

*Un viaggio di mille miglia  
deve cominciare con un solo passo .? .*

*(Lao Tzu)*



*Ad Alessandro, Mamma, Papà  
e Valentina*

## INDICE

Capitolo 1. Obiettivo della ricerca.....	Pag.1
Capitolo 2 . Introduzione.....	Pag.3
2.1 Il Fitoplancton.....	Pag.2
2.2 Cenni di sistematica del Fitoplancton.....	Pag.6
2.3 Il Fitoplancton Costiero.....	Pag.14
2.4 Fattori ecologici e dinamica del fitoplancton....	Pag.17
2.5 Variabili fisico-chimiche.....	Pag.17
2.6 Dinamica delle comunità fitoplanctoniche.....	Pag.32
2.7 La produzione primaria in mare.....	Pag.33
Capitolo 3 Materiali e Metodi.....	Pag.37
Capitolo 4 Risultati .....	Pag.42
Capitolo 5 Discussione e Conclusioni .....	Pag.106
Bibliografia.....	Pag.111

# Capitolo I

## Obiettivo della ricerca

Questo lavoro di tesi rappresenta il primo studio teso ad inquadrare, in maniera organica, la dinamica delle principali comunità fitoplanctoniche presenti in un ambiente marino della costa calabrese.

Sul fitoplancton delle coste calabresi i dati scientifici in letteratura sono pressochè assenti, a meno di qualche studio puntuale, non molto recente, e di attività generali di monitoraggio legate a direttive ministeriali.

A fronte di ciò, c'è comunque un crescente interesse per le risorse marine, ed il fitoplancton, ponendosi alla base della catena trofica, svolge un ruolo di primaria importanza. La produzione primaria fitoplanctonica garantisce infatti il flusso di materia ed energia necessario per il mantenimento degli organismi eterotrofi; ne consegue che eventuali alterazioni a carico della comunità fitoplanctonica, prodotte da effetti tossici o eutrofizzanti, possono modificare la struttura e il funzionamento di un intero ecosistema.

L'analisi dei popolamenti di fitoplancton ha un ruolo rilevante, inoltre, per la definizione della qualità delle acque marine costiere, in quanto può fornire importanti informazioni sia sulle caratteristiche di produttività del sistema costiero sia su eventuali fenomeni distrofici presenti. Le comunità planctoniche, infatti, sono fondamentali nel funzionamento degli ecosistemi marini e direttamente interessate dalle modificazioni che in questi avvengono.

La conoscenza della struttura delle comunità fitoplanctoniche è fondamentale quindi per stabilire sia la struttura trofica dell'ecosistema esaminato che la biodiversità degli ecosistemi costieri. Inoltre lo studio delle popolazioni fitoplanctoniche consente di rilevare precocemente ed efficacemente situazioni di impatto ambientale (stress) che favoriscono o meno lo sviluppo di particolari generi e/o specie di fitoplancton.

Come già accennato, le coste calabresi sono poco studiate. Nell'area tirrenica alcuni lavori riportano uno studio sul ciclo annuale delle popolazioni fitoplanctoniche e di stima di produzione primaria inerente il basso Tirreno (Magazzu et al, 1969, 1975). Nell'area strettamente calabrese, un lavoro di Tolomio 1976, riporta la tipologia estiva del fitoplancton e del fitobentos lungo il litorale di Tropea. Lo studio scientifico più

recente risale al 1992, con un censimento del popolamento fitoplanctonico nel golfo di Gioia Tauro (Sarno 1992).

In tale contesto, la nostra indagine ha riguardato una prima analisi delle comunità fitoplanctoniche presenti in un'area costiera ricadente nel Parco Regionale Marino Riviera dei Cedri (Alto Tirreno). Lo studio ha previsto campagne di campionamento pressochè mensili per poco più di un anno (marzo 2010-giugno 2011). L'esame dei campioni ci ha permesso di rilevare l'assetto tassonomico delle comunità fitoplanctoniche (con misure anche quantitative) e la successione delle stesse comunità nel periodo studiato. I dati ottenuti sono discussi in relazione ai principali parametri chimico-fisici rilevati e attraverso analisi statistiche applicate alle matrici fitoplanctoniche specie-campioni.

## Capitolo 2

### Il Fitoplancton

#### 2.1 Il fitoplancton

Il termine plancton, dal greco *πλανκτος*, è stato introdotto nella letteratura scientifica nel 1887 dal fisiologo di Kiel V. Hensen, per indicare gli organismi animali e vegetali che vivono in sospensione fluttuando nell'acqua. Il termine Plancton appare anche nell'Odissea quando Omero racconta che Ulisse “molto andò errando, sospinto da un punto all'altro del grande mare”, ed è un termine particolarmente idoneo perché, con una sola parola, indica “ciò che vaga ed è trasportato passivamente dalle acque”.

Hensen definì plancton tutto ciò che fluttua nell'acqua; attualmente però, il termine *plancton* si usa riferirlo esclusivamente agli organismi viventi, infatti le particelle non viventi quali spoglie di organismi morti, detrito organico, sospensioni minerali, vengono indicate col nome di *tripton*. Plancton e tripton assieme formano il *seston*.

A partire dai primi decenni del secolo scorso, il plancton marino viene studiato in modo sistematico anche in seguito all'invenzione del retino da plancton. Molto probabilmente il chirurgo militare inglese J. Vaughan Thompson è stato il primo, nel 1828, ad usare un retino pescando plancton nel mare di Cork. Anche Charles Darwin usò una rete a maglie fitte durante il viaggio del “Beagle”(1831-1836) con le quali catturò, egli dice “parecchi curiosi animali”. In particolare, con il termine *fitoplancton* ci si riferisce alle comunità di organismi fotosintetici generalmente microscopici, adatti a vivere nella colonna d'acqua in mare e in acque dolci (Reynolds, 1984). Il fitoplancton d'acqua dolce e quello marino comprendono organismi diversi gruppi algali e cianobatteri ma la frazione più importante è costituita dalle Alghe, presenti con una notevole diversità specifica, morfologica e funzionale (Paul, 2004). Il fitoplancton marino, in particolare, è composto da cianobatteri e alghe, organismi fotoautotrofi che rappresentano l'1% della biomassa vegetale dell'intero pianeta (Zingone, 2000).

Le specie che lo costituiscono si presentano sia come solitarie che in organizzazioni coloniali, di dimensioni molto ridotte (comprese tra 1 e 1500  $\mu\text{m}$ ) e la loro mobilità è legata essenzialmente al movimento delle acque, sebbene molti rappresentanti

posseggano flagelli che consentono escursioni lungo la colonna d'acqua anche notevoli, considerate le minute dimensioni (Sabetta et al., 2008).

Per le alghe sprovviste di efficienti sistemi di locomozione, c'è il problema della sedimentazione. Il problema viene in parte risolto, per esempio, con caratteri morfologici quali una superficie corporea ampia rispetto al volume, ottenuta con estroflessioni, spine od altro; oppure con la produzione di guaine gelatinose, goccioline di grasso, vescicole gassose, che consentono all'organismo di avere un peso specifico uguale a quello dell'acqua.

Il trascinamento del fitoplancton nella colonna d'acqua è una delle strategie utilizzate per esplorare e sfruttare le risorse, quali luce e nutrienti. E' proprio la necessità di sfruttamento di tali risorse ambientali a costituire una delle maggiori cause di differenziazione morfologica intra- e -interspecifica del fitoplancton (Naselli-Flores & Barone, 2000).

Il trascinamento nella colonna d'acqua dipende da due principali fattori, forma e dimensione (Padisa'k et al., 2003). Gli effetti derivanti dal clima e dalla luce su popolamenti fitoplanctonici sono stati analizzati da O'Farrell (2007) che ha evidenziato, in ambienti caratterizzati da forte limitazioni di luce, una forte prevalenza di piccole cellule unicellulari e di organismi privi di flagelli, di forme filamentose e/o di piccole colonie tabulari; in ambienti illuminati, invece, c'è una prevalenza di organismi di maggiori dimensioni e con flagelli.

Questi risultati sono in accordo con i risultati di Naselli-Flores & Barone (2007) ottenuti da studi condotti nel bacino del Mediterraneo che dimostrano che esistono relazioni significative tra la disponibilità giornaliera di luce e la morfologia algale dominante; in particolare, maggiore è la disponibilità di luce giornaliera, maggiori sono le dimensioni medie degli organismi fitoplanctonici.

Nel Mediterraneo, particolarmente in primavera, l'incremento della luce e dei nutrienti, rimessi in circolo dai moti delle acque determinano produzioni elevate di biomassa fitoplanctonica e il verificarsi delle fioriture. I fenomeni di eutrofizzazione determinano un aumento della frequenza e della intensità delle fioriture del fitoplancton con conseguenze generalmente negative. Se da un lato la formazione massiva di biomassa aumenta l'input energetico disponibile per i livelli trofici successivi, dall'altro il degrado di questa biomassa in eccesso, ad opera della componente batterica, può comportare problemi di anossia dei fondi marini e, nei casi più gravi, morie degli

organismi bentonici. Inoltre, se le fioriture sono causate da organismi fitoplanctonici capaci di produrre tossine, il danno per gli ecosistemi e per la salute umana è ancora più grave (Haider et al., 2003).

Il fitoplancton marino, così come quello di ambienti lacustri, comprende infatti specie potenziali produttrici di tossine che possono risultare dannose sia per l'uomo, che le assume ingerendo organismi vettori che le accumulano senza manifestare alcun sintomo, come i molluschi bivalvi, sia attraverso un'azione diretta sulla fauna marina (ittiotossine). Sono state individuate circa 200 specie tossiche sulle 5000 finora identificate (In: Della Croce et al., 1997).

Proprio per la sua correlazione con i processi di eutrofizzazione, il fitoplancton, è uno degli elementi biologici che viene incluso all'interno della direttiva quadro (WFD) dell'Unione Europea per la gestione delle acque (Revilla et al., 2008).

Dal punto di vista della distribuzione, gli organismi fitoplanctonici sono presenti in tutti gli ambienti acquatici (laghi, fiumi, pozze, mare) con specie comuni e specie esclusive.

La diversità delle comunità di fitoplancton e la dominanza di gruppi fitoplanctonici sono il risultato di numerosi fattori quali nutrienti, luce, temperatura, ma anche fattori idrologici e biologici quali la competizione (Pemberton et al., 2004). Tali fattori combinati tra di loro vanno ad influenzare la complessa struttura delle popolazioni fitoplanctoniche (Gailhard et al., 2003).

In ecologia terrestre, è stato osservato che un aumento complessivo del numero totale delle specie presenti in un biotopo è associata ad un aumento della produttività (Naeem et al, 1994.), quindi, sembrerebbe esserci una relazione tra la biodiversità e la produttività.

Non è chiaro invece se il rapporto diversità e produttività degli ecosistemi si verifica anche nel mare. La struttura dei sistemi marini è molto diversa da quelli in ambiente terrestre, in quanto la produzione primaria negli oceani è dovuta soprattutto ai microorganismi fotosintetici che presentano bassa biomassa ma che crescono rapidamente; al contrario, i produttori primari nei sistemi terrestri tendono ad avere una elevata biomassa di lenta crescita (Gailhard et al., 2003).

E 'quindi opportuno analizzare i fattori che controllano la biodiversità marina per determinare se esiste un legame con la produzione primaria.

I fattori di selezione che portano alla dominanza di uno, o poche, specie di fitoplancton, sono complesse e coinvolgono fattori abiotici e biotici. Per esempio, negli oceani

oligotrofici, le concentrazioni molto basse di nutrienti favoriscono il dominio del picophytoplankton; gran parte degli oceani tropicali hanno popolamenti di fitoplanctonico composto da *Prochlorococcus* e *Synechococcus* che, con l'elevato rapporto superficie/volume si adattano bene ad utilizzare le basse concentrazioni di nutrienti (Pemberton et al., 2004). Eventi di perturbazione in acque oligotrofiche determinano cambiamenti nella biodiversità; ad es., le variazioni di apporto nutritivo sembrano favorire la crescita di cellule fitoplanctoniche più grandi (Joint et al, 2001; Donald et al, 2001; Landry et al., 2000).

Altri fattori diversi dai nutrienti possono anche essere importanti nell'influenzare la biodiversità fitoplanctonica. Ad esempio la luce, fattore critico per la fotosintesi, nella sua diversa composizione spettrale, può influenzare la diversità fitoplanctonica nella colonna d'acqua, dal momento che diverse specie di fitoplancton sono in grado di sfruttare la luce a diverse profondità della zona eufotica (Pemberton et al., 2004).

Nelle aree costiere, la concentrazione di nutrienti è il fattore chiave che spesso funge da controllo nella successione del fitoplancton e il successo stesso delle specie (Rees et al., 1999). E' noto che le diatomee, possono dominare sulla composizione del fitoplancton in primavera fino a quando i silicati sono disponibili; in presenza di disponibilità di silicati, infatti esse sono competitive per luce e nutrienti (Trigueros and Orive, 2001; Riegman et al.1998); esse sono organismi in grado di tenere un elevato tasso di crescita per la loro capacità di competere in condizioni di limitazione luce (Chisholm, 1992). Per queste ragioni, in acque temperate la crescita delle diatomee è indicativa dell' inizio della primavera (Holligan et al., 1984).

Il fitoplancton contribuisce anche a formare i sedimenti marini; i loro involucri cellulari mineralizzati hanno infatti contribuito nel tempo alla formazione di depositi di silice, come nel caso delle diatomee, e di  $\text{CaCO}_3$  derivato dai Coccolitoforidi.

## **2.2 Cenni di sistematica del fitoplancton**

Il fitoplancton comprende organismi di diversi gruppi algali e batterici, oltre agli stadi infettivi di certi funghi.

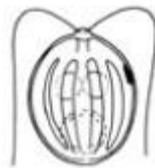
Come già suddetto, la frazione più importante ed abbondante è costituita comunque dalle Alghe, anche se l'importanza della biomassa batterica non è certamente trascurabile, in quanto il loro contributo è fondamentale nel funzionamento degli

ecosistemi. L'attività batterica, infatti, funge da mediatore in molti processi chimici che caratterizzano gli habitat acquatici, basti pensare ai cicli biogeochimici dei principali elementi chimici.

Tradizionalmente l'identificazione e la classificazione delle Alghe planctoniche è stata condotta mediante l'individuazione al microscopio ottico di marcate differenze nelle caratteristiche morfologiche delle cellule tra una specie e l'altra. Il progredire della microscopia elettronica ha notevolmente incrementato la possibilità di osservare differenziazioni ad un livello sempre più accurato: nel caso specifico delle diatomee, per esempio, la classificazione delle specie è stata profondamente revisionata grazie all'analisi fine della struttura del frustolo, la teca silicea che racchiude gli organismi appartenenti a questa divisione. Anche la biochimica, la citologia, lo studio molecolare permettono una classificazione più accurata e coerente, che porta a continui cambiamenti e revisioni della nomenclatura delle Alghe.

L'elenco riportato di seguito è uno dei tanti che si trovano in letteratura. In esso vengono riportati le diverse Divisioni algali con i caratteri peculiari che le contraddistinguono..

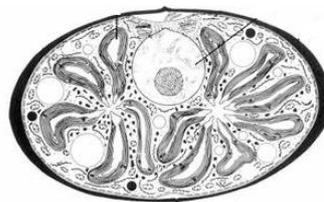
### ***Divisione Chlorophyta: Alghe verdi***



Alghe di colore verde sia unicellulari che coloniali filamentose, sifonali e pseudoparenchimatiche. Hanno uno o più plastidi. Il prodotto di assimilazione è l'amido. Presentano clorofilla b. I sistematici non sono concordi sul numero e l'estensione delle classi. Si pensa che da esse si siano evolute le piante superiori perché, al pari di queste ultime possiedono clorofilla a e b; accumulano amido come carboidrato di riserva all'interno dei plastidi (ciò è una caratteristica esclusiva di Alghe verdi e piante); posseggono il framtoplasto; hanno un involucro nucleare che scompare all'inizio della mitosi; nei perossisomi hanno la glicolato ossidasi; presentano il "sistema a rosetta" come le piante deputato alla sintesi della cellulosa; hanno cloroplasti

avvolti da due membrane con tilacoidi organizzati in grana e intergrana. Presentano il pirenoide (zona nel cloroplasto dove si accumula l'amido), che può essere situato tra i tilacoidi o attraversato da essi, o imbrigliato all'interno di questi ultimi. Nella parete cellulare può essere presente o meno la cellulosa (ne sono prive le sifonali, le quali hanno abbondanti quantità di mannani).

### **Divisione Glaucophyta**



Sono un piccolo gruppo di microorganismi simili ad alghe. Secondo le classificazioni più recenti, basate sulla filogenesi, apparterebbero al clade degli Archeplastidi. Tuttavia la loro posizione è ancora incerta: per alcuni sarebbero un phylum del sottoregno Biliphyta, per altri starebbero alla base degli Archeplastidi stessi. Sono state trovate attualmente 13 specie di Glaucofite, nessuna delle quali è particolarmente frequente in natura.

I cloroplasti delle Glaucofite sono conosciuti come cianelle. A differenza d'altri cloroplasti eucariotici, hanno uno strato di peptidoglicani che viene considerato una testimonianza della teoria endosimbiotica dei cloroplasti, a partire da Cianobatteri. Le Glaucofite contengono clorofilla a. Insieme alle Rodofite e i Cianobatteri raccolgono la luce tramite i ficobilisomi, strutture costituite per lo più da ficobiliproteina. Le Glaucofite sono un interessante oggetto di studio per i biologi che studiano lo sviluppo dei cloroplasti: se l'ipotesi che i cloroplasti hanno avuto una singola origine, le Glaucofite sono da considerarsi vicini alle piante e alle Rodofite e possono essere simili al tipo di alga dalla quale tutte queste si sono sviluppate.

I tre generi più importanti sono:

- *Glaucocystis*, con un corto flagello vestigiale e una parete di cellulosa;

- Cyanophora, motile e senza parete di cellulosa;
- Gloeochaete ha stadi motili e non motili e ha una parete che non sembra fatta di cellulosa.

### *Divisione Dinophyta*



Le Dinoficee sono microalghe in massima parte unicellulari e flagellate. Esistono tuttavia anche forme coccali, rizopodiali, coloniali palmelloidi ed un paio di generi sono minuscole alghe pluricellulari filamentose.

Dinophyta deriva dalla radice greca dino = trottola che allude sia al loro movimento caratteristico di rotazione intorno all'asse antero-posteriore sia alla forma più tipica della cellula. Molte di esse, essendo colorate da pigmenti predominanti rossi, se sono presenti in gran numero, possono causare una colorazione rossa delle acque. Il fenomeno è noto come arrossamento delle acque o marea rossa (red tide). Molte Dinoficee sono bioluminescenti, ed emettono luce quando vengono disturbate, probabilmente per spaventare i predatori; alcune possono vivere sottoforma di cisti di resistenza (ricche di sporopollenina) facendosi trasportare dalla corrente e poi depositandosi sul fondo del mare.

Le cellule delle dinoflagellate sono quasi sempre rivestite da un involucro detto teca, generato all'interno del plasmalemma. Esso può essere sottile oppure particolarmente spesso e robusto; in tal caso è detto corazza o armatura. Si distinguono perciò forme tecate o corazzate e forme atecate. L'involucro è costituito fondamentalmente da vescicole appiattite, disposte affiancate a mosaico sotto il plasmalemma. Nelle forme più semplici, come nel genere *Oxyrrhis*, le vescicole sono trasparenti e sparse in modo da essere regolarmente distanziate tra loro. In *Gymnodinium* e in *Amphidinium* le vescicole sono trasparenti, ma si trovano talmente appressate da assumere un contorno poligonale. Molte Dinoficee sono autotrofe; nelle loro cellule vi sono da due a numerosi cloroplasti di varia forma. I pigmenti sono clorofille a e c2, b-carotene, xantofille quali peridina, dinoxantina, diadinoxantina.

I cloroplasti delle Dinoficee hanno tre tipi di struttura. La prima struttura è quella tipica, diffusa nella maggior parte delle specie. Le altre due sono state trovate solo in alcune specie. Il 1° tipo (il più diffuso) è delimitato da 3 membrane; la membrana più esterna non ha connessioni con il reticolo endoplasmico; le lamelle hanno i tilacoidi a gruppi di 3 ma non c'è la lamella periferica e mancano interconnessioni tra le lamelle. Il 2° tipo deriva filogeneticamente da endosimbiosi con una Diatomea (Eterocontofite). Infatti esso è circondato da quattro membrane più la lamella periferica; nel corredo di xantofille è presente la fucoxantina al posto della peridina. Il 3° tipo (raro) deriva da simbiosi con un'alga verde; è circondato da quattro membrane e fra i pigmenti c'è la clorofilla b.

### ***Divisione Euglenophyta***



Sono protisti per la maggior parte unicellulari. Il phylum comprende circa 800 specie estremamente eterogenee. Dei 36 generi conosciuti solo 11 contengono cloroplasti e sono in grado di fotosintetizzare. Questi organismi contengono clorofilla a e b, carotenoidi come pigmenti accessori; la sostanza di riserva è il paramylon. Alcuni, come *Euglena viridis*, sono in grado di passare, in mancanza di luce, dalla nutrizione autotrofa a quella eterotrofa. Gli euglenidi non pigmentati mostrano fenomeni di fagocitosi e possono assorbire zuccheri e proteine attraverso la membrana.

Un'importante differenza rispetto agli organismi vegetali propriamente detti è la mancanza di una parete cellulare cellulosica; è presente uno strato di proteine con caratteristiche elastiche (periplasto).

Per muoversi usano i flagelli che sono di lunghezza differente e localizzati al polo anteriore della cellula. Hanno uno stigma o macchia oculare, il cui ruolo è di percezione unilaterale della luce ed è una modificazione strutturale e funzionale del cloroplasto; vicino ad esso, nelle specie d'acqua dolce, è presente un vacuolo contrattile che regola

l'effetto dell'osmosi espellendo acqua. Sempre al polo anteriore, la cellula è dotata di una citofaringe attraverso cui avviene l'ingestione di materiale di fagocitosi.

