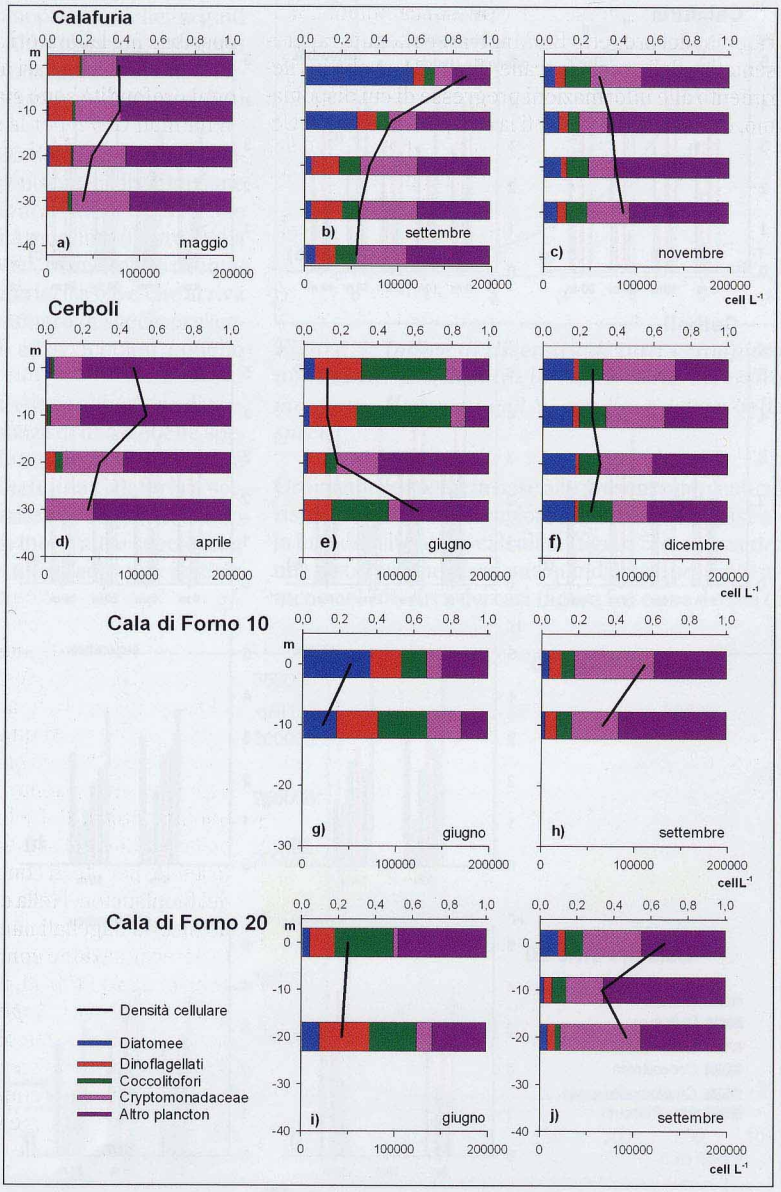

Figura 2: Profili verticali di densità cellulare totale e densità relative dei diversi gruppi fitoplanctonici nei tre siti e nei mesi indicati.

huxleyi, una delle specie più diffuse e abbondanti del Mediterraneo. Alcune *Cryptomonadaceae*, relativamente più tipiche di acque costiere, sono più costantemente presenti con importanza relativa variabile tra minimi contributi estivi e massimi, fino al 40%, in autunno–inverno determinando infatti, insieme ai flagellati del gruppo Altro plancton, gli aumenti di densità visibili a settembre (figura 2h, j). Questo gruppo contribuisce spesso notevolmente alle densità totali, particolarmente in primavera (figura 2a, d) soprattutto a Cerboli e nei periodi autunnali (figura 2c, h, j), ma si tratta di una ventina di specie nanoplanctoniche di classi diverse per le quali è più difficile riconoscere univocità di comportamento.

Dalle osservazioni microscopiche abbiamo individuato un totale di 280 specie a diversi livelli di identificazione, dalla sola appartenenza alla classe fino alla varietà, in relazione al gruppo di appartenenza. Tra queste, 186 appartengono al microplancton (20-200 µm) che raramente domina in densità cellulari, al contrario del nanoplancton (2-20 µm), ma che contribuisce decisamente alla ricchezza specifica, soprattutto per la diffusa presenza di molte specie con scarse quantità. Questa considerazione mette in luce proprio uno degli aspetti più evidenti di queste comunità: la grande diversità specifica, cioè la presenza in tutti i periodi di un grande numero di specie coesistenti.

L'analisi dell'indice di

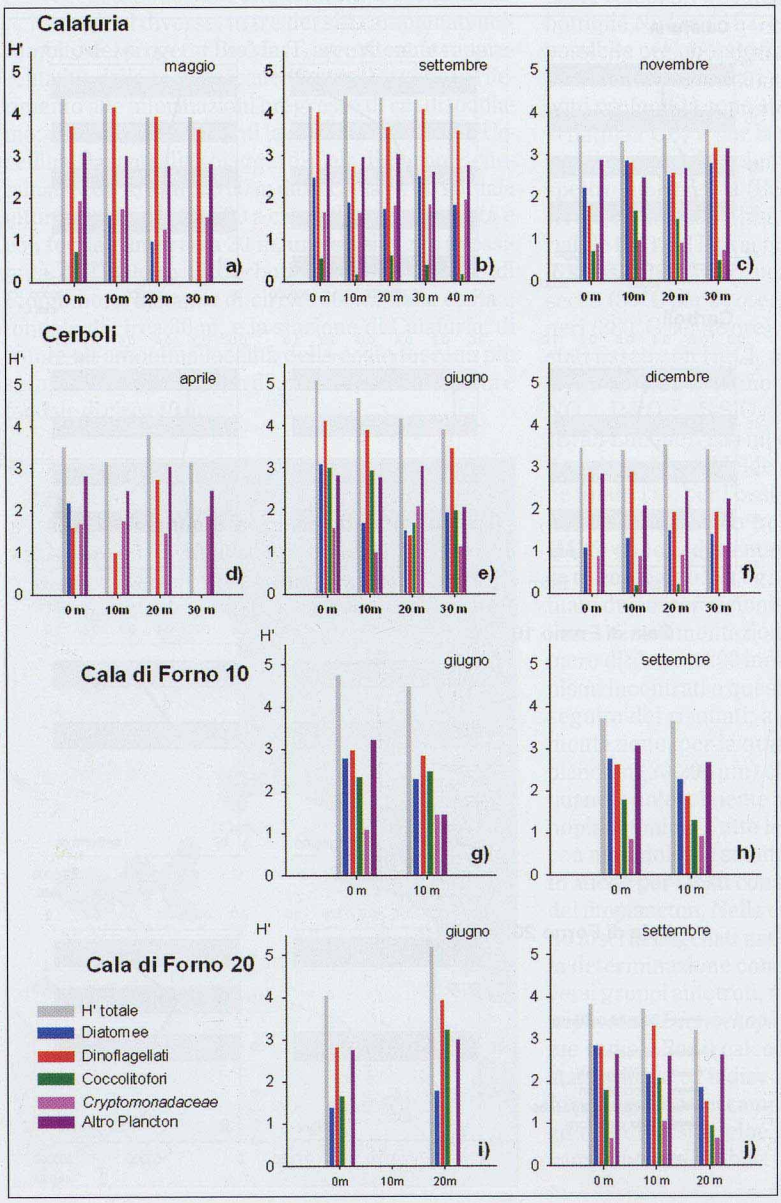

Figura 3: Diversità totale e dei diversi gruppi fitoplanctonici (H' = bit cell-1) nei tre siti e nei mesi indicati.

Shannon (H'), evidenzia valori generalmente alti con massimi intorno a 5 bit cell^{-1} ricorrenti soprattutto a giugno (figura 3e, g, i) e minimi, non inferiori a 3 bit cell^{-1}, inverno-primaverili (figura 3c, d, f). I dinoflagellati contribuiscono maggiormente alla diversità (figura 3), particolarmente per la presenza di un grande numero di forme atecate nanoplanctoniche, seguiti dai flagellati raggruppati in Altro plancton, categoria costantemente presente con una grande varietà di forme. Calafuria presenta minori variazioni stagionali e i valori più alti a settembre.

Le caratteristiche e le variazioni della diversità specifica sono sintetizzabili confrontando la distribuzione dei valori calcolati in relazione al numero di specie presenti rispetto alla diversità massima (figura 4). La diversità varia tra 3 e 5 bit cell^{-1}, in un ambito di equitabilità ($e = H'/H_{max}$) mai inferiore a 0.6 e che arriva anche a 0.9: in relazione al numero di specie presente ogni volta, l'indice tende ad avvicinarsi a quello massimo possibile.