### ***Divisione Heterokontophyta***



Le Alghe eteroconte, formano una linea importante di eucarioti, nel clade dei Chromalveolati. La peculiarità del gruppo Heterokonta è quella di avere due flagelli differenti dal punto di vista ultrastrutturale.

Un altro nome per indicare lo stesso gruppo è Stramenopiles. Il termine è stato coniato da David J. Patterson, dal latino stramen, “paglia” e pilus, “pelo”; l'aggettivo derivato da stramen è stramineus che si riferisce ai flagelli con appendici pelose, i mastigonemi. La divisione si caratterizza anche per i cloroplasti con 4 unità di membrana, e presenza di fucoxantina come pigmento accessorio. Attualmente il gruppo comprende circa 10.500 specie.

### ***Classe Chrysophyceae: Alghe dorate***



Sono una classe di organismi acquatici (sia marini che d'acqua dolce) unicellulari. Alcuni sono dotati di due o tre flagelli, altri ne sono del tutto privi. I cromatofori contengono clorofilla a e c, b-carotene e fucoxantina, da cui il caratteristico colore giallo-oro. Si tratta quindi di organismi fotoautotrofi che però in alcuni casi sono in

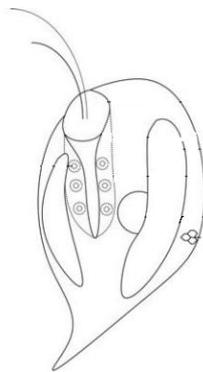
grado di nutrirsi per fagocitosi. Possono avere organizzazione monadale, capsale o tricale.

### ***Classe Bacillariophyceae: diatomee***

Queste alghe unicellulari coccali sono provviste di una parete silicea (frustolo) formato da due teche, di cui quella superiore è più grande e ricopre quello inferiore come il coperchio di una scatola. Il guscio superiore è detto epiteca quello inferiore ipoteca. All'interno il protoplasma sono presenta cloroplasti di tipo bruno con pigmenti costituiti da clorofilla a e clorofilla d; i pigmenti "accessori" soprattutto le xantofille del tipo fucoxantina, danno un colore bruno-dorato all'organismo. I frustuli all'ultrastruttura, presentano minuscoli fori, incisioni, rilievi (punctae, alveoli, canaliculi e costae) disposti in modo regolare a formare reticolati complessi di alto valore sistematico. Le diatomee hanno diverse forme e strutture, le possiamo trovare isolate o raggruppate in colonie filamentose.

Le diatomee si dividono in 2 sottogruppi: le pennate e le centriche, con rispettivamente, simmetria longitudinale e raggiata. Inoltre le diatomee centriche sono soprattutto fitoplanctoniche, mentre le pennate annoverano molti membri bentonici.

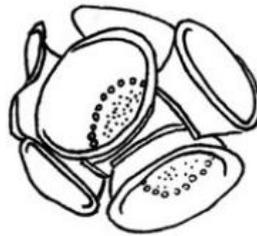
### ***Divisione Cryptophyta***



E' una piccolo gruppo di alghe unicellulari flagellate, solitarie, talvolta in colonia palmelloide. Conta una decina di generi con circa 100 specie marine ed altrettante d'acqua dolce. Alcune vivono come endosimbionti sia in Protozoi, come il ciliato *Mesodinium rubrum*, sia in altre alghe, come la dinoflagellata *Peridinium balticum*. Il polo anteriore della cellula è asimmetrico, mostrandosi troncato obliquamente. Nel lato

obliquo di apre un citostoma (somigliante a quello delle Euglenofite) dal quale fuoriescono due flagelli.

### ***Divisione Haptophyta ( Prymnesiophyceae)***



Sono organismi flagellati che di regola hanno un terzo filamento, chiamato aptotema (dal greco aptomai = attacco), che può attaccarsi a corpi sommersi con la sua estremità. L'aptonema non è un flagello né per struttura né per funzione; la sua sezione mostra 6 microtubuli singoli periferici immersi in una matrice circondata da tre membrane concentriche. Le Haptophyceae possono avere stadi ameboidi, palmelloidi e, in qualche caso, filamentosi.

Le cellule hanno di solito un involucro di scaglie organiche o calcificate che, come nelle Crisoficee, si formano in vescicole del Golgi.

Le Coccolithophoridales hanno scaglie calcificate, dette Coccoliti. Inizialmente sono organiche, poi subiscono un processo di deposizione di carbonato di calcio che cristallizza come calcite. Alcune specie hanno coccoliti tutti uguali, altre li hanno di forma diversa a seconda dello stadio di sviluppo della cellula o a seconda della posizione sulla superficie cellulare. Su un individuo si contano da qualche decina fino ad un centinaio di coccoliti.

Ne esistono molte forme; la più tipica è a scudetto ovale e può essere intera o provvista di una perforazione centrale. I coccoliti, essendo mineralizzati, non si distruggono e si depositano come sedimenti. I coccoliti fossili si trovano fin dal Carbonifero (300 milioni di anni fa) ma hanno la massima presenza nel Cretaceo medio (63-95 milioni di anni) e poi nell'Eocene (50 milioni di anni fa).

Le Haptophyta sono planctoniche, generalmente marine, e possono dar luogo a fioriture (per es. *Emiliana huxleyi* in tutti i mari e *Chrysochromulina polylepis* lungo le coste della penisola scandinava). Di quest'ultima specie esistono ceppi tossici per pesci,

invertebrati e per le macroalghe. Una specie tossica per gli allevamenti ittici è *Prymnesium parvum*.

La riproduzione è solo vegetativa per divisione. In qualche caso, come *Pleurochrysis*, è stata osservata la riproduzione sessuale in un ciclo digenetico aplo-diplofasico eteromorfo: la fase diploide è flagellata e planctonica, quella aploide è filamentosa.

### **2.3 Il fitoplancton costiero**

Negli ultimi anni le informazioni inerenti la diversità fitoplanctonica costiera sono aumentate notevolmente, passando in alcune regioni italiane da una fase esplorativa ad una fase di accumulo di dati ed informazioni sempre più crescenti. Tuttavia ancora in alcune regioni, come la Calabria gli studi sui popolamenti fitoplanctonici sono alquanto carenti.

Nel Mar Mediterraneo, è stato dimostrato che la componente più abbondante, sia nelle acque costiere che oceaniche, è rappresentato dall' ultraphytoplankton (0,2 - 2 micron) (Vaulot et al, 1990;. Li et al, 1993;. Casotti et al, 2000.; Denis et al, 2000;. Mora 'n et al, 2001). I pochi dati disponibili per le acque aperte del bacino del Mediterraneo orientale indicano un predominio numerico e della biomassa dell' ultraphytoplankton (Li et al.1993; Yacobi et al, 1995).

Da un punto di vista generale, le acque marino-costiere italiane grazie all'introduzione di un nuovo strumento legislativo (D.M. 8 Novembre 2010 n°260) sono sottoposte ad uno stretto controllo da parte degli enti preposti al monitoraggio (le agenzie per l'ambiente regionali) Ai fini della classificazione delle acque marino-costiere, il fattore utilizzato è il livello di concentrazione della *clorofilla a* che rappresenta il principale indicatore di biomassa fitoplanctonica.

Le coste Calabresi, come già detto, risultano essere poco studiate e indagate, e le poche osservazioni dei cicli stagionali condotte in passato risultano essere molto frammentarie.

Da tali studi è emerso che sono stati redatti lavori riguardanti i popolamenti fitoplanctonici a partire del 1969, con uno studio condotto da G.Gangemi sulla presenza di *Rhizosolenia firma* nell'area idrografica dello stretto di Messina ( Gangemi 1969). Lo studio di Magazzu et al (1975) riporta, lungo le coste tirreniche calabresi in un area compresa tra Reggio Calabria e Gioia Tauro , un popolamento fitoplanctonico caratterizzato dalla presenza di circa 182 specie, delle quali 2 specie di Cianoficee, 72

specie di Diatomee, 102 specie di Dinoflagellate, 1 specie di Silicoflagellata e 8 specie di Coccolitoforidi; tra queste, 15 specie possono essere considerate perennanti. Per quanto riguarda la successione stagionale, nei periodi invernali e primaverili si ha una predominanza di Diatomee, mentre in quelli estivi prevalgono Dinoflagellate e altri flagellati (Magazzue *et al.*, 1975).

Il lavoro di Tolomio (1976) sulla tipologia estiva del fitoplancton e fitobentos lungo il litorale di Tropea, riporta globalmente 97 specie algali ripartite tra Dictyochophyceae 2, Dinophyceae 44, Diatomee 28 (Centrales 4, Pennales 14), Euglenophyceae 3, Prymnesiophyceae 20.

Uno studio più recente risalente al 1992, condotto nel golfo di Gioia Tauro riguarda il censimento del popolamento fitoplanctonico (Sarno 1992). Tale studio ha previsto un monitoraggio, in un'area compresa tra Nicotera (vv) e Gioia Tauro (Rc) con 12 punti stazione posti in prossimità di alcuni fiumi calabresi (Mesima, Budello, e Petrace) e del porto di Gioia Tauro. I risultati hanno evidenziato un popolamento caratterizzato da elevate densità cellulari con significativa presenza di *Diatomee* di diverse specie oltre che di Dinoflagellati atecati. Da rilevare inoltre la presenza di *Prasinoficee*, *Criptoficee* e nella stazione più costiera delle *Euglenoficee* con un popolamento che sembra indicare acque eutrofizzate (Sarno, 1992).

Altri studi indicano che le coste calabresi, hanno in prevalenza acque oligotrofiche, caratterizzate sia da basse concentrazioni di nutrienti (Bregant *et al.*, 1992), che da una bassa produzione primaria (Magazzu & Decembrini, 1995; Boldrin *et al.*, 2002; Moutin & Raimbault, 2002). In generale si tratta di coste oligotrofiche, dominata da una rete alimentare microbica, dove la produzione di nuovi elementi deriva dalla variazione dei fattori climatici, quali precipitazioni, con il conseguente apporto da parte dei corpi idrici (Civitarese *et al.*, 1996;. Boldrin *et al.*, 2002).

Per quanto riguarda dati su scala pluriennale, l'unica serie presente, non pubblicata su riviste scientifiche, è quella realizzata dalla Cooperativa Nautilus di Vibo Valentia che ha curato i censimenti ai fini delle direttive ministeriali. Alcuni di questi dati, rendono possibile un confronto tra le conoscenze relative al periodo 1994-1999 con gli anni 2006/2007 ed evidenziano elementi sia di continuità, che alcuni aspetti di cambiamento (Zucco 2007, tesi di laurea). Infatti, i dati recenti rilevano una popolazione fitoplanctonica caratterizzata in genere e per lunghi periodi da basse densità cellulari medie, spesso inferiori a 20.000 cell./l, con un popolamento in buona parte costituito da

organismi di piccole dimensioni, tra questi i piccoli flagellati < 10 µm e le dinoficee Atecate; sono peraltro presenti, ma a bassa densità, anche alcune diatomee pennate (Zucco 2007, tesi di laurea).

Questo popolamento caratterizza gran parte dell'area costiera calabrese nel periodo estivo, quando la stratificazione termica limita le fonti di nutrienti a quelli incostanti dovuti agli apporti terrigeni; popolamenti abbastanza simili si rivelano anche nei periodi invernali (Zucco 2007, tesi di laurea). Nonostante il numero di taxa presenti nei campioni sia elevato, non si osservano specie dominanti. Si tratta complessivamente di un popolamento che si può definire di tipo "opportunist", tipico di acque oligotrofiche dei mari temperati, ma che è molto veloce ad approfittare degli apporti terrigeni, anche occasionali, che quando presenti si traducono in un aumento anche consistenti, delle densità cellulari in ristrette aree della costa (Zucco 2007, tesi di laurea). Tra le specie coinvolte in queste occasionali aumenti sono state rinvenute alcune specie di Diatomee (*Talassionema*, *Leptocilindrus*, *Pseudo-nitzschia*), a queste sono associate Prymnesiophyceae, Prasinoficee e forme di piccoli flagellati. Nel Tirreno questa situazione si è presentata ben evidente nel Golfo di Gioia Tauro e nella parte centrale del Golfo di S. Eufemia, si tratta di aree ad intensa pressione antropica e in corrispondenza delle foci di corsi d'acqua ad elevato carico (Zucco 2007, tesi di laurea).

Un situazione analoga è stata osservata anche nello Ionio nella zona del Golfo di Corigliano, in particolare nell'area a nord di Rossano dove sfociano tra l'altro i maggiori corsi d'acqua della regione.

A queste situazioni di carattere locale si accompagnano e interagiscono quelle relative ai fenomeni di evoluzione su scala stagionale e che riguardano in particolare aree marine più ampie, in particolare nello Ionio.

Dallo studio condotto dalla Cooperativa Nautilus, lungo la fascia ionica, si evince che lo Ionio Calabrese si caratterizza rispetto al Tirreno per una maggiore produttività e una maggiore densità cellulare media. Lungo la fascia Ionica gli incrementi algali dovuti a specie di Diatomee avvengono tipicamente in primavera e interessano aree più o meno ampie. Ad essere coinvolte sono specie quali *Asterionellopsis glacialis* e diatomee in genere coloniali quali *Chetoceros* e *Talassionema*.

Altra peculiarità delle coste calabresi è che i due bacini, Ionio e Tirreno, non sono quasi mai sincroni nell'evoluzione stagionale dei popolamenti fitoplanctonici, le fioriture algali che avvengono in primavera lungo la costa Ionica non sono state riscontrate lungo

la costa Tirrenica; mentre le fioriture che avvengono in autunno lungo la costa Tirrenica non vengono riscontrate lungo la costa Ionica, quindi si hanno dinamiche diverse nei due tratti costieri (Zucco 2007, tesi di laurea).

Per quanto riguarda il Tirreno la riduzione dei processi di mescolamento e di diffusione verticale, legate ad una stabilizzazione della stratificazione termica, può contribuire ad una segregazione negli strati superficiali dei carichi di nutrienti, specialmente nei periodi di maggiore piovosità, limitandone la diffusione verticale ma ampliando l'area di diffusione (Zucco 2007, tesi di laurea).

## **2.4 Fattori ecologici e dinamica del fitoplancton**

### **Variabili fisico-chimiche**

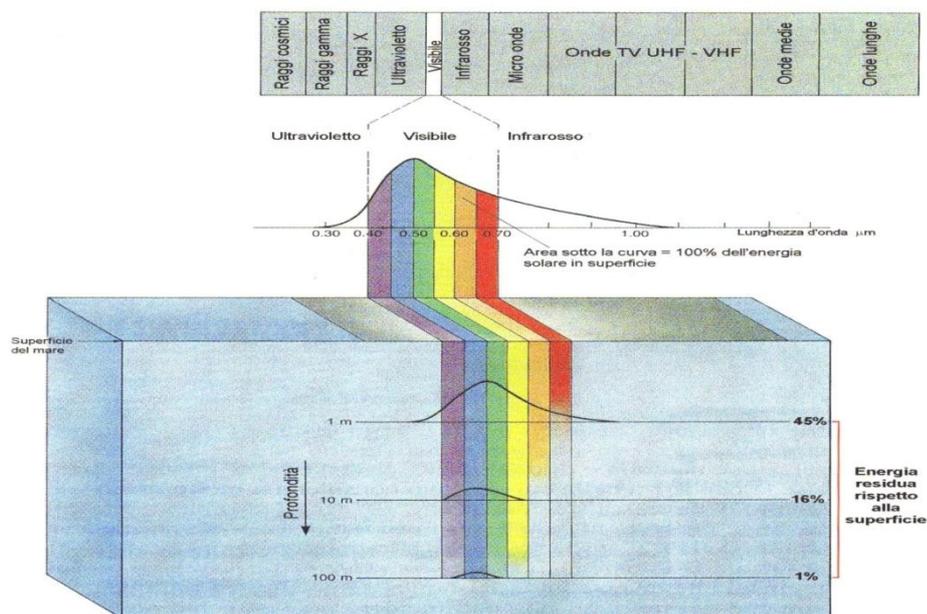
Ogni ambiente naturale è il risultato dell'interazione fra vari fattori fisici e chimici, detti fattori abiotici, che creano le condizioni di esistenza di un determinato ambiente ed influiscono perciò in modo determinante sulle forme di vita che potranno in esso insediarsi, nonché sui rapporti reciproci che si stabiliranno: influiscono cioè sulla natura e sulla distribuzione dei fattori biotici. Per ognuno dei fattori che caratterizzano un ambiente, esiste un valore massimo e minimo entro il quale la vita è possibile (fattori limitanti e limiti di tolleranza delle specie).

Le condizioni ambientali che in qualsiasi modo rallentano la crescita di uno o più gruppi di organismi, sono dette fattori limitanti. Il concetto di fattore limitante fu sviluppato intorno a 1840 da Justus von Liebig, con l'enunciazione della "legge del minimo", secondo la quale la velocità di crescita degli organismi viventi risulta dipendente dalla quantità minima di uno qualsiasi degli elementi indispensabili. Successivamente, però, il concetto di fattore limitante fu ampliato da F.F. Backman, che considerò la limitazione come conseguenza non solo della carenza ma anche dell'eccesso di un qualche elemento (es. temperature troppo alte/basse, luce troppo/poco intensa). Lo studio dei fattori limitanti è di importanza fondamentale, sia per comprendere le ragioni di determinati fenomeni, che per prevedere l'effetto di situazioni che accidentalmente o volontariamente vengono introdotte in un ambiente. I limiti estremi delle condizioni ambientali in cui una specie è ancora in grado di vivere, rispetto ad un determinato fattore, è detto ambito di tolleranza o range di tolleranza (Marchegiani e Mirra, 1988).

Nell'ambiente marino i fattori limitanti sono rappresentati dalla luce, dalla temperatura, dalla quantità di nutrienti disciolti, dalla salinità e dall'ossigeno disciolto.

## Luce

La luce è un fattore fisico di grande importanza per lo sviluppo del fitoplancton. In Fig. viene illustrato l'assorbimento della luce nel campo del visibile alle diverse profondità.



**Figura A** - Struttura della radiazione elettromagnetica e trasmissione della luce nell'intervallo del visibile (380-760 nm) in mare (THURMAN, 1993).

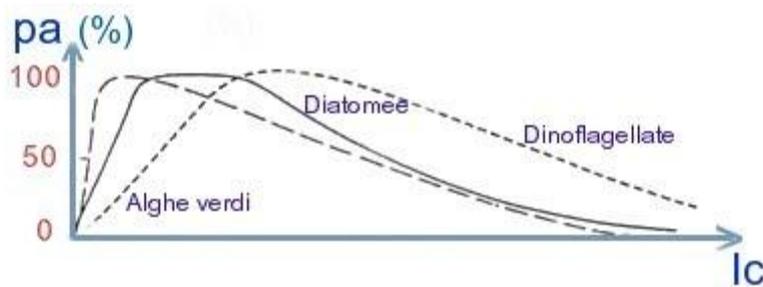
Il tasso fotosintetico, dunque, diminuisce con l'aumentare della profondità, parallelamente all'intensità luminosa (Fig.B) fino a giungere ad un punto nel quale i processi di produzione uguagliano, in media nell'arco delle 24 ore, quelli di respirazione. Questa profondità viene indicata come profondità di compensazione e la corrispondente intensità luminosa come intensità di compensazione. Al di sotto di questa zona il processo fotosintetico può continuare, ma con bilancio negativo.

Forti intensità luminose possono avere anche effetti inibitori (fotoinibizione)

Come si osserva dalla figura B, la curva della intensità fotosintetica ha un andamento non lineare, con valori iniziali che salgono fino al raggiungimento di un plateau a cui corrisponde un valore, detto Intensità di saturazione.

Per ulteriori aumenti dell'intensità  $I_c$ , si osserva un decremento più o meno pronunciato dell'attività fotosintetica, e che si manifesta con alterazioni fisiologiche dei cloroplasti delle cellule vegetali.

Le risposte dei diversi produttori primari alle variazioni dell'intensità  $I_c$  sono diverse. Le alghe verdi tollerano intensità luminose non particolarmente alti, mentre le dinoflagellate tollerano valori decisamente più elevati. Le diatomee si collocano in una posizione intermedia. Nell'asse verticale è possibile sostituire il valore dell'attività fotosintetica con il valore della produzione per unità di clorofilla. L'andamento delle curve per i diversi gruppi algali non cambia.



**Figura B** - Andamento dell'attività fotosintetica ( $p_a$ ) in funzione dell'intensità luminosa  $I_c$  ( $mW / cm^2$ )

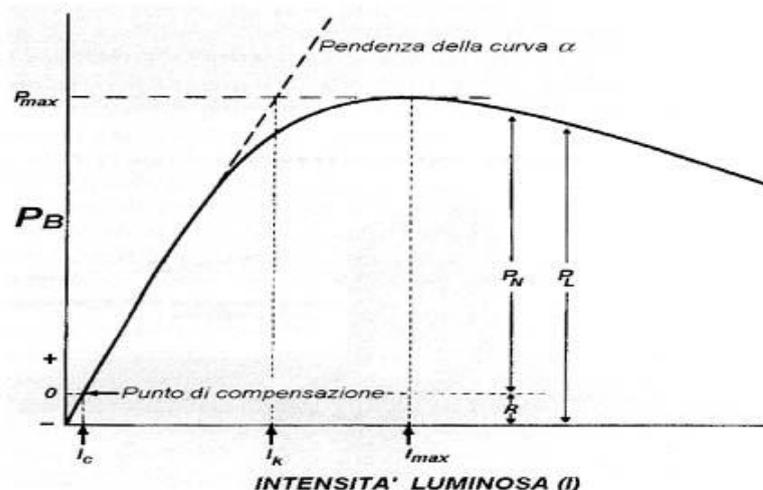
Per la misura della luce fotosinteticamente attiva si utilizzano delle sonde capaci di misurare la PAR subacquea e l'irradianza subacquea a diverse lunghezze d'onda: rispettivamente 412.30, 443.40, 490.70, 555.20, 664.30, 683.90 e 704.70 nm che sono anche le lunghezze d'onda a cui acquisisce il satellite SeaWiFS.