Non abbiamo campionato nessuna situazione di piena fioritura con forte dominanza di una o poche specie sulle altre; l'unica evidente dominanza è stata quella di *Asterionellopsis glacialis* a Calafuria a settembre, forse già in fase calante e in un popolamento comunque ricco (58 taxa) di molte altre specie, che potrebbe appunto indicare uno stadio non iniziale della successione stagionale.

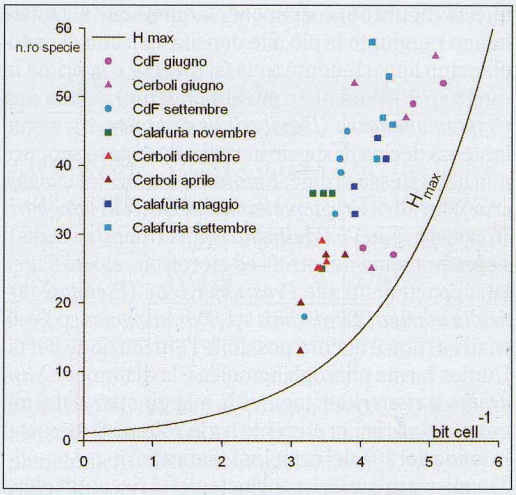

Figura 4: Indice di diversità di tutti i campioni analizzati. È tracciata la curva della diversità massima, Hmax = Log2 S, con S = numero delle specie.

Ordinando le specie in base alle presenze percentuali rispetto al totale dei campioni (figura 5a) ed in base alla loro densità totale calcolata (figura 5b), si osserva una distribuzione in cui una quindicina è presente almeno nel 70% circa dei casi (figura 5a) e una decina di

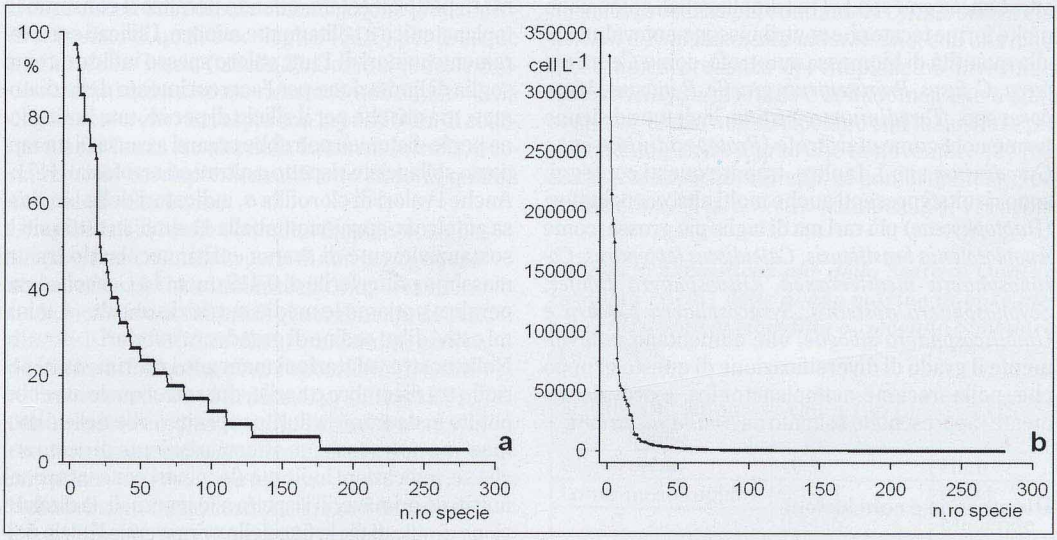

Figura 5: Distribuzione di tutte le specie fitoplanctoniche ordinate: a) in base alle presenze relative; b) in base alla densità totale (somma delle densità cellulari di ogni campione).

queste (figura 5b) corrisponde a quelle che nel totale hanno raggiunto le più alte densità. Si tratta di nanoplancton appartenente a classi diverse e la prima in rango (più frequente e più abbondante) risulta una *Cryptomonadacea* (*Plagioselmis* cf. *prolonga*), segue la stessa decina di specie in tutti e due i casi, seppure non nello stesso ordine: *Emiliania huxleyi* (*Haptophyceae*), un'altra *Cryptomonadacea*, *Ollicola vangoorii* (*Chrysophyceae*) e *Paulinella ovalis* (Incertae sedis), rispettivamente mixotrofa ed eterotrofa, alcuni flagellati appartenenti alle *Prasinophyceae* (*Pseudoscourfieldia marina*, *Tetraselmis* sp., *Pyramimonas* sp.) e altri di cui non è ancora possibile l'attribuzione certa. L'unica forma microplanctonica è la diatomea *Cylindrotheca closterium*, mentre la maggior parte del microplancton risulta presente tra le 200 specie presenti in meno del 10% dei campioni (figura 5a).
Tra gli organismi microplanctonici si riscontra quasi costantemente la dominanza delle diatomee con alcune specie presenti in maniera più indifferenziata o con maggiore presenza nei mesi invernali (*Lioloma pacificum*, *Licmophora gracilis*, *Asterionellopsis glacialis*, *Thalassionema nitzschioides*), altre, appartenenti alle *Centrales*, più tipicamente invernali (*Chaetoceros* spp.) o estive (*Proboscia alata*, *Leptocylindrus danicus*, *Guinardia striata*) e una notevole presenza in tarda estate-autunno, quando si verifica la fioritura di *Asterionellopsis glacialis* insieme ad una certa quantità di altre forme tipiche (*Pseudonitzschia* spp., altri *Chaetoceros* spp.). Tra i dinoflagellati compaiono molte forme tecate che contribuiscono notevolmente alla quantità di biomassa autotrofa, come *Ceratium furca*, *C. fusus*, *Prorocentrum gracile*, *P. micans*, *Mesoporos* spp., *Torodinium robustum*, insieme ad alcune forme note come eterotrofe (*Protoperidinium* spp., *Gyrodinium* spp.). Inoltre, tramite questi conteggi, sono risultati presenti anche molti altri coccolitofori (*Haptophyceae*) più rari ma di taglia più grossa, come *Anoplosolenia brasiliensis*, *Calcidiscus leptoporus*, *Coronosphaera mediterranea*, *Discosphaera tubifer*, *Scyphosphaera apsteinii*, *Syracosphaera pulchra* e *Umbilicosphaera sibogae*, che aumentano notevolmente il grado di diversificazione di questo gruppo che, nella frazione nanoplanctonica, è prevalentemente rappresentato soltanto da *Emiliania huxleyi*.

Discussione e conclusioni

L'indagine effettuata sulla componente fitoplanctonica delle acque costiere toscane nel contesto del progetto BioMarT non è stata certamente esaustiva per quanto riguarda la ricostruzione dell'intero ciclo annuale di variazione di queste comunità. Abbiamo però delineato un quadro aggiornato sia sulle condizioni ambientali, particolarmente sullo stato trofico, sia sulle caratteristiche fondamentali delle comunità fitoplanctoniche che ci permette così di esprimere una valutazione sullo stato delle acque al presente in confronto alle conoscenze precedentemente acquisite.
Le sostanze nutritizie ed i loro rapporti sono fattori fondamentali che influenzano lo sviluppo del fitoplancton ed è da considerarsi normale che le acque costiere siano più eutrofiche delle acque marine del largo, per gli apporti terrigeni naturali e a causa delle attività antropiche, di modo che è maggiore l'eventualità di fioriture anomale che determinino alterazioni nell'ecosistema. Le condizioni trofiche delle acque toscane (tabella 1) non appaiono differenziabili tra i siti, con concentrazioni nutritizie generalmente basse, soprattutto del fosforo, spesso al limite di rilevabilità, e variazioni riconducibili ai normali cicli stagionali di disponibilità e consumo senza particolari apporti anomali: le concentrazioni più alte sono in inverno, quando sono maggiori sia gli apporti terrigeni che quelli dovuti all'isopicnia delle acque, ed i minimi sono estivi, per le ragioni opposte. La situazione dei rapporti tra nutrienti, come già evidenziato nelle acque dell'Arcipelago Toscano [9] [17], ha indicato una maggiore fosforo carenza nei mesi inverno-primaverili rispetto all'estate, quando peraltro il consumo fitoplanctonico è solitamente minore. I silicati sono raramente minori di 1 µm, valore spesso indicato come soglia di limitazione per l'accrescimento delle diatomee, ma più che per il silicio di per sè, una limitazione per le diatomee potrebbe crearsi a causa di un rapporto sbilanciato rispetto a nitrati ed ortofosfati [17].
Anche i valori di clorofilla *a*, indicatori della biomassa autotrofa, appaiono (tabella 1) simili in tutti i siti e sostanzialmente di scarsa entità, oscillando tra un massimo primaverile di 0.419 mg m^{-3} a Cerboli, dove peraltro notiamo le medie nutritizie più alte, e minimi estivi di un ordine di grandezza inferiori.
Nelle nostre valutazioni mancano i riferimenti al periodo tra dicembre e aprile, durante il quale avrebbe potuto instaurarsi la fioritura primaverile delle diatomee, ma non possiamo affermare niente di certo anche se, indicazioni indirette (le minori concentrazioni nutritizie primaverili rispetto alle invernali, la diminuzione di silicati tra la fine della primavera e l'inizio dell'estate, l'aumento di contributo della frazione organica al particellato totale sempre nello stesso periodo)