Gli studiosi di fisiologia del plancton a partire dagli anni '60 hanno approfondito sia con esperimenti in situ sia con colture algali di popolazioni miste o monospecifiche i rapporti fra intensità luminosa e produzione primaria.

In Fig.C viene illustrato il modello del rapporto fra l'irradianza e la produzione per unità di clorofilla (PB), dove P è la produzione primaria e B la biomassa espressa come clorofilla a, di una stessa popolazione o specie sottoposta ad intensità di luce crescente.

A scarse intensità di irradianza l'aumento di PB è più o meno lineare. Per un ulteriore aumento di irradianza PB continua ad aumentare, ma in misura minore, fino a giungere ad un valore massimo (PBmax). A questo punto, ogni ulteriore incremento di irradianza non è seguito da un corrispondente aumento di PB che rimane costante. L'intensità alla quale si raggiunge PBmax viene chiamata intensità di saturazione (Imax). Oltre questa soglia il tasso di assimilazione per molte specie rimane costante per aumenti più o meno forti di intensità luminosa. Tuttavia, aumentando ulteriormente l'energia luminosa, l'attività fotosintetica comincia a decrescere e ad alte intensità è evidente un effetto inibitorio.

Nelle curve P-I la pendenza iniziale descrive la reazione fotosintetica "chiara" (light reaction) ed è indipendente dalla temperatura. In prossimità dell'intensità di saturazione (I max), è la "reazione scura" (dark reaction) a prevalere.



**Figura C** - Relazione tra l'intensità luminosa (I) e la produzione per unità di clorofilla [PB].  $P_{max}$ : produzione massima;  $I_c$ : intensità luminosa al punto di compensazione;  $P_N$ : produzione netta;  $P_L$ : produzione lorda;  $I_k$ : intensità all'intersezione tra la pendenza della retta iniziale e  $P_{max}$ ;  $I_{max}$ : intensità luminosa corrispondente a  $P_{max}$ ;  $R$ : respirazione.

Il modello illustrato in Fig.C descrive il comportamento iniziale di una popolazione naturale o di una specie al variare dell'intensità luminosa, anche se la pendenza della curva può considerarsi molto meno variabile nell'ambito della stessa stagione (Platt, 1977);

Gli altri parametri (produzione massima, intensità massima, respirazione) variano da specie a specie e, nell'ambito della stessa specie, anche in rapporto a temperatura e salinità ed alle condizioni fisiologiche, o al ciclo biologico degli organismi (Platt, 1977). Gli adattamenti alle diverse intensità luminose, lo stato di senescenza e l'azione limitante dei nutrienti possono incidere notevolmente nella risposta fotosintetica e nella dimensione di tali parametri. Ciò accade in particolare per le popolazioni fitoplanctoniche sciafile, adattate cioè alle basse intensità luminose generalmente presenti alla base dello strato eufotico, e per quelle fotofile che popolano gli strati superficiali e perciò sono adattate ad alte irradiazioni. Questo tipo di adattamento è particolarmente evidente nelle popolazioni delle acque tropicali fortemente stratificate (Platt, 1977).

## **Temperatura**

Entro certi limiti l'aumento di temperatura favorisce i processi metabolici, quindi ad una maggiore temperatura corrisponde generalmente una maggiore produzione di biomassa fitoplanctonica.

La temperatura influisce anche su altri fattori importanti per il fitoplancton, quali ad esempio la solubilità dell'ossigeno ed i movimenti delle masse d'acqua, ai quali il plancton è per definizione vincolato.

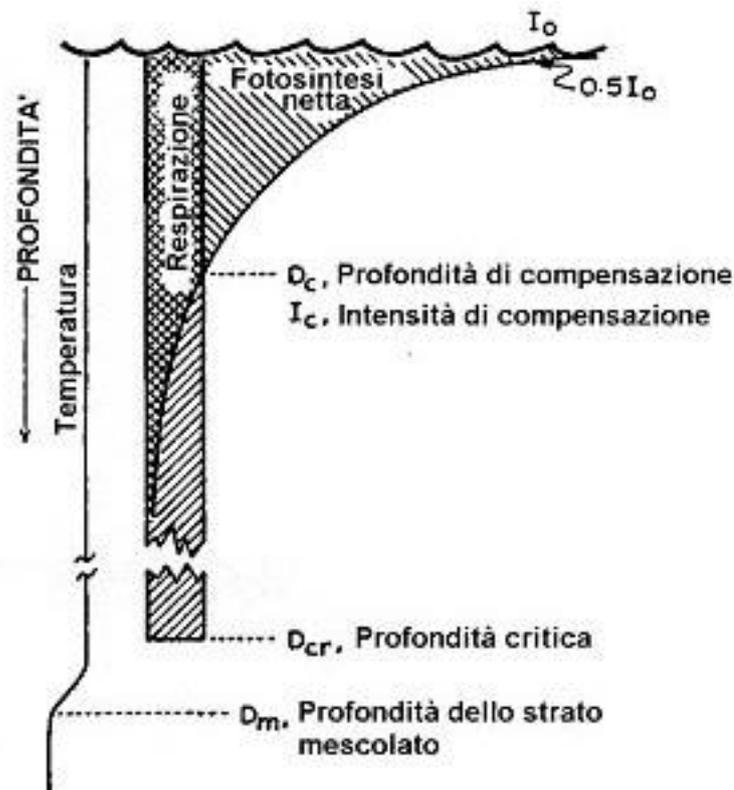
Inoltre, in natura lo sviluppo e i processi produttivi delle specie algali sono in relazione al loro optimum termico. Quest'ultimo può dipendere anche da adattamenti genetici, per cui se una specie si è adattata geneticamente ad una determinata temperatura, ad esempio quelle prossime a 0°C nei mari polari, non crescerà a temperature superiori a 8-10°C anche se questi valori sono ottimali per altre specie affini viventi a latitudini più basse.

Gli effetti della temperatura sulla crescita di organismi del fitoplancton sono stati espressi da Eppley (1972) mediante un'equazione empirica che lega la crescita algale alla temperatura nell'intervallo di 0-40°C:  $\log_{10} \mu = 0,0275 T - 0,07$ ; dove  $\mu$  è il tasso massimo possibile di crescita (espresso in duplicazioni cellulari per giorno) e T è la temperatura. L'equazione è stata ottenuta utilizzando i dati sperimentali di numerosi ricercatori che hanno eseguito studi con colture a luce continua.

Una condizione per mezzo della quale la temperatura influenza indirettamente la produzione primaria nei mari è l'omeotermia degli strati superficiali che favorisce, attraverso i moti turbolenti, il trasporto del fitoplancton nello strato disfotico (Platt, 1977).

Questa condizione è stata studiata nell'Atlantico settentrionale intorno agli anni '50 da Sverdrup che ha introdotto il termine di profondità critica. Questa è definita come la profondità alla quale la produzione complessiva della colonna d'acqua è eguagliata dalla respirazione.

Il modello concettuale è illustrato in Fig.D



**Figura D** - Modello concettuale di Sverdrup.

Legenda:  $K$  = coefficiente di estinzione medio per la colonna d'acqua:

$D_c$  = profondità di compensazione;

$I_0$  = radiazione solare incidente alla superficie ridotta di un fattore 0,2 per tener in conto solo la PAR compresa fra 400 e 700 nm (nelle formulazioni più recenti è stato sostituito con 0,5).

In uno strato omeotermo, vigorosamente mescolato dalla forza del vento, le cellule del fitoplancton saranno uniformemente distribuite su tutta la colonna d'acqua interessata dal moto. Pertanto la produzione primaria diminuirà logicamente con la profondità analogamente all'intensità luminosa mentre la respirazione rimarrà

approssimativamente costante. Sverdrup osservò che la fioritura primaverile del fitoplancton nel Mar di Norvegia non avveniva fino a quando la profondità dello strato mescolato era maggiore della profondità critica (Cortese et al., 2000).

Per quanto riguarda dati di temperatura raccolti per le coste calabresi, durante i periodi invernali, l'andamento della generale temperatura superficiale, tra i due bacini ( Tirreno e Ionico) non è sincrono anche se la temperatura di superficie è fortemente condizionata da eventi meteo-oceanografici locali (Zucco 2007, tesi di laurea), inoltre bisogna premettere che nel mediterraneo, ma anche lungo le coste Calabresi le masse d'acqua che guidano le dinamiche dell'intero bacino Mediterraneo sono due: l'acqua Atlantica Modificata (MAW), che entra dallo Stretto di Gibilterra e fluisce verso est, e l'Acqua Intermedia Levantina (LIW) che si origina nel bacino Levantino e fluisce verso ovest, verso l'Oceano Atlantico. Queste masse d'acqua, dopo l'ingresso nel Mediterraneo occidentale e durante il loro movimento nell'intero bacino, modificano le loro caratteristiche originali e contribuiscono alla formazione di nuove masse d'acqua. Lungo la colonna d'acqua tra i due bacini si osservano sostanziali differenze solo nello strato compreso tra 0 e -50 m dove la temperatura differisce tra i due bacini di circa 3.°C (Zucco 2007, tesi di laurea). Al di sotto dei -50 m e a profondità superiori, i due bacini non mostrano differenze sostanziali in quanto, sia nella parte tirrenica che in quella ionica sono state riscontrate acque derivanti dalle Levantine Intermediate Water LIW. Nella parte meridionale del bacino tirrenico è visibile in estate e in autunno, un'inversione termica tra i -50 e i -150 m dovuta alla presenza di acque atlantiche modificate (Zucco 2007, tesi di laurea). Nel periodo estivo i profili di temperatura tra i due mari sono quasi sovrapponibili, l'unica differenza si ha nel posizionamento e nell'ampiezza del termoclino, dovuta anche alle caratteristiche termocline di una massa d'acqua sub-superficiale che nella parte ionica, varia in uno strato che si colloca tra i 20 e i 60 m (Zucco 2007, tesi di laurea).

## **Nutrienti**

I nutrienti N, P e Si, regolano la crescita del fitoplancton data la loro scarsa concentrazione nel mare, costituendo un fattore critico.

Negli ultimi decenni, l'arricchimento di nutrienti è stato identificato come un problema ambientale per molti ecosistemi costieri (Smith, 2003).

I produttori primari sono i primi ad essere interessati da questo fenomeno, che porta come conseguenza drammatici cambiamenti sulla struttura e sulle dinamiche stagionali del fitoplancton ( Pinckney, 2000 ).

Le forme principali di N inorganico disponibili sono l' $\text{NH}_4^+$ , l' $\text{NO}_2^-$  e l' $\text{NO}_3^-$ . Esse vengono utilizzate nell'ordine secondo un indice di preferenza che vede le specie chimiche a minore numero di ossidazione preferite dal fitoplancton.

Esperimenti eseguiti con colture di fitoplancton dimostrano che alcune specie possono utilizzare anche aminoacidi come glicina, serina e alanina confermando che esse sono in grado di utilizzare un ampio spettro di composti azotati alle concentrazioni naturalmente presenti nell'ambiente marino (Smith, 2003).

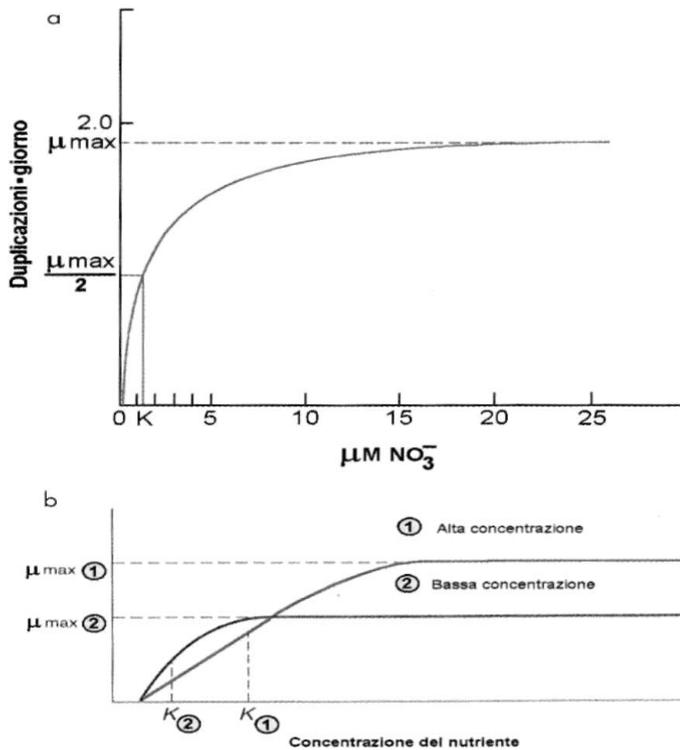
Il P viene assimilato principalmente come ortofosfato ma alcune forme organiche, come gli esteri fosforici, possono essere utilizzate a seguito di idrolisi enzimatica che si produce a livello della membrana. Alcune specie sono in grado, inoltre, di utilizzare i polifosfati in presenza di un eccesso di nitrati, probabilmente sempre a seguito di idrolisi extracellulare.

Il silicio, indispensabile al metabolismo della classe fitoplanctonica più diffusa, le diatomee, raramente costituisce un fattore limitante per la produzione primaria dal momento che è uno dei componenti più diffusi nella crosta terrestre ed è continuamente veicolato in mare dalle acque dolci, relativamente più ricche di silicio rispetto a quelle marine. Tuttavia, la sua concentrazione subisce forti oscillazioni (maggiori di quelle di N e P) in rapporto al suo utilizzo da parte degli organismi planctonici.

Il trattamento quantitativo delle relazioni esistenti fra concentrazione dei nutrienti e produzione fitoplanctonica inizia alla fine degli anni '60 con gli studi fondamentali di Caperon (1967) e di Dugdale (1967) che utilizzarono il modello della cinetica enzimatica di Michaelis-Menten per descrivere il tasso di assimilazione dell'azoto da parte del fitoplancton (Fig.E). L'espressione generale è data dalla formula che descrive un andamento iperbolico:

$$\mu = \mu_{\max} (N/(K+N))$$

dove  $\mu$  e  $\mu_{\max}$  sono rispettivamente il tasso di crescita e il tasso massimo (in genere il tempo di duplicazione cellulare), N la concentrazione del nutriente e K la costante di semisaturazione (tab.A).



**Figura E** - Modello concettuale di crescita fitoplanctonica in rapporto alla disponibilità di nutrienti. L'assimilazione di nutrienti e quindi la velocità di crescita (in duplicazioni cellulari), aumenta con l'aumentare della concentrazione del nutriente. La costante di semisaturazione  $K$  corrisponde a  $\frac{1}{2}$  di  $\mu_{max}$  che è la crescita massima (a). In (b) viene rappresentata la differenza di assimilazione del nutriente da parte di popolazioni adattate ad alte (1) e a basse (2) concentrazioni dello stesso nutriente.

Le popolazioni di tipo (2) hanno una costante di semisaturazione più bassa e competono con maggiore successo con le popolazioni di tipo (1) nell'assimilazione dello stesso nutriente a basse concentrazioni nel mezzo (in coltura o in ambienti naturali). (Da: Caperon 1967 modificata)

Questo andamento, generalmente comune a tutte le specie fitoplanctoniche, presenta talune differenze a seconda se le specie o le comunità siano adattate ad alte o basse concentrazioni di nutrienti.

Il fitoplancton oceanico è più efficiente nell'assimilare i nutrienti a bassa concentrazione rispetto al fitoplancton delle acque costiere o eutrofiche che necessita di concentrazioni più elevate di nutrienti. Questa condizione può risultare critica nella competizione interspecifica per l'assimilazione dei nutrienti e determinare il successo e la prevalenza di talune specie rispetto ad altre nel corso della successione stagionale.

**Tabella A** - Valori della costante di semisaturazione per l'assimilazione di  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  (Parsons, Takahashi & Hargrave, 1984, modificata).

Tipi di aree oceaniche e di biocenosi fitoplanctoniche	K ( $\mu\text{M}$ )	K ( $\mu\text{M}$ )
	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$
<b>AREE OLIGOTROFICHE</b>	0,01-0,21	0,1-0,62
Pacifico tropicale	0,1-0,3	<0,1
Mediterraneo		
<b>AREE EUTROFICHE</b>		
Pacifico tropicale	0,98	
Pacifico sub-artico	4,21	1,3
Biocenosi oceaniche	0,1 - 0,7	0,1 - 0,4
Diatomee neritiche	0,4 - 5,1	0,5 - 9,3
Flagellati neritici	0,1-10,3	0,1-5,7

### Mescolamento

Il vento, che spira con una certa intensità, determina uno spostamento delle masse d'acqua e uno scorrimento degli strati, con la formazione di correnti. Questi spostamenti influenzano il fitoplancton, che viene riunito a formare le *patches*, lunghe anche molti chilometri (Km).

Un ulteriore fattore di controllo può essere il ricambio delle acque. In alcuni ambienti, il rinnovo della massa d'acqua può essere molto breve e quindi le popolazioni algali sprovviste di meccanismi locomotori attivi possono essere allontanate; solo gli organismi dotati di elevati tassi riproduttivi riescono quindi a mantenere una densità abbastanza elevata.

È noto che il mescolamento verticale della colonna d'acqua serve a minimizzare la perdita di cellule per sedimentazione, nonché a massimizzare la velocità di crescita ed a raggiungere i livelli ottimali di luce e nutrienti.

Il mescolamento verticale, su scale di metri, può aver luogo nell'arco di un giorno o poco più nelle acque superficiali, mentre nella regione del termoclinio può verificarsi addirittura entro un mese (Harris, 1986).

In laboratorio (Heaney & Eppley, 1981) ed in natura è stato osservato un movimento attivo delle alghe verso gli strati profondi e ricchi di nutrienti durante le ore serali ed un successivo ritorno verso la zona superficiale ed eufotica nel primo mattino (Carrillo et al., 1991).

Le alghe, dotate di meccanismi di regolazione del galleggiamento o di capacità di nuoto, rivelano chiare preferenze di profondità, visto che regolano la loro posizione nella colonna d'acqua attraverso le migrazioni verticali (Sparber 2006, tesi di laurea).

Tra gli organismi in grado a regolare la distribuzione in profondità sono da ricordare i dinoflagellati (Harris et al., 1979) e le cianoficee (Reynolds & Walsby, 1975).

Questi organismi reagiscono direttamente alle variazioni ambientali (Sournia, 1974), alla gravità (Taylor, 1987), ai gradienti chimici (MacNab, 1985) e termici (Poff, 1985) ed ai campi magnetici della Terra (Frankel, 1984).

I ritmi endogeni circadiani conferiscono alle alghe mobili un vantaggio competitivo (Eppley et al., 1968; Heaney & Furnass, 1980; Cullen & Horrigan, 1981), visto che riescono a sfruttare meglio il gradiente verticale della luce (Heaney & Talling, 1980) e dei nutrienti in presenza di una stratificazione termica (Heaney & Eppley, 1981).

E' da sottolineare che, durante l'arco della giornata, la posizione del fitoplancton lungo la verticale è il risultato di una combinazione di risposte positive e negative di fototassismo e di fotofobismo (Sparber 2006, tesi di laurea). Le dinamiche di tali risposte, insieme agli effetti gravitazionali, determinano la posizione del fitoplancton lungo la colonna d'acqua (Nutsch & Häder, 1988).

La variabilità spaziale e temporale nell'ambiente planctonico viene descritta mediante una scala verticale di mescolamento e di sedimentazione, coerente con i valori dei coefficienti verticali corrispondenti e con le scale temporali del mescolamento. Le velocità di sedimentazione del fitoplancton sono di circa 0,5 m/giorno (Smayda, 1970). È molto importante ottenere una risoluzione soddisfacente nei campionamenti in senso verticale, visto che la colonna d'acqua è sottoposta a forti gradienti ambientali e le scale

verticali in oggetto sono compresi tra circa 7 m a circa 0,02 m. (Sparber 2006, tesi di laurea).

### **Grazing (attività di pascolo)**

Il ciclo dei nutrienti costituisce uno stretto legame tra fitoplancton e zooplancton e la pressione predatoria, esercitata dallo zooplancton, può incidere profondamente sui popolamenti algali marini. D'altronde, la pressione predatoria è capace di influenzare la successione algale stagionale, sia in termini di biomassa, produzione, che di composizione in specie attraverso la selezione di alcune specie in relazione alla loro resistenza alla predazione. Inoltre, l'attività dello zooplancton accelera la rigenerazione dei nutrienti, ciò può aumentare la loro disponibilità per le alghe meno edibili, altrimenti sfavorite dai loro bassi tassi di assimilazione.

Sintetizzando, si può dire che lo zooplancton svolge degli effetti contrastanti sul fitoplancton, visto che causa la rigenerazione a favore della crescita algale ed esercita direttamente una pressione predatoria a sfavore, e quindi, avvantaggia certe specie algali e ne svantaggia altre (Sparber 2006, tesi di laurea).

Generalmente, si verifica un aumento del grazing durante la transizione primaverile-estiva. Durante questa cosiddetta "clear-water phase", è osservabile una drammatica riduzione delle popolazioni algali all'inizio del periodo estivo, mentre ciliati, rotiferi, copepodi e cladoceri raggiungono i loro picchi di abbondanza.

### **pH**

Negli ecosistemi acquatici il pH è funzione della quantità di CO<sub>2</sub> disciolta ed è un indicatore del metabolismo delle comunità animali e vegetali (fotosintesi e respirazione).

Il pH misura l'acidità di una sostanza definita dalla concentrazione di ioni H<sup>+</sup>. Il pH dell'acqua di mare varia da 7,7 a 8,4; ciò significa che essa è debolmente alcalina.

Un importante fattore, spesso trascurato, nell'ecologia marina riguarda gli effetti delle variazioni di pH, sul tasso di crescita e sull'abbondanza del fitoplancton lungo le coste marine, alla base della catena alimentare nelle acque costiere. Il valore di pH negli oceani aperti varia di pochissimo: questo non è invece vero per le acque costiere (Marchegiani e Mirra, 1988).

Il normale valore di pH negli oceani aperti è attorno a 8.1, cioè leggermente alcalino. Mentre il pH delle acque marine presso le coste e nei tipici estuari varia da 7.5 a 8.5, con valori occasionali anche maggiori di 9 o minori di 7. Si tratta di dati significativi, perché hanno una diretta influenza sul tasso di crescita di molte specie. Quando i valori sono troppo alti o troppo bassi, solo le specie con maggiore tolleranza a questi valori riescono a crescere e alla fine dominano la comunità.