Tabella 1: Concentrazioni medie + deviazione standard, massimi e minimi dei nutrienti (?M), di clorofilla a (chl, mg m-3) e delle densità cellulari totali (cell L-1).

Località	NO_2+NO_3	PO_4	SiO_2	Chl	dens. cell.
Cala di Forno	0.948 ± 0.917	0.049 ± 0.022	1.761 ± 0.295	0.144 ± 0.028	70188 ± 35068
Cerboli	1.306 ± 0.699	0.055 ± 0.029	2.144 ± 0.654	0.241 ± 0.118	61176 ± 31096
Calafuria	0.517 ± 0.421	0.036 ± 0.026	1.642 ± 0.272	0.222 ± 0.079	75342 ± 32262
media	0.922 ± 0.749	0.046 ± 0.027	1.856 ± 0.495	0.217 ± 0.099	68978 ± 32209
max	3.248	0.128	2.894	0.419	170476
min	0.749	0.027	0.495	0.052	21542

sembrerebbero supportare questa ipotesi [17].
Da un primo confronto con i dati pregressi acquisiti lungo il litorale toscano si evidenzia che le acque dell'Uccellina negli anni '70 [6], mostravano un forte arricchimento invernale di nitrati (fino a 6 ?M) che permanevano poi intorno a 1 µM per il resto dell'anno. Le indagini ripetute negli anni '80 [18] hanno evidenziato una maggiore variabilità, soprattutto con concentrazioni molto alte di nutrienti e irregolarità nel ciclo della clorofilla *a* che raggiungeva 1 mg m^{-3}. Medie annuali di ordine simile sono state rilevate anche alla fine degli anni '90 nelle acque di Giglio e Giannutri [9]. Si evidenzia quindi uno stato oligotrofico, con concentrazioni nutritizie e di clorofilla *a* simili o più basse di quelle medie dei cicli stagionali passati, confrontabili con una recente classificazione [19] che indica lo stato di qualità ecologica (EQS) per le acque marine della Grecia (tabella 2). Come si vede, le concentrazioni qui mostrate rientrano nell'ambito della oligo- mesotrofia, tutt'al più con la possibilità di collocarsi nella fascia più alta della bassa mesotrofia, e comunque in corrispondenza di uno stato di qualità delle acque alto-buono.
Le osservazioni sulle comunità fitoplanctoniche, seppure frammentate in periodi non contigui, mostrano una relativa similarità di comportamento tra le località: densità totali generalmente dell'ordine di 10^4 cell L^{-1} (tabella 1) con minimi estivi a dominanza di dinoflagellati e coccolitofori, fioriture limitate non oltre l'ordine di grandezza di 10^5 cell L^{-1} dovute a diatomee, in primavera o tarda estate, oppure a *Cryptomonadaceae*, sempre in primavera, o a *Emiliania huxleyi*.
Nelle prime indagini condotte lungo il litorale dell'Uccellina [7], la presenza e le fioriture di diatomee erano molto più abbondanti che nei nostri campioni, forse appunto favorite dalle condizioni nutritizie più ricche favorevoli ad accrescimenti consistenti (fino a 800000 cell L^{-1}) di diatomee nanoplanctoniche (*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp. *Chaetoceros* spp.), solitamente più tipiche di ambienti eutrofici. Nei nostri campioni la presenza delle diatomee è data da una grande varietà di specie microplanctoniche con scarse densità e che possono accrescersi forse in seguito a input di nutrienti che non costituiscono, lungo le coste toscane indagate, uno stato continuo di eutrofia.
Rispetto alle brevi serie temporali degli anni '80 e '90 nelle acque dell'Arcipelago [9] [17], possiamo senz'altro confermare alcune caratteristiche stagionali delle comunità fitoplanctoniche e della presenza di alcune specie. Per le diatomee *Pennales* si conferma la presenza più continua di *Cylindrotheca closterium* e *Thalassionema nitzschioides*, con una maggiore tipica presenza del fitoplancton invernale; *Asterionellopsis glacialis* è la diatomea che è stata sempre rilevata nell'Arcipelago con le fioriture più abbondanti, sia in marzo che in novembre [8] [9], anche *Pseudonitzschia* spp. si conferma maggiormente nei mesi tardo estivi-autunnali [9]. Tra le dia-

Tabella 2: Classificazione dello Stato di Qualità Ecologia (EQS) delle acque marine in base alle concentrazioni di clorofilla a, secondo Simboura et al., 2005.

Eutrophication scale	Chl *a* (g/L)	EQS
Oligotrophic	<0.1	High
Lower mesotrophic	0.1-0.4	Good
	0.4-0.6	Moderate
Higher mesotrophic	0.6-2.21	Poor
Eutrophic	>2.21	Bad

tomee *Centrales,* si conferma la maggior tipicità estiva di *Proboscia alata*, *Leptocylindrus danicus*, *Guinardia striata* mentre *Chaetoceros* spp. è prevalentemente invernale [9].
Riguardo alle altre classi fitoplanctoniche le determinazioni tassonomiche sono risultate in molte occasioni meno certe ma possiamo comunque sottolineare le caratteristiche stagionali fondamentali che vedono, tra i dinoflagellati, la dominanza di tecati microplanctonici (*Ceratium* spp., *Prorocentrum* spp.) in tarda primavera e nanoplanctonici (*Heterocapsa* spp.) in estate insieme a *Gymnodiniaceae* sempre prevalentemente nanoplanctoniche. Le *Cryptomonadaceae* appaiono presenti durante tutto l'anno, con una prevalenza tra l'inverno e la primavera, come già evidenziato [9] [20], tra i coccolitofori, *Emiliania huxleyi* è la specie più presente e più abbondante con dei massimi estivi. Riguardo a tutto il gruppo di Altro Plancton è evidente che questo risulta una parte spesso maggioritaria per quanto riguarda le densità numeriche dei popolamenti fitoplanctonici, che potrebbe quindi influenzare anche le componenti zooplanctoniche, ma è al momento difficile poterlo meglio caratterizzare dal punto di vista della composizione, data la fragilità e le scarse evidenze morfologiche degli organismi. Anche questo popolamento si presenta molto differenziato e non si sono mai verificate fioriture anomale.
Un'ultima osservazione sulla composizione dei popolamenti riguarda la presenza di specie tossiche o potenzialmente tossiche: oltre alla diatomea *Pseudonitzschia* spp. sono state osservate alcuni dinoflagellati (*Akashivo sanguineum*, *Prorocentrum lima*, *Prorocentrum minimum*, *Dinophysis sacculus*) ma in casi sporadici e con un numero estremamente esiguo di individui che, almeno al momento, non fanno pensare alla possibilità di accumulo di sostanze tossiche nell'ambiente o negli organismi vettori.
Una caratteristica fondamentale di queste comunità che si succedono nel corso dell'anno è l'alta diversità specifica. Un primo dato di ricchezza specifica è il numero di taxa individuati, 280, e la costante copresenza nei campioni di un alto numero di specie con un basso numero di individui. Tutti i valori dell'Indice di Shannon evidenziano un'alta equitabilità, soprattutto in estate, periodo dello stadio maturo della successione fitoplanctonica. La rappresentazione delle curve di distribuzione degli individui tra le specie [16], che abbiamo elaborato [17] ma qui non mostriamo per brevità, disegna quasi sempre distribuzioni di tipo «geometrico» o a «bastone spezzato», cioè quelle che rappresentano stadi avanzati della successione fitoplanctonica in un ambiente con le risorse totalmente ripartite tra gli individui e che sono già note nell'ambiente Mediterraneo [5]. Ciò significa che non abbiamo colto gli eventuali momenti di piena fioritura e che si conferma possibile una generale limitazione ad abbondanti accrescimenti dovuta all'oligotrofia ma che l'ambiente determina una forte differenziazione delle comunità fitoplanctoniche nano- e microplanctoniche che porta al massimo sfruttamento delle risorse disponibili.
Possiamo in conclusione affermare che, nell'ambito dei dati raccolti e analizzati, le acque costiere toscane non presentano particolari anomalie che facciano pensare a disturbi o perturbazioni che possano determinare situazioni di emergenza, come le fioriture fitoplanctoniche di anomala abbondanza o addirittura tossiche, da cui si possono sviluppare poi le condizioni a rischio per tutto il sistema, come l'eccesso di sostanza organica e l'eventuale stato di anossia conseguente. Sarebbe interessante poter sviluppare queste prime conclusioni tramite il monitoraggio di un intero ciclo annuale con campionamenti più frequenti in tutte le stagioni e poter approfondire la tassonomia delle specie presenti per poter avere un quadro più completo ed esauriente delle caratteristiche del fitoplancton costiero toscano.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato concontributo della Regione Toscana, Progetto BioMarT.