Le comunità di fitoplancton, con un valore di pH pari a 9, fissano carbonio a una velocità dimezzata rispetto a un valore pari a 8 e questo influisce sull'abbondanza di certe specie (Hinga, 2002)

### **Salinità**

Il contenuto di sali di un corpo idrico è uno dei fattori più importanti nel determinare quali organismi possono vivere in esso.

Mentre la salinità degli oceani subisce modifiche lente, che si manifestano nell'arco di molti millenni, la salinità delle acque interne, con la variazione del tipo di pioggia o di neve, può manifestare cambiamenti molto più repentini.

Il fitoplancton marino si adatta bene a diverse salinità. Esistono alcune specie fitoplanctoniche che si adattano meglio alle variazioni di salinità, come le Euglenoficee in grado cioè di tollerare variazioni di salinità anche molto accentuate in particolar modo in ambienti quali quelli lagunari dove i bilanci tra acque dolci e salate sono molto variabili durante i cicli stagionali.

Da studi specifici e recenti è emerso che il bacino Mediterraneo occidentale risulta essere più freddo quindi meno salato, mentre il Mediterraneo orientale appare più caldo e più salato. Il Mar Tirreno si trova in mezzo tra i valori di temperatura e salinità dei Bacini Ovest ed Est, ma ha una media mensile più simile al Bacino Ovest (Barbati et al., 2007).

Per quanto riguarda le coste calabresi, tra i due versanti esistono leggere differenze, in genere nello Ionio vengono registrati concentrazioni di salinità più alti rispetto al Tirreno, maggiori a 38‰ sia in superficie che negli strati sub-superficiali (Zucco 2007).

## **Gas disciolti**

I gas atmosferici (ossigeno, anidride carbonica, azoto) si diffondono lentamente sulle acque superficiali. La percentuale di ossigeno che l'acqua assorbe dall'atmosfera è inversamente proporzionale alla temperatura ed alla salinità dell'acqua stessa.

Pertanto le acque polari, essendo molto fredde, sono le più ricche di ossigeno mentre quelle equatoriali sono le più povere; in pratica però, essendo la massa d'acqua fredda più pesante di quella calda, tende ad affondare e trasporta l'ossigeno in essa contenuto nelle acque calde equatoriali. L'ossigeno proviene in parte da quello atmosferico ed in parte dall'attività fotosintetica dei vegetali. Il livello in cui si ha equilibrio tra ossigeno prodotto e quello consumato dalla respirazione degli organismi, viene detto "profondità di compensazione".

La concentrazione dell'ossigeno disciolto è usualmente utilizzata come indicatore della salute degli ambienti acquatici. L'ossigeno disciolto è in relazione inversa con temperatura e salinità ed è fortemente influenzato dalla velocità del vento, dalla turbolenza dell'acqua e dall'attività fotosintetica da parte del fitoplancton nonché dalla presenza di reazioni che consumino ossigeno. La percentuale di saturazione dell'ossigeno è il rapporto tra la concentrazione di ossigeno reale e la capacità teorica dell'acqua di "contenere" ossigeno. Un basso valore di saturazione indica la presenza di stress ambientali che siano causa di considerevoli consumi di ossigeno; per esempio questo può accadere dopo una fioritura di fitoplancton seguito dalla degradazione delle cellule morte.

Anche in assenza di intensa attività fotosintetica, una saturazione maggiore del 100% è relativamente comune durante i periodi di rapido raffreddamento dell'acqua. Questa situazione, tuttavia, può durare solo per brevi periodi per la tendenza dell'ossigeno ad equilibrarsi tra aria ed acqua .

Per quanto riguarda l'anidride carbonica, gli oceani hanno un ruolo fondamentale nel bilancio del carbonio, e costituiscono una vera e propria riserva di carbonio sotto forma di ione bicarbonato. Gli oceani, assorbendo la CO<sub>2</sub> atmosferica, mantengono bassa la sua concentrazione; se la concentrazione tendesse ad abbassarsi, gli oceani potrebbero liberare anidride carbonica svolgendo un ruolo di equilibratori.

La fissazione del carbonio da parte del fitoplancton negli oceani svolge un ruolo chiave nel ciclo globale del carbonio, tanto che il fitoplancton eucariotico incide sulla metà della fissazione del carbonio globale.

La concentrazione dell'azoto è di solito minore nelle acque superficiali e tende ad aumentare con la profondità dopo di che resta praticamente costante (Sverdrup and Fleming, 1949). La risalita di acque profonde particolarmente intensa in alcune zone dell'Atlantico e del Pacifico (upwelling) portano in superficie i nutrienti. L'azoto è presente in mare come  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e come azoto organico in soluzione. In condizioni naturali sono più abbondanti ammonio e nitrati.

Il fitoplancton può utilizzare l'azoto in tutte queste forme, ma quando sono disponibili l'ammonio e il nitrato, in molte specie l'ammonio viene usato per primo.

Nei mari sono presenti dei batteri ossidanti che trasformano lo ione ammonio in ione nitroso (*Nitrosomonas*) e lo ione nitroso in ione nitrico (*Nitrobacter*).

Una parte dei nitrati del terreno viene assorbito dai vegetali e rientra in ciclo; una parte viene trascinato nelle falde idriche sotterranee, nei fiumi o nel mare; una parte viene decomposto da batteri denitrificanti, con formazione di azoto gassoso che ritorna nell'atmosfera.

Un aspetto importante di questo ciclo nelle acque marine è la deposizione nei sedimenti. La quantità di azoto e fosforo che sotto diverse forme ed in modi differenti arriva al mare, non è costante durante l'anno, perché dipende in gran parte dall'andamento stagionale che condiziona la portata dei fiumi.

Nel periodo invernale l'azoto è abbondante in superficie e nelle acque profonde, mentre in primavera si osserva una rapida ed accentuata diminuzione dell'azoto ammoniacale e del fosforo dovuta alla moltiplicazione del fitoplancton.

In estate con lo stabilirsi del termocline delle acque superficiali possono essere molto povere di azoto e di fosforo per effetto della stratificazione perché le acque più profonde, più ricche di nutrienti, non possono mescolarsi con quelle superficiali.

Alla fine dell'estate, con l'abbassamento della temperatura, aumenta la densità dell'acqua in superficie che diviene più pesante e tende pertanto a mescolarsi con l'acqua più profonda.

Il rimescolamento è favorito dall'aumentare del moto ondoso; la stratificazione si rompe ed i nutrienti presenti nelle acque profonde vengono portati in superficie dai moti turbolenti e dalle correnti e divengono disponibili per il fitoplancton.

Si può quindi avere una fioritura autunnale del fitoplancton, generalmente più modesta di quella primaverile, anche per la minore quantità di luce disponibile.

## **2.5 Dinamica delle comunità fitoplanctoniche**

La dinamica stagionale delle comunità fitoplanctoniche sono descritte da un unico schema di relazioni che legano lo svolgimento della dinamica di una comunità ai principali fattori fisici, chimici e biotici con cui il fitoplancton interagisce in un ecosistema marino (Standard methods for the examination of water and wastewater 1992).

Gli effetti di queste interazioni e la risposta delle alghe sono determinanti nel determinare la dinamica di variazione stagionale, ma non meno importante è il fattore “dimensioni cellulari”. In effetti questo svolge un ruolo chiave nel condizionare lo svolgimento dell'intero metabolismo di una cellula algale (produzione, respirazione, scambi con l'esterno, efficienza fotosintetica), nonché la sua possibilità di contrastare, con maggiore o minore successo, fattori come la predazione o la sedimentazione.

Le modificazioni dell'ambiente fisico sembrano svolgere un ruolo fondamentale nel guidare la successione stagionale delle specie algali, in quanto le variazioni dell'ambiente fisico sono considerate determinanti nel controllare la dinamica di una comunità algale.

In particolare la profondità della zona eufotica ( $z_{eu}$ ) e quella di rimescolamento delle acque ( $z_m$ ) influiscono pesantemente sull'attività fotosintetica. Infatti il regime circolatorio delle acque superficiali condiziona la permanenza delle alghe nella zona eufotica e la loro possibilità di sottrarsi ad una esposizione prolungata alla radiazione luminosa, evitando di essere fotoinibite con conseguente riduzione dell'efficienza di produzione. E' noto come i diversi gruppi siano diversamente adattati alle modificazioni della stabilità della colonna d'acqua (Morabito 1997).

Tuttavia non bisogna trascurare l'interazione delle alghe con altri fattori biotici o abiotici, alcuni dei quali possono assumere un ruolo di primo piano in certe condizioni ed in certi periodi dell'anno. Tra questi, la disponibilità di nutrienti, in particolare di quelli presenti in quantità limitanti, è probabilmente il fattore che più condiziona la crescita algale, dopo la luce e la temperatura.

Fattori come la silice, l'azoto e soprattutto il fosforo controllano fortemente la crescita algale (Morabito 1997). La limitazione da nutrienti in natura è un fenomeno estremamente raro; piuttosto in ogni situazione la comunità fitoplanctonica modifica la sua composizione specifica per ovviare ad eventuali limitazioni (Rynolds 1984).

Dunque, se è difficile che le alghe siano limitate dalla disponibilità di nutrienti, i tempi e i modi in cui i nutrienti si rendono disponibili possono essere importanti fattori di controllo sulla loro crescita.

E' stato osservato che specie diverse manifestano una periodicità giornaliera nell'assimilare i nutrienti; come conseguenza possono utilizzare lo stesso flusso di nutrienti ma in tempi diversi senza entrare in competizione (Morabito 1997).

Le comunità fitoplanctoniche mostrano generalmente due "picchi" di abbondanza, in primavera e in autunno. Il modello classico per la spiegazione di tale dinamica si basa sulla disponibilità dei nutrienti e sulle condizioni ambientali (luce e temperatura): quando queste ultime diventano favorevoli e in presenza di adeguate concentrazioni di nutrienti hanno luogo fioriture di fitoplancton seguite da improvvisi aumenti di densità anche dello zooplancton (Marcus & Boero F 1998). Così la sopravvivenza sarebbe affidata a quei pochi individui capaci di sopravvivere a condizioni ambientali sfavorevoli con ovvie conseguenze di natura genetica.

Secondo una visione più moderna un ruolo importante viene svolto dagli stadi di resistenza (cisti) che, prodotti sul finire della stagione favorevole e depositati sui sedimenti, vengono risospesi insieme ai nutrienti. La specie quindi non scompare dall'ambiente ma si "trasferisce" dal plancton al benthos per poi ritornare a popolare la colonna d'acqua con la risospensione e la schiusa delle cisti. Questo flusso di biodiversità tra pelagos e benthos è un altro esempio di interconnessione funzionale tra i due domini che, pertanto, non possono essere considerati come indipendenti e studiati separatamente come entità discrete (Boero, 1990).

## **2.6 La produzione primaria in mare**

Con il termine di produzione primaria (PP) si definisce la quantità di carbonio organico fissato, attraverso i processi fotosintetici, che viene reso a sua volta disponibile nei vari diversi livelli trofici superiori.

La produzione primaria si può intendere su due livelli definiti: produzione nuova e rigenerata. La produzione primaria nuova è definita come la produzione fitoplanctonica che è risultante dall'utilizzo di azoto di origine esterna, mentre quella rigenerata proviene dall'utilizzo di azoto presente all'interno dello strato eufotico sotto forma di ammoniacale (Dugdale and Goering, 1967).

A seconda del bacino in cui ci troviamo, la produzione primaria assume caratteristiche diverse. Nello specifico, il Mar Mediterraneo è in generale un bacino oligotrofico, cioè caratterizzato da scarsità di nutrienti e un basso tasso di produttività. Una delle cause principali di questo regime è la circolazione inversa che attraverso lo Stretto di Gibilterra che esporta nutrienti dagli strati di acqua intermedia LIW (Levantine Intermediate Water). Le stime di perdita di nutrienti sono tra 1,25 Mton anno<sup>-1</sup> e 3,11 Mton anno<sup>-1</sup> (Sarmiento et al., 1988; Béthoux, 1979).

A causa di questo export sugli strati intermedi, in tutto il bacino la profondità del *nutriclino* (definita come la profondità alla quale si ha un rapido aumento della concentrazione di nutrienti) aumenta e di conseguenza il rimescolamento invernale della colonna d'acqua non riesce a rendere accessibili e utilizzabili i nutrienti utili per eventuali sviluppi algali (Levy et al., 2000).

L'analisi di data set storici (Bethoux et al., 1998) evidenzia che le concentrazioni di fosfato e nitrato aumentano a partire dagli inizi del 1960 e dal 1972, la concentrazione del fosforo è aumentata del 18%. Questi cambiamenti sono il risultato di cause antropiche, come l'incremento negli inputs atmosferici e terrestri, pari ad un tasso di circa 3% annuo, dovuto a cambiamenti nel numero di abitanti, standard di vita, attività industriale, agricola ed urbana che si ripercuotono sugli scarichi nel Mediterraneo (Melisana 2010, Tesi di Dottorato).

Per quanto concerne le tecniche generalmente impiegate per stimare la PP, possiamo citare: analisi di budget, campionamento in situ, stime basate sul telerilevamento di dati, output di modelli di circolazione che includono variabili bio-geochimiche, misure del contenuto di ATP, metodo delle bottiglie chiare-scure (light-dark bottle method).

Le analisi di budget forniscono la stima della PP mediante il rapporto C:N standard e analizzando il budget di nutrienti e il consumo di ossigeno. Tali stime sono abbastanza attendibili anche se le analisi di budget non consentono di ottenere dati sulla variabilità stagionale e interannuale dei popolamenti (Bethoux and Gentili, 1999).

I dati ottenuti dal telerilevamento per giungere alla stima della PP riescono ad avere delle misure a differenti scale, dalle più piccole fino alla scala di bacino, con una buona risoluzione della variabilità stagionale e annuale. Tuttavia queste stime sono spesso notevolmente differenti da quelle osservate da misurazioni in situ ed è comunque difficile giungere alla stima della PP dell'intera colonna d'acqua partendo da una stima superficiale della clorofilla da satellite (Falkowski, 1988).

I modelli fisico-biologici riescono ad avere stime di PP dell'intero bacino e consentono studi sulla variabilità stagionale ed annuale; però questo approccio modellistico si presenta ancora molto semplificato soprattutto per quanto riguarda la parte biologica che viene parametrizzata ancora in maniera poco realistica. L'utilizzo di questi modelli fisico-biologici è abbastanza recente e richiede ancora ulteriori aggiustamenti e verifiche (Crise et al., 1999; Crispi et al., 1999; Zavatarelli et al., 2000; Stratford and Haines, 2002).

Il metodo basato sulla misura di ATP si basa sul calcolo del contenuto di ATP presente all'interno di un volume noto. Nonostante sia possibile, anche se non così semplice, eliminare dal conteggio l'ATP derivato da organismi eterotrofi, il risultato è spesso una sovrastima del reale valore della produzione; per passare dal contenuto di ATP al contenuto di carbonio occorre un fattore di conversione determinato dalla proporzione C:ATP=1:250.

Il metodo delle bottiglie chiare/scure (light-dark bottle method) consiste nel calare una fune metrata recanti, nella stessa posizione, una bottiglia chiara ed una scura, di volume compreso tra 0,1 e 1 litro, e poste in incubazione per un periodo variabile da 1 a 24 ore. Per stimare il tasso fotosintetico, teoricamente basta determinare la differenza di concentrazione di ossigeno tra bottiglie chiare e bottiglie scure, al netto della quantità di ossigeno consumato con la respirazione.

Per determinare la concentrazione di ossigeno in passato era molto utilizzato il metodo di Winkler, che è un metodo chimico, oppure si forniva al campione raccolto della CO<sub>2</sub> o NaHCO<sub>3</sub> (bicarbonato) marcati con Carbonio 14 radioattivo (C14-method), che viene incorporato dagli organismi e che può essere misurato tramite uno scintillatore. La PP è proporzionale alla percentuale del livello di radioattività. Il risultato ottenuto lo si confronta con quello dei campioni contenuti nelle bottiglie scure al fine di determinarne la differenza. Un piccolo problema nasce dal fatto che il carbonio 14 viene incorporato più lentamente del normale carbonio 12 e quindi è necessario un fattore di conversione.

Studi di qualche anno fa hanno evidenziato che nel caso del metodo del C14 i valori ottenuti della PP sono in realtà sottostime dei reali valori, questo in particolare avviene quando si applica il metodo in acque povere di nutrienti e con basse concentrazioni di fitoplancton.

## Capitolo 3

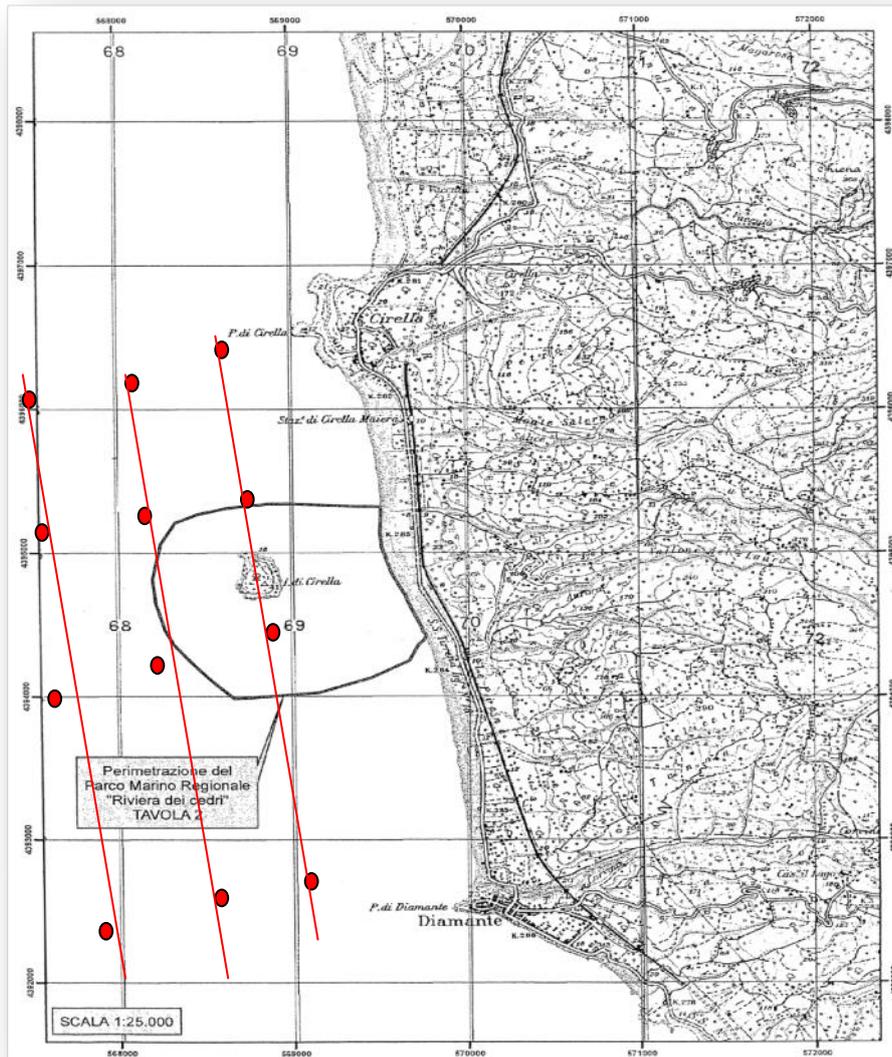
### Materiali e metodi

#### 3.1 La zona studiata: inquadramento ambientale

L'area di studio selezionata si colloca lungo la costa dell'Alto Tirreno Cosentino, nel tratto di mare compreso tra Diamante e Cirella (Fig.1) Tale area è interessante anche per la presenza due Siti di Interesse Comunitario (SIC, ai sensi della Direttiva Habitat 43/92/CEE), in particolare il SIC Isola di Cirella (isola costiera a macchia mediterranea ben conservata); e i fondali marini del SIC Isola Cirella - Diamante caratterizzati dalla presenza di praterie di *Posidonia oceanica*, ecosistema a cui è generalmente associata una elevata biodiversità. Per tale motivo, la zona di studio ricade in un Parco marino di recente istituzione (Legge Regionale n. 9/2008) il Parco Marino "Riviera dei Cedri".

Nonostante questi indubbi aspetti di naturalità, l'area di studio presenta anche una certa pressione antropica per la presenza, a nord sulla costa, del centro urbano di Cirella, e a sud della cittadella di Diamante; pressione antropica che aumenta soprattutto in estate con un aumento notevole della densità di popolazione a causa di un turismo di tipo residenziale. Anche la spiaggia, in questo tratto costiero, è largamente sfruttata nei periodi estivi con la presenza di numerosi stabilimenti balneari. Inoltre, a sud dell'area oggetto di studio, è anche la presenza della foce del fiume Corvino (Fig.1), fiume a carattere torrentizio tipico della Calabria, tale fiume nasce ai piedi del Pollino e si snoda per circa 30 km lungo la valle del corvino. Un tempo la sua portata d'acqua era maggiore tanto che i Romani lo definivano fiume, il "Fiume del Diamante".

In tale contesto di relativa complessità del tratto costiero, abbiamo verificato la dinamica dei diversi popolamenti fitoplanctonici attraverso campionamenti lungo quattro transetti costa-largo, in periodo di poco più di un anno (marzo 2010-giugno 2011).



**Figura 1** - Stazioni di campionamento

### **La scelta dei siti di campionamento**

Lungo il tratto costiero oggetto di indagine, abbiamo scelto 4 transetti costa/largo, collocati su circa 2,5 miglia marine (4,02 Km) in modo da evidenziare eventuali differenze. In ogni transetto sono state poste 4 stazioni per complessive 12 stazioni dove abbiamo svolto, a cadenza pressocchè mensile i campionamenti (Fig.1) .