Bibliografia

[1] G.E. Hutchinson, Am. Nat. 1961, XCV-882: 137.
[2] G.P. Harris, Phytoplankton ecology, structure, function and fluctuation. Chapman and Hall, London: 1986, 384 pp.
[3] R. Margalef, Adv. Front. Plant Sci. 1963, 2: 137.
[4] C.S. Reynolds, Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge: 2006, 535 pp.
[5] G. Jacques, P. Tréguer, Écosystèmes pélagiques marins. Masson, Paris: 1986, 243 pp.
[6] C.R. Lenzi Grillini, L. Lazzara. Giorn. Bot. It. 1978, 112 (3): 157.

[7] C.R. Lenzi Grillini, L. Lazzara. Giorn. Bot. It. 1980, 114 (5): 199.
[8] C. Nuccio, M. Innamorati, L. Lazzara, A. Mancuso. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A 1995, Suppl. CII: 151.
[9] M. Innamorati, G. Mori, C. Nuccio, L. Massi, C. Melillo, M. Mannucci, B. Terreri, A. De Pasquale, F. Polonelli. Indagine sulle mucillaggini nel Mar Tirreno. In: Processi di formazione delle Mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno (MAT). Rapporto finale, ICRAM, Roma: 2003.
[10] G. Casazza, C. Lopez Y Royo, E. Spada, C. Silvestri. Proceedings of the Seventh International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, Medcoast 05, Ozhan, 2005: 755.
[11] O. Holm-Hansen, C.J. Lorenzen, R.W. Holmes, Strickland J.D.H. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 1965, 30: 3.
[12] L. Lazzara, L. Massi, C. Nuccio, N. Biondi, M. Innamorati. Nat. Progr. Ant. Res., ROSSMIZE 93-95, Data Rep. I, 1997: 229.
[13] F. Vidussi, H. Claustre, J. Bustillos-Guzmán, C. Cailleau, J.C. Marty. J. Plank. Res. 1996, 18: 2377.
[14] R.G. Barlow, D.G.Cummings, S.W. Gibb. Mar. Ecol. Prog. Ser. 1997, 161: 303.
[15] M. Innamorati, I. Ferrari, D. Marino, M. Ribera D'Alcalà (a cura di), Metodi nell'ecologia del plancton marino. Nova Thalassia 1990, 11: 372 pp.
[16] E.P. Odum, Basi di ecologia. Piccin Nuova Libreria, Padova: 1988, 494 pp.
[17] S. Cappella. Diversità delle comunità fitoplanctoniche nelle acque costiere toscane. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Biologiche, Università di Firenze, Firenze: 2007, 82 pp.
[18] G. Mori, M. Innamorati, L: Massi, C. Nuccio, F. Lavista, L. Nidiaci. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A 1995, Suppl. CII: 281.
[19] N. Simboura, P. Panayotidis, E. Papathanassiou. Ecological Indicators 2005, 5: 253.
[20] M. Innamorati, L. Lazzara, C. Nuccio, P. Senesi, G. Buracchi. Oebalia 1990, XVI-1: 93.