Le stazioni sono dislocate in direzione nord - sud secondo le isobate di profondità. Più precisamente:

- I. 4 stazioni costiere fondale basso (10m) a circa 100 m dalla costa;
- II. 4 stazioni intermedie fondale medio (50m) a 1000 m dalla costa;
- III. 4 stazioni distali fondale alto (100m) a 2000 m dalla costa (Fig.1).

### 3.2 Attività di campo

Il ciclo di campionamento copre un periodo di poco più di un anno (Maggio 2010 - Giugno 2011) con campagne pressochè mensili in 12 stazioni (Fig. 1) dislocate come riportate nella sessione precedente.

Per ogni campagna sono stati rilevati, attraverso uso in situ di una sonda multiparametrica CTD (modello idroprobe), i seguenti parametri oceanografici: profondità, temperatura, salinità, PAR, pH, potenziale redox, ossigeno disciolto, clorofilla a, conducibilità. La trasparenza è stata misurata attraverso il Disco di Secchi.

Contemporaneamente sono stati prelevati campioni d'acqua con bottiglie Niskin (5 l) in tutte le stazioni e ad una profondità di -1,0 m (campioni superficiali). Subcampioni di 500ml sono stati fissati con soluzione di paraformaldeide al 20% tamponata, in bottiglie di vetro scuro (che, rilasciando silice, rallentano la dissoluzione dei frustuli delle diatomee), trasportati in laboratorio per la successiva analisi con metodo di Utermöhl. Parallellamente sono stati prelevati anche campioni attraverso retino. E' stato utilizzato un retino con maglia di 20 µm al fine di ottenere informazioni qualitative anche di specie poco abbondanti e non campionabili efficacemente con la bottiglia Niskin. La raccolta è avvenuta trascinando il retino in superficie seguendo la linea di costa e seguendo approssimativamente l'isobata dei 10m (retinata costiera) e quella dei 100m (retinata di largo).

Tutti i campioni, una volta fissati, sono stati conservati in frigorifero a 4 °C, evitando di agitarli. I conteggi sono stati effettuati nel minor tempo possibile, anche per evitare differenze provocate da tempi diversi di conservazione. Contrariamente a quanto si può pensare, sono proprio le diatomee che possono presentare problemi di conservazione a causa della dissoluzione del frustulo, mentre i dinoflagellati sembrano essere più stabili (Zingone et. al., 2010). Infatti, nonostante la presenza dei fissativi, alcuni batteri possono sopravvivere nei campioni accelerandone il deterioramento (Zingone et. al., 2010).

### 3.2 Attività di laboratorio

Aliquote di campione sono stati posti a sedimentare nelle camere di sedimentazione, previa agitazione delicata del campione, eposte su superfici perfettamente orizzontali e non soggette a vibrazioni. Per le analisi quantitative sono stati sedimentati 25 ml di campione; per quelle qualitative (campione proveniente da retino) è stata utilizzata una cameretta da 5 ml.

Per l'osservazione dei campioni e l'analisi al microscopio abbiamo utilizzato la tecnica di Utermöhl, nota anche come 'metodo del microscopio rovesciato' o come 'metodo di sedimentazione'. Il metodo di Utermöhl è attualmente l'unico metodo per il quale esiste un protocollo completo ufficiale (UNI EN 15204 Water quality - Guidance standard on the enumeration of phytoplankton using inverted microscopi. Utermöhl technique). Il metodo prevede la sedimentazione delle cellule algali presenti in un campione di acqua, in camere di sedimentazione, e il successivo conteggio attraverso l'ausilio di un microscopio ottico invertito. I tempi di sedimentazione dipendono anche dal tipo di fissativo utilizzato, in genere i campioni fissati con formalina presentano tempi di sedimentazione più brevi, rispetto ai campioni fissati con il Lugol, a causa dell'aumento del peso delle cellule dovuto alla fissazione con formalina (Basset et al., 2009). In generale, per i campioni fissati con Lugol sono sufficienti tempi pari a 3 ore per ogni centimetro di altezza del cilindro della camera, ma se il campione è ricco di cellule di piccole dimensioni si preferisce aumentare e addirittura raddoppiare i tempi in modo tale da esser sicuri che gli organismi siano tutti sedimentati. In tab. B si riportano i tempi di sedimentazione in relazione al volume e all'altezza della camera

Volume camera (ml)	Altezza camera (cm)	Tempo sedimentazione (ore)
2	1	3
10	2	8
25	5	24
50	10	36
100	20	72

**Tabella B** – Tempi di sedimentazione

Il conteggio delle cellule può essere eseguito in modi diversi. Più esattamente si può effettuare un: conteggio per transetti, conteggio per campi casuali, conteggio sull'intera camera, conteggio per presenza-assenza. Nel nostro caso abbiamo utilizzato la tecnica di conteggio per transetti. Questo sistema di conteggio prevede l'identificazione delle cellule algali su transetti di lunghezza pari al diametro della camera di sedimentazione e di larghezza pari al diametro del campo visivo. Il numero di transetti da esaminare può andare da un minimo di due ad un massimo che dipende dalla densità del campione. I taxa sono stati identificati quanto più possibile fino a livello di specie attraverso l'uso di test specializzati (- Avancini et al., 2006; Rampi L. & Bernhard M. 1980 )

Il calcolo della densità fitoplanctonica è stata calcolata secondo la formula:

$$\text{densità cellulare (cell/l)} = (N * \pi * r * 1000) / (2 * h * v * n)$$

dove: N = numero totale delle cellule rilevate

r = raggio della camera di sedimentazione (mm)

h = altezza del transetto ovvero diametro del campo visivo (mm)

v = volume del campione messo a sedimentare (ml)

n = numero dei transetti sui quali si è effettuato il conteggio.

La densità è stata usata per descrivere la struttura delle comunità e le sue variazioni stagionali. E' stato calcolato per tutto il periodo l'indice di diversità (H'- indice di Shannon 1949). Le eventuali relazioni tra i gradienti idrogeografici e l'abbondanza fitoplanctonica nei diversi periodi stagionali, sono state valutate usando un'analisi di DCA (Detrended Correspondance Analysis Hill & Gauch 1980) e di MRPP (Multi Response Permutation Procedure McCune & Grace 2002).

## Capitolo 4

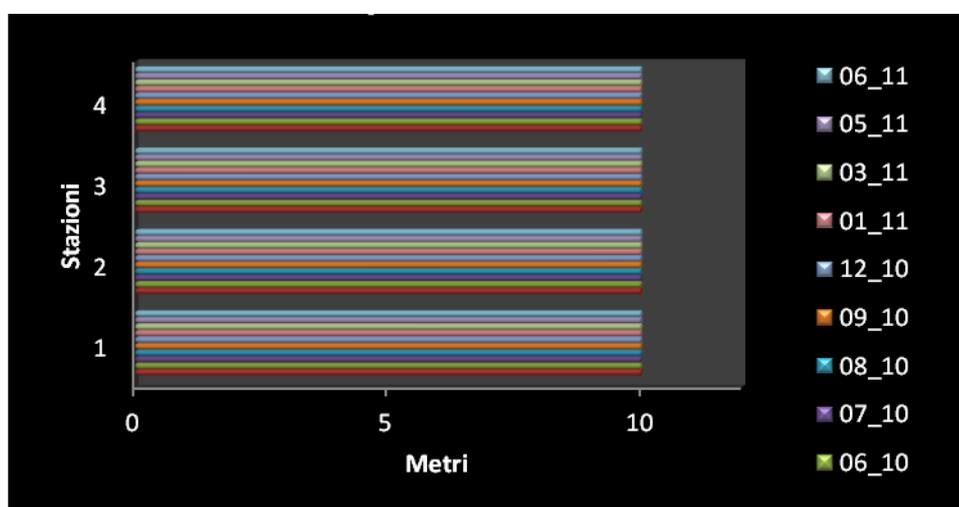
### *Risultati*

#### Parametri Chimico-fisici

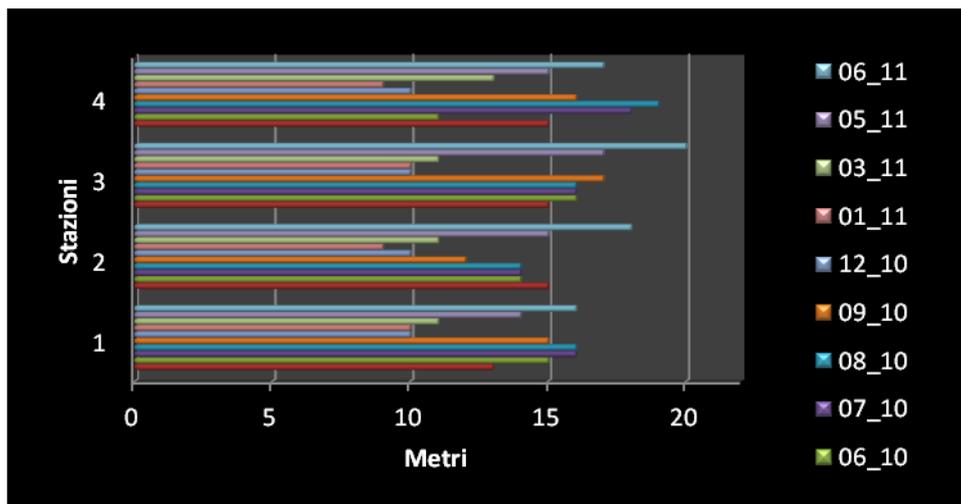
##### Trasparenza

La trasparenza rilevata con Disco di Secchi, mostra come tutte le stazioni costiere presentino una trasparenza pari a 10 m, che corrisponde alla profondità massima di queste stazioni costiere. (graf.1); valori intermedi si registrano nelle stazioni situate lungo la batimetrica di 50 m (graf.2) mentre i valori maggiori si registrano nelle stazioni distali (situate lungo la batimetrica dei 100\_m) con un massimo di -22 m nella stazione 3 (I transetto) e stazione 12 (IV transetto)\_(graf.3).

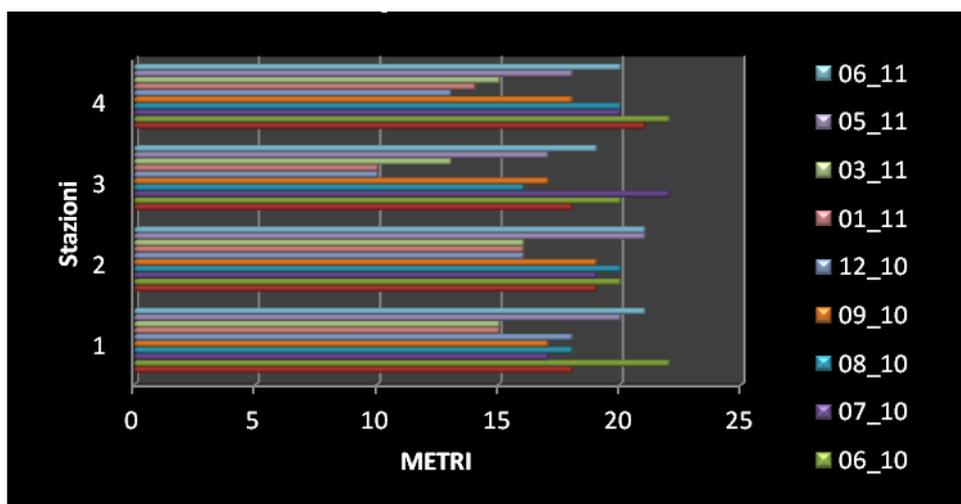
Per quanto riguarda le variazioni della trasparenza nel corso delle stagioni, la maggiore trasparenza si registra nei mesi estivi o tardo primaverili (Maggio - Luglio), mentre la minore trasparenza si ha durante i mesi invernali (Dicembre - Gennaio) (graf.\_2,3).



**Grafico 1** - Valori di trasparenza (misurata con Disco di Secchi) nelle stazioni costiere nel periodo di campionamento.



**Grafico 2** - Valori di trasparenza (misurata con Disco di Secchi) nelle stazioni intermedie nel periodo di campionamento.



**Grafico 3** - Valori di trasparenza (misurata con Disco di Secchi) nelle stazioni di largo nel periodo di campionamento.

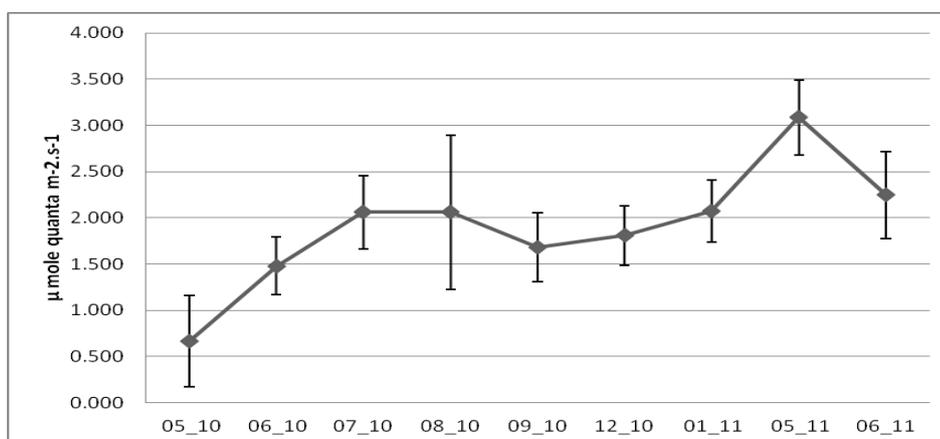
## PAR

La PAR (radiazione solare fotosinteticamente attiva) è fortemente influenzata dalla latitudine, dalla stagione e dalla copertura del cielo (nuvolosità o cielo sereno). La Tab. 1 riporta le condizioni meteo nei periodi di campionamento.

L'andamento della PAR mostra un valore massimo a maggio 2011 (2.60  $\mu$  mole quanta  $m^{-2}s^{-1}$ ) ed un minimo a Maggio 2010 (0.65  $\mu$  mole quanta  $m^{-2}s^{-1}$ ) che si relazione con lo stato di copertura del cielo (Tab.1). I valori di PAR aumentano comunque gradualmente nel periodo tardo primaverile per poi diminuire a partire da settembre con un minimo a gennaio (1.68  $\mu$  mole quanta  $m^{-2}.s^{-1}$ )

Condizioni meteo					
Maggio 2010	Giugno 2010	Luglio 2010	Agosto 2010	Settembre 2010	
					
Dicembre 2010	Gennaio 2011	Marzo 2011	Maggio 2011	Giugno 2011	
					

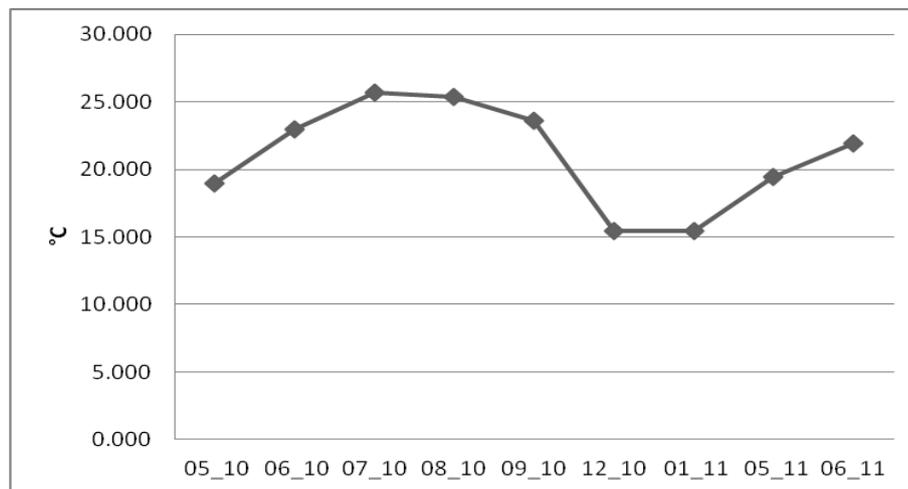
**Tabella 1** - Condizioni meteo registrate durante i campionamenti



**Grafico 4** - Andamento della PAR superficiale nel periodo di campionamento

## Temperatura

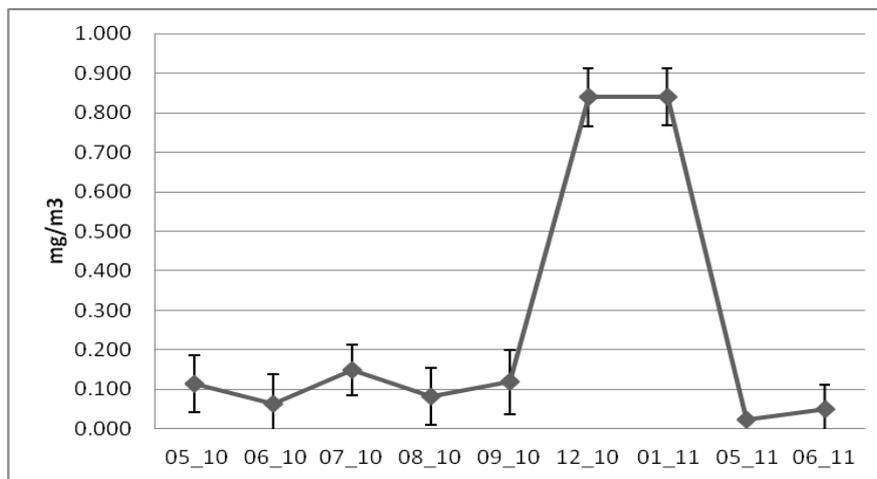
L'andamento stagionale della temperatura superficiale media di tutte le stazioni, evidenzia un picco massimo a Luglio 2010, con un valore di  $26^{\circ}\text{C} \pm 0.16$  ed un minimo a Dicembre 2010 e Gennaio 2011, con un valore di  $15^{\circ}\text{C} \pm 0.11$  (graf. 5). A partire dal massimo estivo rilevato, la temperatura superficiale mostra un decremento medio mensile di circa  $1^{\circ}\text{C}$  da Luglio fino a Gennaio (graf.5). Il trend di risalita si registra nel periodo primaverile con valori di  $20^{\circ}\text{C} \pm 0.15$  a Maggio 2011 e  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.33$  a Giugno 2011, con una differenza minimale tra i due anni (  $0.3^{\circ}\text{C}$  Maggio 2010 vs Maggio 2011;  $2,6^{\circ}\text{C}$  Giugno 2010 vs Giugno 2011 (graf.5).



**Grafico 5** - Andamento della temperatura superficiale nel periodo di campionamento.

### Clorofilla a

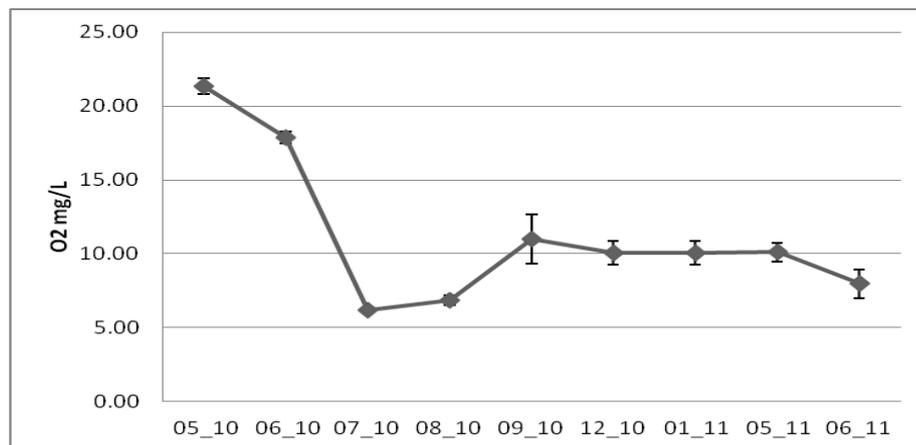
L'andamento stagionale della clorofilla "a" è riportato nel graf. 6. A partire da maggio 2010 con un valore di  $0.11 \text{ mg/m}^3$ , si ha una leggera flessione a giugno ( $0.05 \text{ mg/m}^3$ ) con una risalita in luglio ( $0.15 \text{ mg/m}^3$ ). La leggera diminuzione in agosto è seguita da una ripresa in settembre (graf.6). Atipicamente, nei mesi invernali si riscontrano i valori medi più alti (a Dicembre 2010 con  $0.84 \text{ mg/m}^3 \pm 0.07$ ; e Gennaio 2011 con  $0.84 \text{ mg/m}^3 \pm 0.07$ ); in maggio della primavera successiva si registra il valore minore ( $0.02 \text{ mg/m}^3 \pm 0.009$ ) seguito da una risalita a giugno ( $0.51 \pm 0.06$ ) (graf.6).



**Grafico 6** - Andamento della Clorofilla a nel periodo di campionamento.

## Ossigeno disciolto

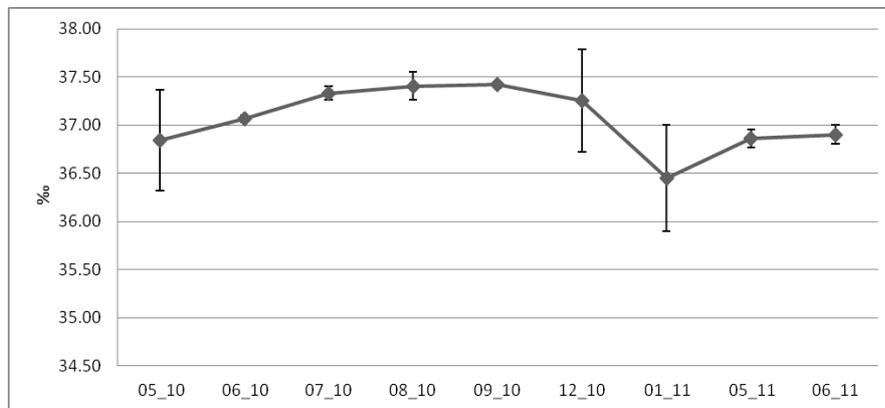
La quantità di ossigeno disciolto (indicatore di stato trofico delle acque), rilevata nel periodo di campionamento, è riportata nel grafico 7. I valori superficiali da noi rilevati presentano un minimo a Luglio 2010 ( $7.96 \pm 0.94$  mg/L) ed un valore massimo a Maggio 2010 ( $21.314 \pm 0.51$  mg/L) (graf.7). L'andamento generale riscontrato evidenzia un decremento a partire dalla stagione primaverile fino a Luglio, con una ripresa in tarda estate e in inverno, a cui segue un nuovo decremento (graf. 7).



**Grafico 7** - Andamento del ossigeno disciolto nel periodo di campionamento.

## Salinità

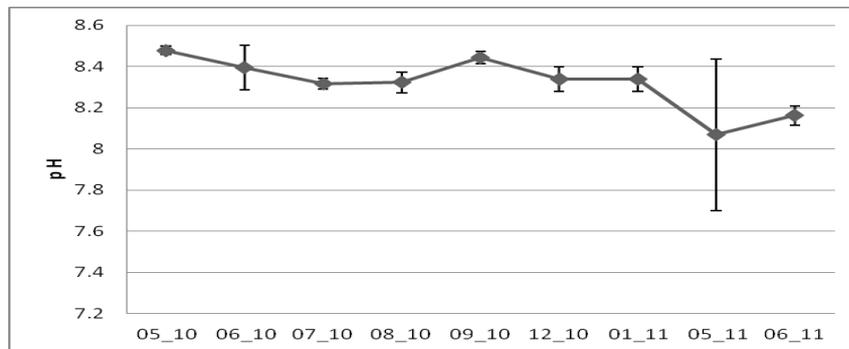
L'andamento della salinità evidenzia un aumento graduale a partire da Maggio (36.84 ‰ ± 0.51) raggiungendo il valore massimo a Settembre (37.41 ‰ ± 0.03); tra Dicembre e Gennaio si assiste ad un brusco decremento con un valore minimo a Gennaio (36.84 ‰ ± 0.51) cui segue una nuova risalita nella primavera successiva (graf. 8).



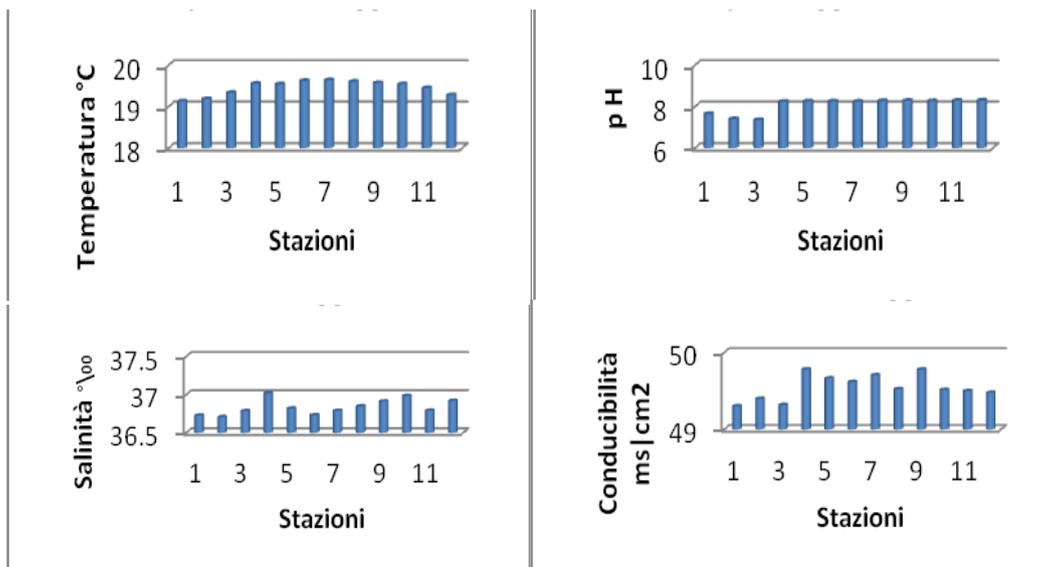
**Grafico 8** - Andamento della salinità superficiale nel periodo di campionamento.

## pH

L'andamento complessivo del pH (che riflette anche il tasso fotosintetico: una maggiore fotosintesi generalmente implica un aumento del pH) mostra la tendenza ad un aumento nel periodo estivo (Giugno-Settembre), con una leggera flessione nei mesi invernali (graf. 9). Il valore medio minimo di pH è di  $8,07 \pm 0,36$ , registrato nelle acque superficiali a Maggio 2011, mentre il valore massimo ( $8,48 \pm 0,02$ ) è stato riscontrato all'inizio del nostro periodo di campionamento (Maggio 2010). Dobbiamo sottolineare il valore minimo di pH risulta da una media non molta omogenea, in particolare le stazioni del I transetto (stazione 1, 2, 3) antistanti il fiume Corvino, mostrano pH intorno a 7 (7.65 nella stazione 1; 7.40 nella stazione 2 ; 7.30 stazione 3). Sempre in questo transetto, e in questo stesso periodo, anche altri parametri quali temperatura, conducibilità, salinità mostrano valori in media più bassi degli altri transetti (graf 10).



**Grafico 9** - Andamento del pH nel periodo di campionamento



**Grafico 10** - Andamento della temperatura, conducibilità e salinità nelle diverse stazioni nel campionamento di Maggio 2011.

### ***Analisi ANOVA dei parametri chimico-fisici***

I parametri chimico-fisici su descritti, insieme con i valori rilevati di conducibilità e torbidità, sono stati sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA) per verificare la significatività statistica rispetto alle tre diverse batimetrie (tre transetti longitudinali in direzione nord-sud, sulle isobate, 10m A, 50m B, 100m C,) (Fig.1) nel periodo di campionamento. L'analisi statistica ha evidenziato differenze significative ( $p < 0.05$ ) per alcuni parametri e soprattutto tra la prima (A) e seconda (B) fascia batimetrica (tab.2). In particolare, la temperatura ha mostrato differenze statisticamente significative tra le diverse batimetrie ( $p < 0.05$ ) solo nei mesi estivi (Luglio e Agosto 2010, Giugno 2011); il pH ha mostrato differenze statisticamente significative tra il primo e il secondo transetto ( $p < 0.05$ ) solo in Luglio 2010; la clorofilla *a* ha mostrato differenze statisticamente significative tra il primo e il terzo transetto ( $p < 0.05$ ) in tutti i mesi campionati, tranne Agosto 2010; tra il primo e il secondo transetto ( $p < 0.05$ ) a Maggio (2010 e 2011) e Dicembre 2010; tra il secondo e il terzo transetto ( $p < 0.05$ ) solo nei mesi di Agosto 2010, Gennaio 2011, Maggio 2011 (tab.). Per la salinità valori statisticamente significativi sono stati riscontrati tra I e II transetto in agosto 2010; l'ossigeno disciolto ha mostrato differenze significative tra il I e III transetto nei mesi di Agosto, Settembre (quando la differenza si mantiene anche tra I e II), Dicembre 2010 e Giugno 2011 (tab.3).

Complessivamente, l'analisi ANOVA, mostra una maggiore variabilità spaziale dei parametri chimico fisici rilevati tra il primo e il secondo transetto dove a variare sono circa 4 parametri su sei (Temperatura, pH, Clorofilla *a* e Ossigeno disciolto); il periodo a maggiore variabilità tra i transetti è Luglio e Agosto; il confronto tra il primo e terzo transetto evidenzia come a variare sono 3 parametri su sei (Temperatura, Clorofilla *a* e Ossigeno disciolto) e il mese dove si assiste alla maggiore variabilità dei parametri è Giugno; infine il confronto tra il secondo e terzo transetto evidenzia come a variare sono solo 2 parametri su 6 (Clorofilla *a* e Ossigeno disciolto), a supporto che i due transetti medio-distali sono tra di loro più omogenei (tab.3).

**Tabella 30** - Analisi ANOVA di alcuni parametri chimico-fisici nei transetti nord-sud  
(I transetto, isobata dei 10m A; II transetto, isobata dei 50m B; III transetto, isobata dei 100m C).

Maggio_10	°C	P <0.05	Conducibilità	P <0.05	pH	P <0.05	Clorofilla	P <0.05	Salinità	P <0.05	O2	P <0.05
1 transetto (A)	19.07 ± 0.31	ns	49.01 ± 0.15	ns	8.48 ± 0.02	ns	0.16 ± 0.073	BC	36.71 ± 0.12	ns	21.33 ± 0.28	ns
2 transetto(B)	26.05 ± 0.82	ns	57.21 ± 0.80	ns	8.25 ± 0.01	ns	0.12 ± 0.02	A	36.21 ± 0.08	ns	21.02 ± 0.86	ns
3 transetto(C)	19.34 ± 0.11	ns	49.64 ± 0.02	ns	8.50 ± 0.05	ns	0.03 ± 0.03	A	37 ± 0.05	ns	21.03 ± 0.10	ns
<b>Giugno_10</b>												n
1 transetto (A)	23.69 ± 0.17	ns	54.09 ± 0.19	ns	8.475 ± 0.16	ns	0.11 ± 0.11	C	36.82 ± 0.29	ns	17.36 ± 0.41	ns
2 transetto(B)	23.71 ± 0.38	ns	54.07 ± 0.41	ns	8.45 ± 0.019	ns	0.14 ± 0.007	C	36.79 ± 0.48	ns	17.34 ± 0.31	ns
3 transetto(C)	23.82 ± 0.23	ns	54.25 ± 0.27	ns	8.44 ± 0.004	ns	0.037 ± 0.009	AB	36.83 ± 0.02	ns	17.20 ± 0.18	ns
<b>Luglio_10</b>												
1 transetto (A)	25.97 ± 0.11	C	57.06 ± 0.11	ns	8.36 ± 0.02	B	0.10 ± 0.05	C	37.18 ± 0.01	ns	6.25 ± 0.08	ns
2 transetto(B)	26.05 ± 0.12		57.21 ± 0.20	ns	8.25 ± 0.03	A	0.12 ± 0.019		37.22 ± 0.05	ns	6.21 ± 0.03	ns
3 transetto(C)	26.21 ± 0.18	A	57.42 ± 0.29	ns	8.34 ± 0.01		0.15 ± 0.04	A	37.24 ± 0.06	ns	6.13 ± 0.19	ns
<b>Agosto_10</b>												
1 transetto (A)	25.7 ± 0.39	CB	56.91 ± 0.46	ns	8.35 ± 0.03	ns	0.09 ± 0.10		37.29 ± 0.09	B	6.80 ± 0.35	BC
2 transetto(B)	24.94 ± 0.34	A	56.07 ± 0.63	ns	8.28 ± 0.07	ns	0.08 ± 0.06	C	37.19 ± 0.20	A	7.85 ± 0.22	A
3 transetto(C)	26.21 ± 0.57	A	57.42 ± 0.74	ns	8.34 ± 0.02	ns	0.15 ± 0.03	BC	37.24 ± 0.10		6.13 ± 0.43	A
<b>Settembre_10</b>												
1 transetto (A)	23.66 ± 0.49	ns	54.79 ± 0.07	ns	8.44 ± 0.04	ns	0.15 ± 0.08	C	37.39 ± 0.39	ns	13.97 ± 0.27	CB
2 transetto(B)	23.45 ± 0.14	ns	54.59 ± 0.13	ns	8.38 ± 0.03	ns	0.19 ± 0.04		37.41 ± 0.01	ns	12.61 ± 0.18	A
3 transetto(C)	23.59 ± 0.07	ns	54.75 ± 0.06	ns	8.42 ± 0.004	ns	0.17 ± 0.11	A	37.39 ± 0.04	ns	9.64 ± 0.65	A

Dicembre_10												
1 transetto (A)	15.18 ± 0.12	ns	45.76 ± 0.17	ns	8.38 ± 0.08	ns	0.17 ± 0.09	CB	37.44 ± 0.10	ns	12.02 ± 0.12	C
2 transetto(B)	15.23 ± 0.10	ns	45.89 ± 0.11	ns	8.36 ± 0.06	ns	0.34 ± 0.02	A	37.51 ± 0.09	ns	12.41 ± 0.036	C
3 transetto(C)	15.18 ± 0.15	ns	45.98 ± 0.23	ns	8.34 ± 0.04	ns	0.31 ± 0.56	A	37.64 ± 0.08	ns	13.13 ± 0.04	AB
Gennaio_11												
1 transetto (A)	15.19 ± 0.31	ns	45.87 ± 0.09	ns	8.36 ± 0.04	ns	0.41 ± 0.06	C	37.53 ± 0.01	ns	10.89 ± 0.04	
2 transetto(B)	15.26 ± 0.11	ns	45.98 ± 0.011	ns	8.38 ± 0.08	ns	0.30 ± 0.10	C	37.56 ± 0.09	ns	10.34 ± 0.01	
3 transetto(C)	15.15 ± 0.02	ns	45.83 ± 0.35	ns	8.34 ± 0.02	ns	0.02 ± 0.03	AB	37.53 ± 0.02	ns	13.22 ± 0.011	
Maggio_11												
1 transetto (A)	20.13 ± 0.17	ns	49.80 ± 0.20	ns	8.17 ± 0.30	ns	0.041 ± 0.005	CB	36.44 ± 0.15	ns	9.51 ± 0.40	B
2 transetto(B)	19.97 ± 0.16	ns	49.6 ± 0.17	ns	8.12 ± 0.42	ns	0.027 ± 0.01	AC	36.41 ± 0.06	ns	10.08 ± 0.72	A
3 transetto(C)	19.96 ± 0.16	ns	49.87 ± 0.12	ns	8.09 ± 0.46	ns	0.022 ± 0.009	AB	36.64 ± 0.12	ns	10.17 ± 0.70	
Giugno_11												
1 transetto (A)	23.56 ± 0.36	C	53.87 ± 0.48	ns	8.19 ± 0.06	ns	0.01 ± 0.01	C	36.76 ± 0.08	ns	6.03 ± 0.96	C
2 transetto(B)	23.69 ± 0.29		53.98 ± 0.32	ns	8.25 ± 0.34	ns	0.03 ± 0.04		36.74 ± 0.02	ns	7.12 ± 0.10	C
3 transetto(C)	23.87 ± 0.17	A	54.08 ± 0.25	ns	8.26 ± 0.36	ns	0.03 ± 0.10	A	36.67 ± 0.12	ns	6.79 ± 0.79	AB
Legenda			p=									
A ( Primo transetto)			<0.05									
B ( secondo transetto)			<0.05									
C ( Terzo transetto)			<0.05									
N.S.			Non significativo									

## Popolamento fitoplanctonico

### *Analisi qualitative*

In tab.4 è riportato l'elenco totale delle specie fitoplanctoniche identificate nei campioni provenienti da retino (20 micron); per ciascuna specie è riportato anche la frequenza di presenza osservata nel campione, precisamente viene indicato: (\*) raramente osservata; (\*\*) più volte osservata; (\*\*\*) specie di attenzione per eventuali fenomeni di fioriture e/o casi di tossicità. Accanto al nome di ogni specie è riportato un numero che identifica rispettivamente (1) le Diatomee; (2) le Dinoficee; (3) Coccolitofori; (4) Altri flagellati. L'elenco floristico riporta in totale 86 specie di cui 41 (48.97%) appartenenti al gruppo delle Diatomee; 39 specie (43.67%) appartenenti alle Dinoficee; solo 2 specie (2.29%) di Coccolitofori; inoltre sono stati rinvenuti 4 specie di Altri Flagellati (tab.4).

Per quanto riguarda le Diatomee, le specie più volte riscontrate (\*\*) appartengono al genere *Chetoceros*, *Bacteriastrum*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Hemiaulus*, *Leptocylindrus* e *Thalassionema* (tab.4). Tra le specie potenzialmente tossiche rilevate nei nostri campioni nel gruppo Diatomee sono quelle del genere *Pseudo-nitzschia* (*Pseudo-nitzschia cfr delicatissima*, *P. galaxiae*, *P. multistriata*). Per queste specie si tratta della prima segnalazione lungo le coste calabresi, in quanto non sono mai state fatte segnalazioni scientifiche lungo tali coste.

Per quanto riguarda le Dinoficee, le specie frequenti (\*\*) appartengono al genere *Ceratium* e al genere *Prorocentrum*. Tra le Dinoficee potenzialmente tossiche abbiamo rilevato quelle appartenenti al genere *Alexandrium* e *Dinophysis* (tab.4). Per quanto riguarda i Coccolitofori le 2 specie identificate sono *Emiliana huxleyi* e *Discosphaera tubifera* (tab.4).

**Tabella 4** - Elenco floristico delle specie e generi identificati nei campioni provenienti da retino nel periodo di campionamento.

Gruppo	note	Specie
1	*	<i>Amphora spp.</i>
1	*	<i>Asterolampra marylandica</i>
1	*	<i>Asterionellopsis glacialis</i>
1	*	<i>Bleakeleya notata</i>
1	*	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>
1	**	<i>Bacteriastrum furcatum</i>
1	**	<i>Chaetoceros affinis</i>
1	**	<i>Chaetoceros brevis</i>
1	**	<i>Chaetoceros contortus</i>
1	**	<i>Chaetoceros costatus</i>
1	**	<i>Chaetoceros curvisetus</i>
1	**	<i>Chaetoceros decipiens</i>
1	**	<i>Chaetoceros dadayi</i>
1	**	<i>Chaetoceros danicus</i>
1	**	<i>Chaetoceros diversus</i>

1	**	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>
1	**	<i>Chaetoceros peruvianus</i>
1	*	<i>Chaetoceros socialis</i>
1	**	<i>Chaetoceros spp.</i>
1	*	<i>Cylindroteca closterium</i>
1	*	<i>Fragilaria spp.</i>
1	*	<i>Guinardia striata</i>
1	**	<i>Hemiaulus hauckii</i>
1	*	<i>Haslea wawriake</i>
1	*	<i>Leptocylindrus minimus</i>
1	*	<i>Licmophora gracilis</i>
1	*	<i>Licmophora flabellata</i>
1	*	<i>Licmophora spp.</i>
	**	<i>Navicula spp.</i>
1	*	<i>Nitzschia longissima</i>
	**	<i>Nitzschia spp.</i>
1	**	<i>Proboscia cfr alata</i>

1	***	<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>
1	***	<i>Pseudo-nitzschia galaxiae</i>
1	*	<i>Rhizosolenia cf. clevei</i>
1	*	<i>Rhizosolenia cf. imbricata</i>
1	*	<i>Rhizosolenia setigera</i>
1	*	<i>Skeletonema pseudocostatum</i>
1	*	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>
1	**	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
2	***	<i>Alexandrium spp.</i>
2	***	<i>Alexandrium cf minutum</i>
2	*	<i>Ceratium declinatum</i>
2	**	<i>Ceratium candelabrum</i>
2	**	<i>Ceratium carriense</i>
2	**	<i>Ceratium contrarium</i>
2	**	<i>Ceratium furca</i>
2	**	<i>Ceratium fusus</i>
2	**	<i>Ceratium longirostrum</i>

2	**	<i>Ceratium macroceros</i>
2	*	<i>Ceratium massiliense</i>
2	**	<i>Ceratium pentagonum</i>
2	**	<i>Ceratium pulchellum</i>
2	**	<i>Ceratium tripos</i>
2	***	<i>Dinophysis caudata</i>
2	***	<i>Dinophysis rotundata</i>
2	***	<i>Dinophysis tripos</i>
2	*	<i>Diplopsalis (gruppo)</i>
2	*	<i>Gonyaulax polygramma</i>
2	*	<i>Gymnodinium spp.</i>
2	*	<i>Heterocapsa spp.</i>
2	*	<i>Mesoporos adriaticum</i>
2	*	<i>Mesoporos spp.</i>
2	*	<i>Dinoflagellati atecati indeterminati</i>
2	*	<i>Oxytoxum scolopax</i>
2	*	<i>Oxytoxum spp.</i>

2	*	<i>Prorocentrum balticum</i>
2	*	<i>Prorocentrum compressum</i>
2	*	<i>Prorocentrum gracile</i>
2	*	<i>Prorocentrum lima</i>
2	*	<i>Prorocentrum micans</i>
2	**	<i>Prorocentrum triestinum</i>
2	**	<i>Prorocentrum spp.</i>
2	*	<i>Protoperidinium crassipes</i>
2	*	<i>Protoperidinium brevipes</i>
2	*	<i>Protoperidinium cfr.diabolus</i>
2	*	<i>Protoperidinium steinii</i>
2	*	<i>Podolampas palmipes</i>
2	*	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
2	*	<i>Protoperidinium spp.</i>
2	*	Dinoflagellati tecati indeterminati
3	*	<i>Discosphaera tubifera</i>
3	*	<i>Emiliana huxleyi</i>

4		Euglena
4		<i>Prasinoficee cfr Tetraselmis sp.</i>
4		<i>Eutreptiella spp.</i>
4		Flagellati indeterminati

L'elenco delle specie identificate nei campioni provenienti da Niskin è riportato in Tab.5 Il numero di specie totali è pari a 114 di cui 44 Diatomee (38.71 %), 55 specie di Dinoficee (48.36 %), 6 specie di Coccolitofori (5.3 %) e 9 specie di Altri Flagellati (8.3%).

**Tabella 5** - Elenco delle specie identificate nei campioni provenienti da Niskin nel periodo di campionamento.

1		<i>Amphora spp.</i>
1	*	<i>Asterolampra marylandica</i>
1	*	<i>Bleakeleya notata</i>
1	*	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>
1	**	<i>Bacteriastrum furcatum</i>
1	*	<i>Chaetoceros affinis cf.</i>
1	*	<i>Chaetoceros brevis</i>
1	*	<i>Chaetoceros contortus</i>
1	*	<i>Chaetoceros costatus</i>
1	*	<i>Chaetoceros curvisetus</i>

1	*	<i>Chaetoceros decipiens</i>
1	**	<i>Chaetoceros dadayi</i>
1	**	<i>Chaetoceros danicus</i>
1	**	<i>Chaetoceros diversus</i>
1	*	<i>Chaetoceros lauderi</i>
1	**	<i>Chaetoceros peruvianus</i>
1	*	<i>Chaetoceros socialis</i>
1	**	<i>Chaetoceros spp.</i>
1	**	<i>Cylindroteca closterium</i>
1	*	<i>Fragilaria spp</i>
1	*	<i>Guinardia flaccida</i>
1	*	<i>Guinardia striata</i>
1	**	<i>Hemiaulus hauckii</i>
1	*	<i>Leptocylindrus danicus</i>
1	**	<i>Leptocylindrus minimus</i>
1	*	<i>Licmophora dalmatica</i>
1	*	<i>Licmophora flabellata</i>
1	*	<i>Licmophora spp</i>
1	**	<i>Navicula spp.</i>
1	*	<i>Nitzschia longissima</i>
1	**	<i>Nitzschia spp.</i>

1	*	<i>Proboscia cf alata</i>
1	***	<i>Pseudonitzschia pseudodelicatissima</i>
1	***	<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>
1	***	<i>Pseudonitzschia galaxiae</i>
1	***	<i>Pseudonitzschia multistriata</i>
1	*	<i>Rhizosolenia cf. clevei</i>
1	*	<i>Rhizosolenia cf. imbricata</i>
1	*	<i>Skeletonema pseudocostatum</i>
1	*	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>
1	**	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
1	*	<i>Thalassiosira spp.</i>
2	*	<i>Amphidinium spp.</i>
2	**	<i>Ceratium candelabrum</i>
2	**	<i>Ceratium concilians</i>
2	**	<i>Ceratium declinatum</i>
2	**	<i>Ceratium furca</i>
2	**	<i>Ceratium fusus</i>
2	**	<i>Ceratium longirostrum</i>
2	**	<i>Ceratium macroceros</i>
2	**	<i>Ceratium massiliense</i>
2	**	<i>Ceratium pentagonum</i>

2	**	<i>Ceratium pulchellum</i>
2	**	<i>Ceratium tripos</i>
2	**	<i>Ceratium trichoceros</i>
2	*	<i>Ceratocorys horrida</i>
2	***	<i>Dinophysis caudata</i>
2	***	<i>Dinophysis rotundata</i>
2	*	<i>Diplopsalis</i> (gruppo)
2	*	<i>Gonyaulax polygramma</i>
2	*	<i>Gymnodinium voukii</i>
2	*	<i>Gymnodinium spp.</i>
2	*	<i>Gyrodinium fusus</i>
2	*	<i>Gyrodinium spp.</i>
2	**	<i>Heterocapsa spp.</i>
2	**	<i>Heterocapsa niei</i>
2	**	<i>Mesoporos adriaticum</i>
2	**	<i>Mesoporos perforatus</i>
2	**	<i>Mesoporos spp.</i>
2	**	Dinoflagellati atecati indeterminati
2	*	<i>Ornithocercus magnificus</i>
2	*	<i>Oxytoxum depressum</i>
2	*	<i>Oxytoxum globosum</i>

2	*	<i>Oxytoxum tessellatum</i>
2	*	<i>Oxytoxum sceptrum</i>
2	***	<i>Oxytoxum scolopax</i>
2	*	<i>Oxytoxum spp.</i>
2	**	<i>Prorocentrum balticum</i>
2	**	<i>Prorocentrum compressum</i>
2	**	<i>Prorocentrum gracile</i>
2	*	<i>Prorocentrum lima</i>
2	*	<i>Prorocentrum maximum</i>
2	**	<i>Prorocentrum micans</i>
2	**	<i>Prorocentrum minimum</i>
2	**	<i>Prorocentrum rotundatum</i>
2	**	<i>Prorocentrum spp.</i>
2	*	<i>Protopteridinium crassipes</i>
2	*	<i>Protopteridinium brevipes</i>
2	**	<i>Protopteridinium cf diabolus</i>
2	*	<i>Protopteridinium oblongum</i>
2	*	<i>Protopteridinium ovum</i>
2	**	<i>Protopteridinium steinii</i>
2	*	<i>Protopteridinium subinermis</i>
2	**	<i>Scrippsiella trochoidea</i>

2	**	<i>Protoberidinium spp.</i>
2	**	Dinoflagellati tecati indeterminati
2	*	<i>Torodinium robustum</i>
3	*	<i>Calyptosphaera globosa</i>
3	**	<i>Discosphaera tubifera</i>
3	**	<i>Emiliana huxleyi</i>
3	**	<i>Pontosphaera syracusana</i>
3	**	<i>Rhabdosphaera clavigera</i>
3	**	<i>Syracosphaera pulchra</i>
4	**	<i>Criptoficee cfr leucocriptos</i>
4	**	<i>Criptoficee cfr plagioselmis</i>
4	*	<i>Dyctyocha fibula</i>
4	*	<i>Euglena cf. acusformis</i>
4	*	<i>Prasinoficee spp.</i>
4	**	<i>Prasinoficee cf Pseudodcourfieldia marina</i>
4	**	<i>Prasinoficee cf Pyramimonas spp.</i>
4	**	<i>Prasinoficee cf Tetraselmis sp</i>
4	**	<i>Eutreptiella spp.</i>
4	**	Flagellati indeterminati

Per quanto riguarda le analisi qualitative, abbiamo anche confrontato gli elenchi floristici provenienti da retino (20 micron) dei campioni sottocosta (isobata 10m) rispetto a quelli più a largo (100m) al fine di rilevare eventuali differenze.

Complessivamente il n° di specie identificate nei campioni sottocosta è dell'ordine di 58 specie, mentre il n° di specie totali identificate nei campioni di largo è pari a 32.

Sul totale di specie identificate sottocosta, il 53,44 % appartiene al gruppo delle Diatomee, seguono le Dinoficee con il 37,93 %, Altri flagellati con 6,8 % e i Coccolitofori con l'1,72%. Nei campioni di largo le Diatomee scendono al 34,93 %, le Dinoficee arrivano al 53,31%, aumentano anche i Coccolitofori al 6.20%, gli Altri flagellati si mantengono costanti al 6.20% (tab.4). Il confronto delle specie identificate nei due tipi di campioni, rileva in alcuni casi differenze tra le specie rinvenute sotto costa e quelle rinvenute a largo. In particolare le maggiori differenze sono state osservate per il gruppo delle Diatomee dove, è stata rilevata, una maggiore presenza di specie bentoniche nei campioni costieri (*Navicula spp*, *Pseudo nitzschia multistriata*, *Pseudo nitzschia cfr pseudodelicatissima*, *Pseudo nitzschia cfr delicatissima*), mentre nei campioni di largo è stata rinvenuta una maggiore presenza di specie planctoniche.

**Tabella 4** - Elenco floristico dei campioni sottocosta (isobata 10m) vs campioni largo (100m)

Gruppo	Specie	Costa	Largo
<i>I</i>	<i>Amphora spp.</i>	+	-
<i>I</i>	<i>Asterolampra marylandica</i>	+	-
<i>I</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	+	-
<i>I</i>	<i>Bleakeleya notata</i>	-	+
<i>I</i>	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	+	-
<i>I</i>	<i>Bacteriastrum furcatum</i>	+	-
<i>I</i>	<i>Chaetoceros affinis</i>	-	+

<i>1</i>	<i>Chaetoceros contortus</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Chaetoceros costatus</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	-	+
<i>1</i>	<i>Chaetoceros decipiens</i>	-	+
<i>1</i>	<i>Chaetoceros dadayi</i>	+	+
<i>1</i>	<i>Chaetoceros danicus</i>	+	+
<i>1</i>	<i>Chaetoceros diversus</i>	-	+
<i>1</i>	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	+	+
<i>1</i>	<i>Chaetoceros socialis</i>	-	-
<i>1</i>	<i>Cylindroteca closterium</i>	+	+
<i>1</i>	<i>Fragilaria spp.</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Guinardia flaccida</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Hemiaulus hauckii</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Haslea wawriake</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Leptocylindrus minimus</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Licmophora gracilis</i>	+	-

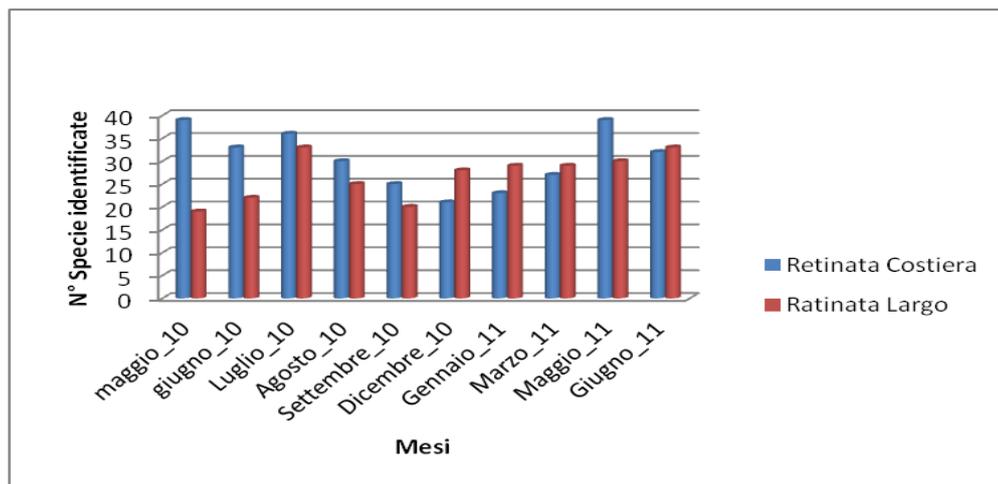
<i>1</i>	<i>Licmophora flabellata</i>	-	-
<i>1</i>	<i>Licmophora spp.</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Navicula spp.</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Nitzschia longissima</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Nitzschia spp.</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Proboscia cfr alata</i>	+	+
<i>1</i>	<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Pseudo-nitzschia cfr delicatissima</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Pseudo-nitzschia cfr pseudodelicatissima</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Pseudo nitzschia galaxiae</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Rhizosolenia clevei</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Skeletonema pseudocostatum</i>	+	-
<i>1</i>	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	-	+

1	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	-
2	<i>Ceratium declinatum</i>	+	-
2	<i>Ceratium candelabrum</i>	+	+
2	<i>Ceratium carriense</i>	-	+
2	<i>Ceratium contrarium</i>	-	+
2	<i>Ceratium furca</i>	+	+
2	<i>Ceratium fusus</i>	+	+
2	<i>Ceratium longirostrum</i>	-	-
2	<i>Ceratium macroceros.</i>	+	+
2	<i>Ceratium massiliense</i>	+	-
2	<i>Ceratium pentagonum</i>	+	+
2	<i>Ceratium pulchellum</i>	-	+
2	<i>Ceratium tripos</i>	+	+
2	<i>Dinophysis caudata</i>	+	-
2	<i>Dinophysis rotundata</i>	+	-
2	<i>Dinophysis tripos</i>	+	-
2	<i>Diplopsalis (gruppo)</i>	-	+

2	<i>Gonyaulax polygramma</i>	+	-
2	<i>Gymnodinium spp.</i>	+	-
2	<i>Heterocapsa spp.</i>	+	+
2	<i>Mesoporos adriaticum</i>	-	+
2	<i>Oxytoxum scolopax</i>	+	-
2	<i>Prorocentrum balticum</i>	-	+
2	<i>Prorocentrum compressum</i>	+	-
2	<i>Prorocentrum gracile</i>	+	-
2	<i>Prorocentrum lima</i>	-	+
2	<i>Prorocentrum micans</i>	-	+
2	<i>Prorocentrum triestinum</i>	-	+
2	<i>Prorocentrum spp.</i>	+	-
2	<i>Protodinium crassipes</i>	+	-
2	<i>Proto-peridinium</i> <i>cfr. diabolus</i>	+	-
2	<i>Proto-peridinium steinii</i>	+	-
2	<i>Proto-peridinium spp.</i>	+	-
2	<i>Tecati spp.</i>	+	-

3	<i>Discosphaera tubifera</i>	-	+
3	<i>Emiliana huxleyi</i>	+	-
3	<i>Pontosphaera syracusana</i>	-	+
4	<i>Euglena cf acusformis</i>	+	-
4	<i>Prasinoficee cf Tetraselmis sp.</i>	+	+
4	<i>Eutreptiella spp.</i>	+	-
4	<i>Flagellati indeterminati</i>	+	+

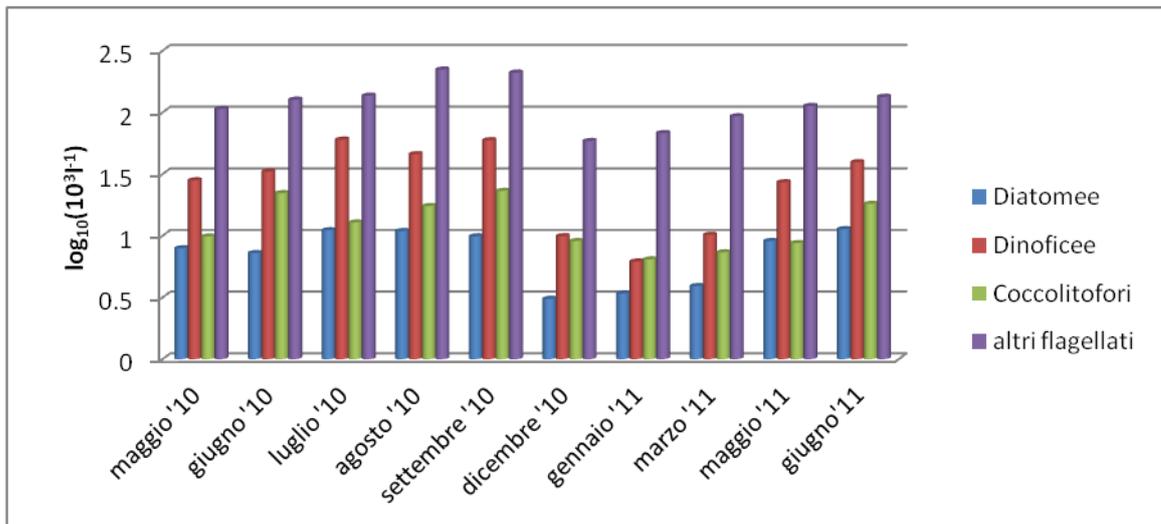
Per quanto riguarda le variazioni stagionali, il n° di specie nei campioni sottocosta raggiunge il valore massimo in Maggio (sia 2010 che 2011) con 38 specie, ed il minimo in dicembre con 20 specie (graf.11). Nei campioni di largo, il massimo si raggiunge a Luglio 2010 e Giugno 2011 con 33 specie; mentre il mese con minore presenza di specie si riscontra in Maggio 2010 con 19 specie (graf.11).



**Grafico 11** –Variazione stagionale delle specie identificate nei campioni sottocosta (isobata 10m) vs campioni largo (100m)

## Analisi quantitative

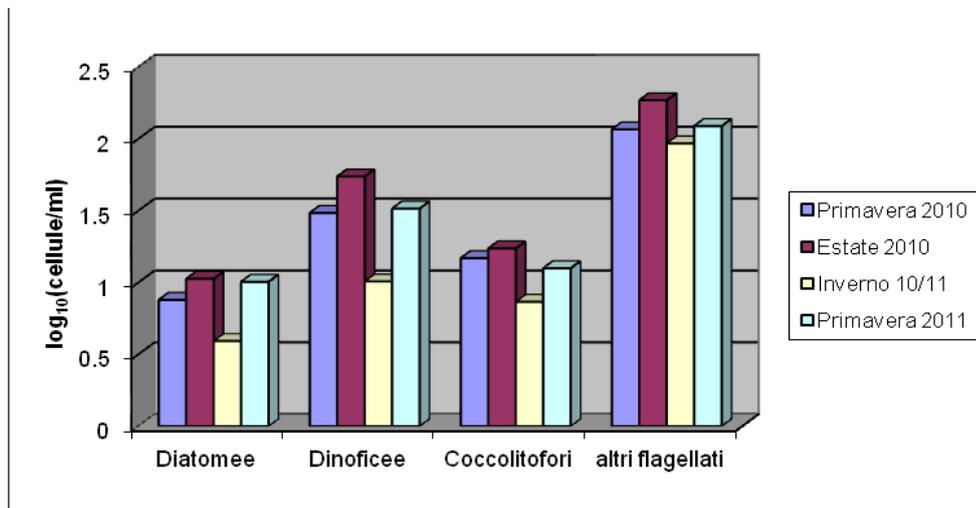
La biomassa fitoplanctonica varia notevolmente nell'arco dell'anno con un minimo di densità totale pari a  $223 \text{ cellule } 10^3 \text{ l}^{-1}$  in dicembre ed un massimo di  $895 \text{ cellule } 10^3 \text{ l}^{-1}$  in settembre (graf.12). Il gruppo più rappresentativo è quello degli Altri Flagellati che presenta un intervallo di concentrazioni che varia da un minimo di  $29 \text{ cellule } 10^3 \text{ l}^{-1}$  nel mese di dicembre a un massimo di  $434 \text{ cellule } 10^3 \text{ l}^{-1}$  nel mese di agosto (graf.12). Gli stessi flagellati costituiscono mediamente circa il 71.95 % del popolamento totale, a cui seguono le Dinoficee (17.57 % del popolamento totale) e i Coccolitoforidi (6.68 % del popolamento totale) (Graf. 12) ; il gruppo meno abbondante è rappresentato dalle Diatomee (circa il 3.89 % del totale). Nel periodo autunnale (ottobre-novembre) si registra una diminuzione dell'abbondanza di tutti i gruppi fitoplanctonici che raggiungono la minima concentrazioni nel periodo invernale, quando la comunità è fortemente dominata da piccoli flagellati (graf.12).



**Grafico 12** - Andamento stagionale del fitoplancton e abbondanza relativa dei principali gruppi fitoplanctonici nel periodo di campionamento

Le abbondanze mensili dei diversi gruppi fitoplanctonici, sono state riportate per singole stagioni e le variazioni stagionali analizzate attraverso analisi statistica ANOVA (graf. 13). I risultati evidenziano, per quanto riguarda le Diatomee, differenze di abbondanza significative tra i valori estivi-primaverili rispetto alle densità

invernali (graf.13); le Dinoficee presentano differenze significative tra le densità della primavera 2010 rispetto all'inverno; i valori di densità estivi risultano sempre significativamente diversi dagli altri periodi (Graf. 13). Nel gruppo dei Coccolitofori l'abbondanza della primavera 2010 è significativamente maggiore rispetto all'inverno; i valori dell'estate sono diversi da quelli dell'inverno e solo della primavera 2011 (graf.13). Per quanto riguarda l'abbondanza stagionale degli Altri flagellati, le densità primaverili sono significativamente maggiori di quelle invernali; la densità estiva è significativamente maggiore di quella invernale e primaverile (graf.13).



**Grafico 13** - Andamento stagionale dei principali gruppi fitoplanctonici

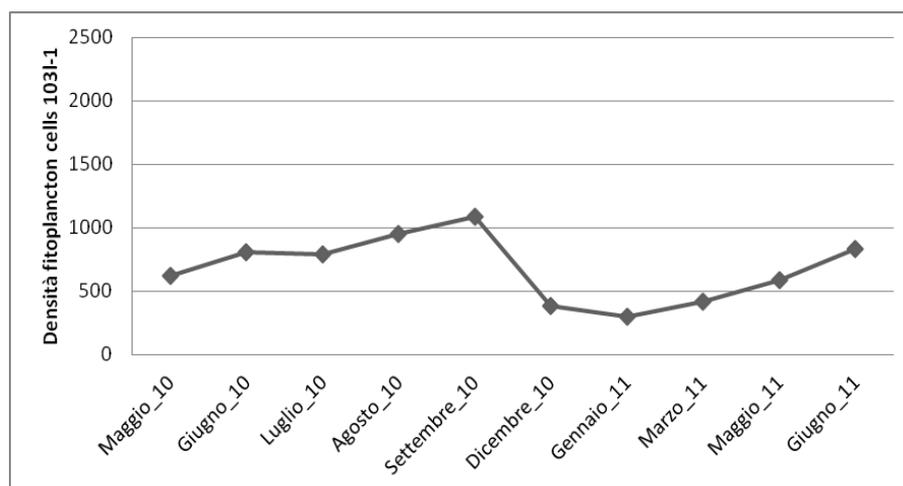
## Variazioni spaziali della comunità fitoplanctonica

### *Densità fitoplanctonica e abbondanza relative nei transetti nord-sud*

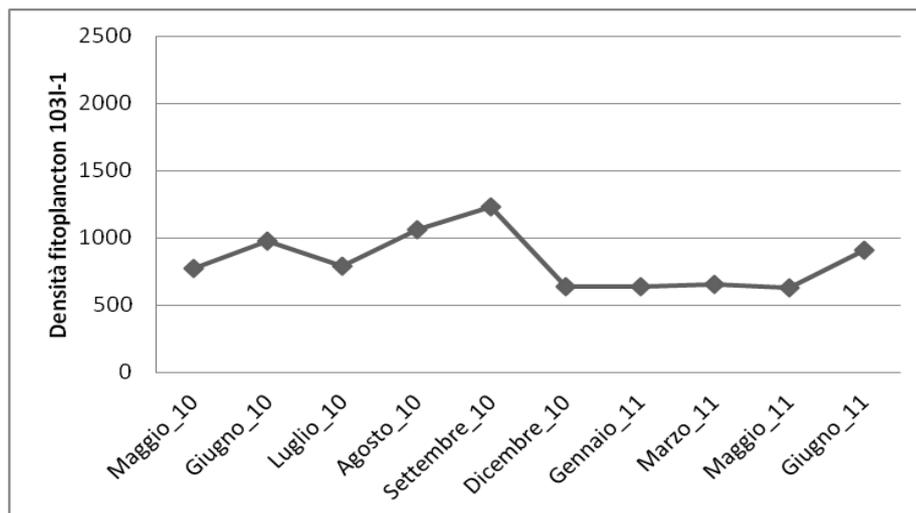
Al fine di rilevare differenze tra le varie stazioni campionate abbiamo confrontato le densità e le abbondanze relative dei diversi gruppi fitoplanctonici cumulando i dati delle stazioni dislocate sulle stesse isobate (I-II-III transetto Nord-Sud, isobata rispettivamente 10, 50, 100m) e definendole rispettivamente come campionamento costiero, intermedio e distale. La densità fitoplanctonica lungo il transetto costiero, evidenzia un valore massimo a Settembre 2010 ( $1087 \text{ cells } 10^3 \text{ l}^{-1}$ ) ed un minimo a

Gennaio 2011( 292 cells  $10^3l^{-1}$ ) (graf.15). L'andamento stagionale presenta un graduale aumento di densità da Maggio 2010 ( 622 cells  $10^3l^{-1}$ ) a Giugno 2010 ( 792 cells  $10^3l^{-1}$ ) che si mantiene stabile a Luglio 2010 ( 800 cells  $10^3l^{-1}$ ) per poi aumentare in agosto e settembre; in dicembre si assiste ad una brusca diminuzione, con il raggiungimento del minimo a Gennaio 2011( 292 cells  $10^3l^{-1}$ ) cui segue una costante ripresa da Marzo ( 414 cells  $10^3l^{-1}$ ) fino a Giugno 2011 ( 828cells  $10^3l^{-1}$ ) ristabilendo i valori del precedente anno (graf.14).

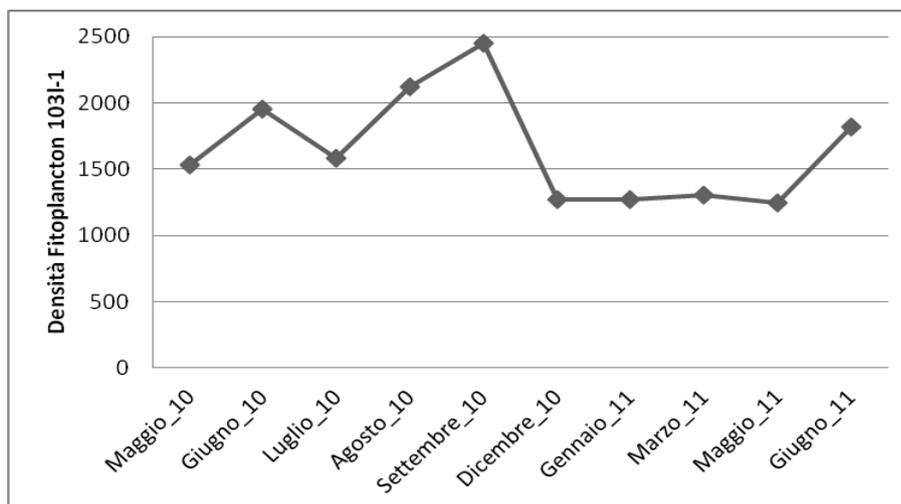
La densità fitoplanctonica nel transetto intermedio rileva un valore massimo in Settembre 2010 (1227cells  $10^3l^{-1}$ ) ed un minimo a Dicembre 2010 ( 636 cells  $10^3l^{-1}$ ) e Gennaio 2011 ( 637 cells  $10^3l^{-1}$ ); una lieve flessione si rileva in Luglio con un valore di 791cells  $10^3l^{-1}$ , (graf.15). Anche lungo la fascia distale nei periodi invernali si registra una fase di decremento delle densità che raggiunge i valori minimi stagionali a Dicembre 2010 ( 1269 cells  $10^3l^{-1}$ ) e Gennaio 2011 ( 1271 cells  $10^3l^{-1}$ ); anche in questa fascia si ha un incremento tra Maggio 2010 (1531 cells  $10^3l^{-1}$ ) e Giugno 2010 ( 1949 cells  $10^3l^{-1}$ ), con una diminuzione nel mese di Luglio 2010 1583 cells  $10^3l^{-1}$ ) cui segue un costante incremento fino a Settembre 2010 quando si raggiunge il picco massimo stagionale (2451cells  $10^3l^{-1}$ ) (graf.16); i valori minimi sono stabili fino a marzo 2011 (414 cells  $10^3l^{-1}$ ) quando poi inizia la ripresa con densità di 1818cells  $10^3l^{-1}$  a Giugno 2011 (pari al all' anno precedente) (graf.16).



**Grafico 14** - Variazione della densità del fitoplancton transetto costiero



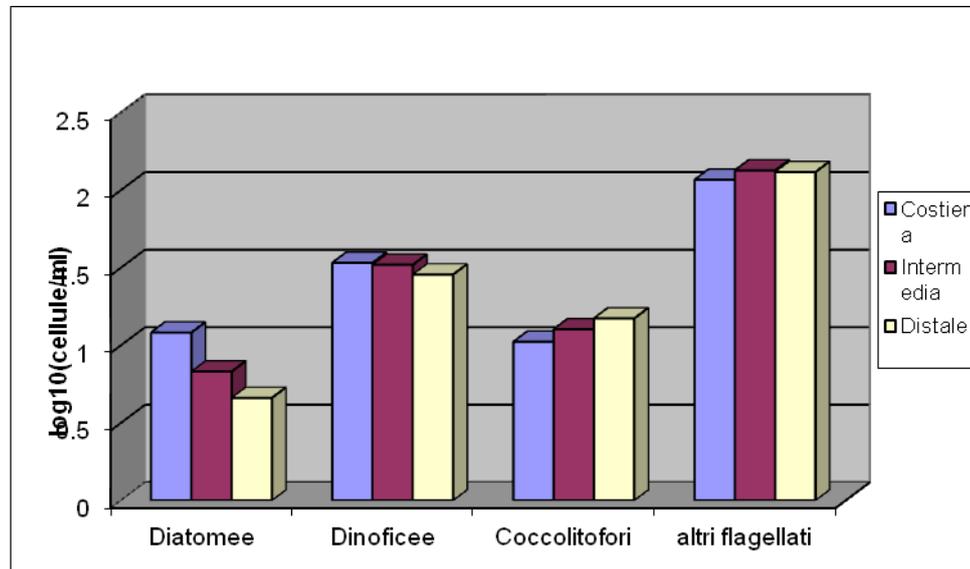
**Grafico 15** - Variazione della densità del fitoplancton transetto intermedio



**Grafico 16** - Variazione della densità del fitoplancton transetto distale

La distribuzione delle abbondanze relative dei 4 gruppi principali fitoplanctoni (diatomee, dinoficee, coccolitofori e altri flagellati) rilevata in tutto il periodo campionato lungo le tre isobate (costiera, intermedia e distale) è riportata in (graf 17). Per quanto riguarda le Diatomee la loro presenza è più elevata lungo la fascia batimetrica costiera, con una graduale diminuzione verso il transetto di largo (graf.17); le Dinoficee sono sempre presenti quasi in egual misura lungo tutte le fasce batimetriche; i Coccolitofori presentano un leggero aumento verso la fascia distale; gli

Altri flagellati, gruppo che comprende anche i piccoli flagellati indeterminati (< 10  $\mu\text{m}$ ), mostrano un progressivo aumento lungo le fasce batimetriche più profonde (graf.17).

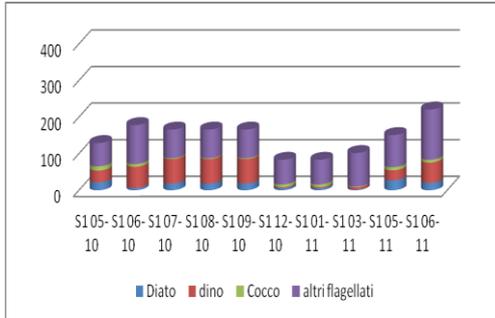


**Grafico 17** - Abbondanza relativa dei principali gruppi fitoplanctonici lungo le tre isobate (costiera, intermedia e distale)

#### *Abbondanze relative dei principali gruppi fitoplanctonici nei transetti costa-largo*

Il confronto tra i diversi transetti costa-largo, ha evidenziato differenze più chiare relativamente tra il I e IV transetto (Fig.1). In particolare, il I transetto mostra complessivamente una minore densità algale soprattutto per la stazione di campionamento più costiera (isobata 10m) (graf.19 a). In questa stessa stazione c'è un maggiore presenza di Dinoficee rispetto al IV transetto, dove invece aumenta la quota dei Coccolitofori e degli altri Flagellati (graf.19 d). In agosto, nelle stazioni più distali si assiste ad un sensibile aumento nell'abbondanza di Altri Flagellati (graf.19 c,f). In ultimo, da evidenziare che nei mesi di dicembre e gennaio la popolazione a Dinoflagellati si riduce molto nel sito costiero del I transetto, mentre è ancora rappresentata nel IV transetto (graf.19 a,d).

I transetto



IV transetto

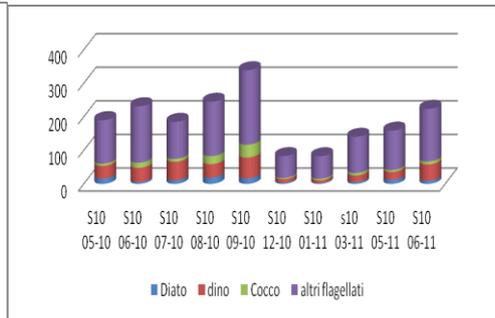


Grafico19 a

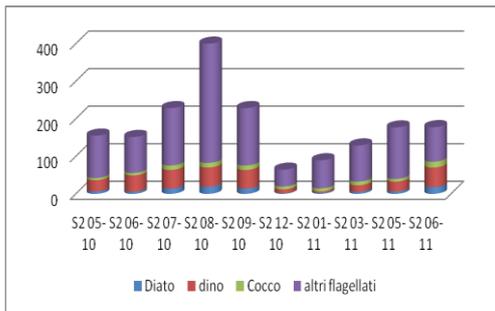


Grafico19 d

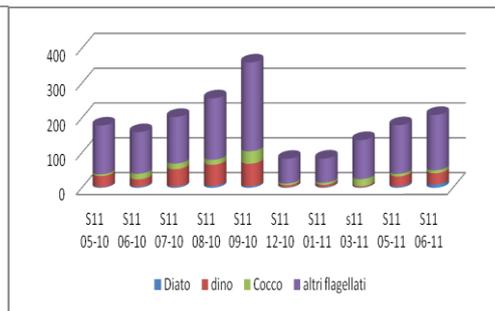


Grafico19 b

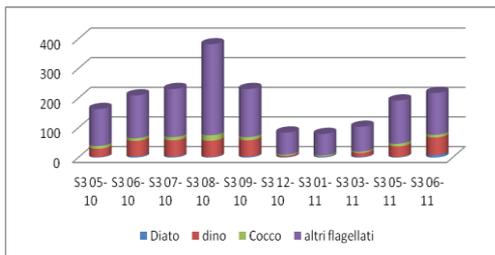


Grafico19 e

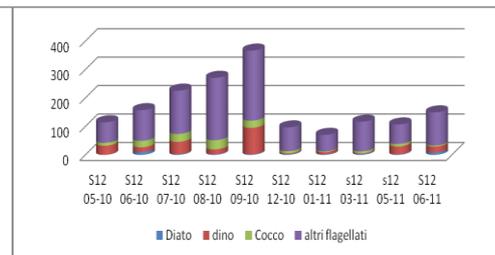


Grafico19 c

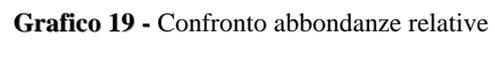
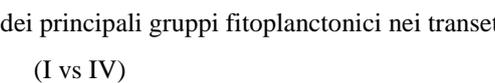


Grafico19 f



**Grafico 19** - Confronto abbondanze relative dei principali gruppi fitoplanctonici nei transetti costa-largo (I vs IV)

## Composizione della comunità fitoplanctoniche

### ***Maggio 2010***

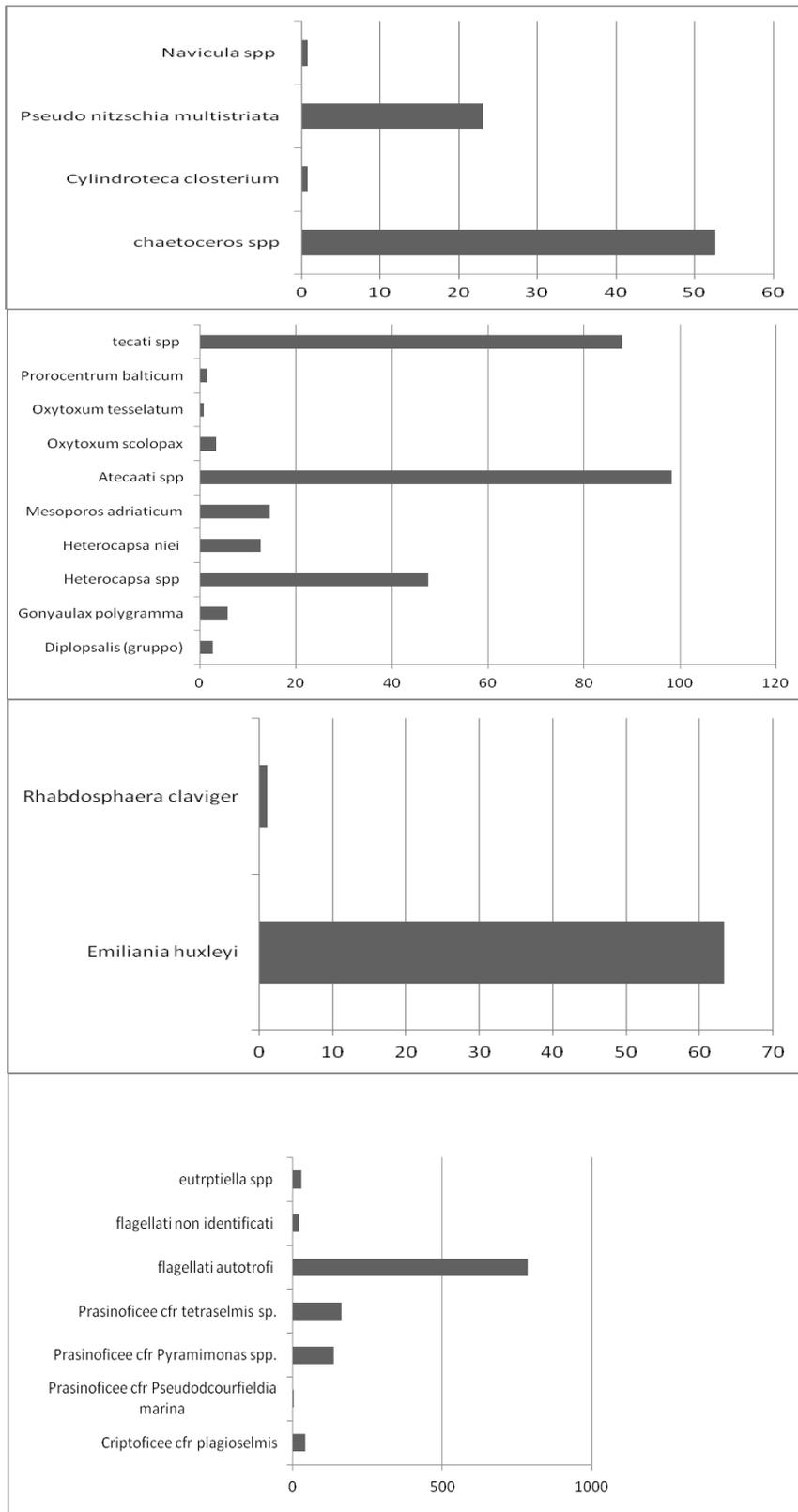
In questa campagna sono stati identificati in totale 33 specie. Di queste, 13 specie (39,39%) sono Dinoficee, 8 specie (24,24%) sono Diatomee, 7 specie (21,20%) di Altri flagellati e 2 specie (6,6%) di Coccolitofori.

Per quanto riguarda le specie di Diatomee identificate, c'è la prevalenza di specie appartenenti al genere *Chetoceros* spp. (51 cells  $10^3 l^{-1}$ ) e *Pseudo-nitzschia multistriata* (21 cells  $10^3 l^{-1}$ ); molto ridotta risulta, invece, la presenza delle specie appartenenti a *Navicula* spp. (1 cells  $10^3 l^{-1}$ ) e *Cylindroteca closterium* (1 cells  $10^3 l^{-1}$ ) (grafico 20)

Il Gruppo delle Dinoficee risulta essere rappresentato dalle specie appartenenti agli Atecati (97 cells  $10^3 l^{-1}$ ), Tecati (85 cells  $10^3 l^{-1}$ ) ed Heterocapsa (47 cells  $10^3 l^{-1}$ ) (graf. 19)

I Coccolitofori presentano solo due specie *Emiliana huxleyi* (59 cells  $10^3 l^{-1}$ ) e *Rabdosphaera clavigera* (1 cells  $10^3 l^{-1}$ ). (graf. 20)

Infine il gruppo degli Altri flagellati, anche se rappresentato da un numero basso di specie, presenta valori molto elevati in termini di cellule. Tale gruppo risulta essere dominato da flagellati indeterminati (785 cells  $10^3 l^{-1}$ ) e da specie appartenenti al genere *Pyramimonas* spp. (137 cells  $10^3 l^{-1}$ ) e *Tetraselmis* sp. (162 cells  $10^3 l^{-1}$ ) (graf.20)



**Grafico 20 - Comunità fitoplanctoniche in cells  $10^3 l^{-1}$  Maggio 2010**

## Giugno 2010

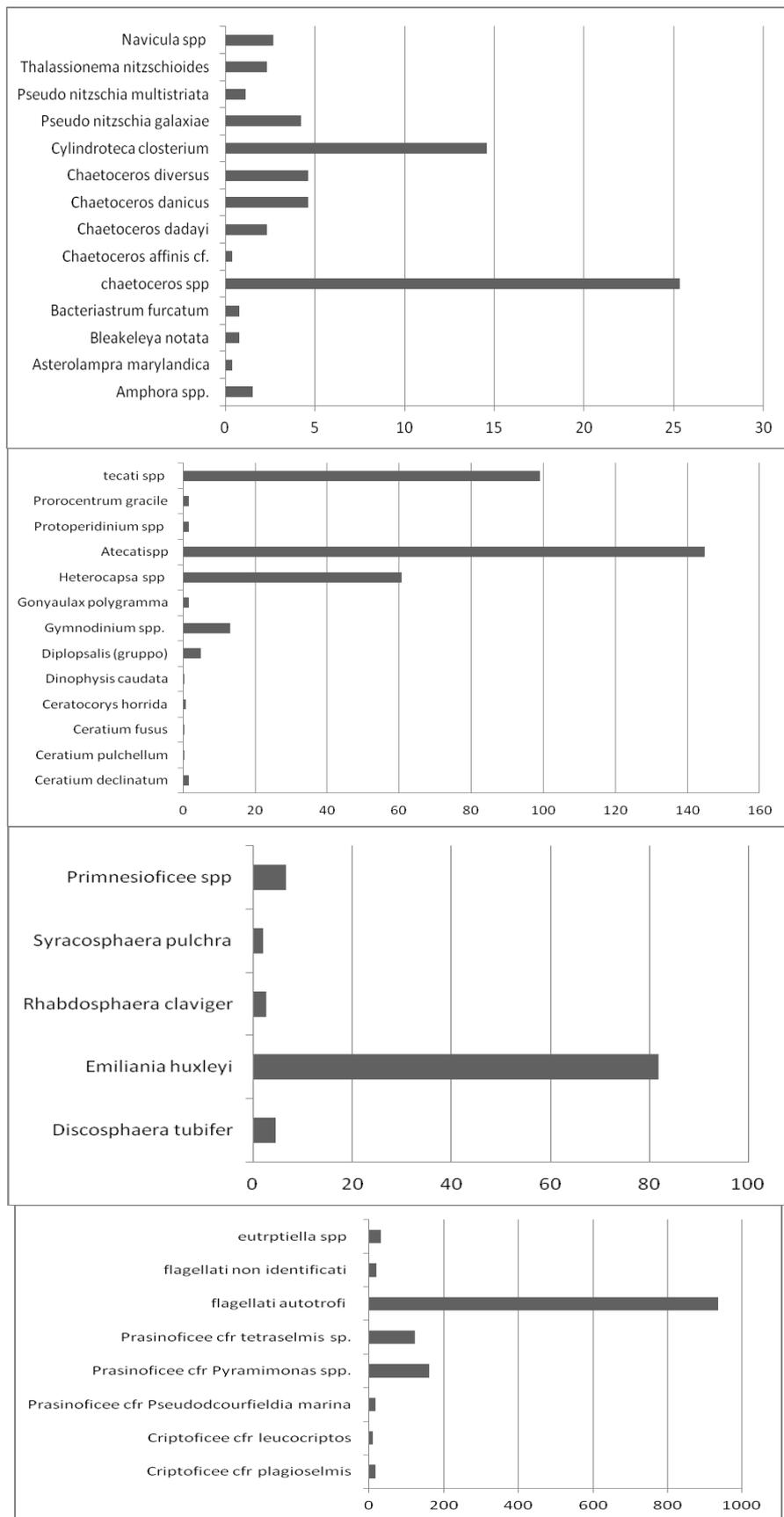
In questa campagna sono stati identificati in totale 38 specie. Di queste 14 (35 %) sono Diatomee, 13 (33%) sono Dinoficee, 7(16%) sono i Coccolitoforie e 7 (16%) sono indicati come Altri flagellati.

Le Diatomee (graf. 21) sono caratterizzate da una prevalenza di specie appartenenti al genere *Chetoceros spp* (25 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ ), *Cylindroteca closterium* (14 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ ) e *Pseudo-nitzschia Galaxiae* 4 cells ( $10^3\Gamma^{-1}$ ), *Chetoceros diversus* (4 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ ) e *Chetoceros dadayi* (4 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ ).

Il Gruppo delle Dinoficee (grafico 21) risulta essere rappresentato in particolar modo dalle specie appartenenti gli Atecati (144 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ ), Tecati (99 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ ) ed Heterocapsa (60 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ ).

I Coccolitofori (graf. 21) presentano 5 specie in più rispetto al mese precedente, ma la specie predominante risulta essere *Emiliana huxleyi* (81 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ ).

Il gruppo degli Altri flagellati raggiunger il valore di 934 cells  $10^3\Gamma^{-1}$  ; mentre le specie appartenenti al genere *Pyramimonas spp* e *Tetraselmis sp.* sono dell'ordine di 162 cells  $10^3\Gamma^{-1}$  e 123 cells  $10^3\Gamma^{-1}$ , rispettivamente.



**Grafico 21** - Comunità fitoplanctoniche in cells  $10^3 l^{-1}$  Giugno 2011

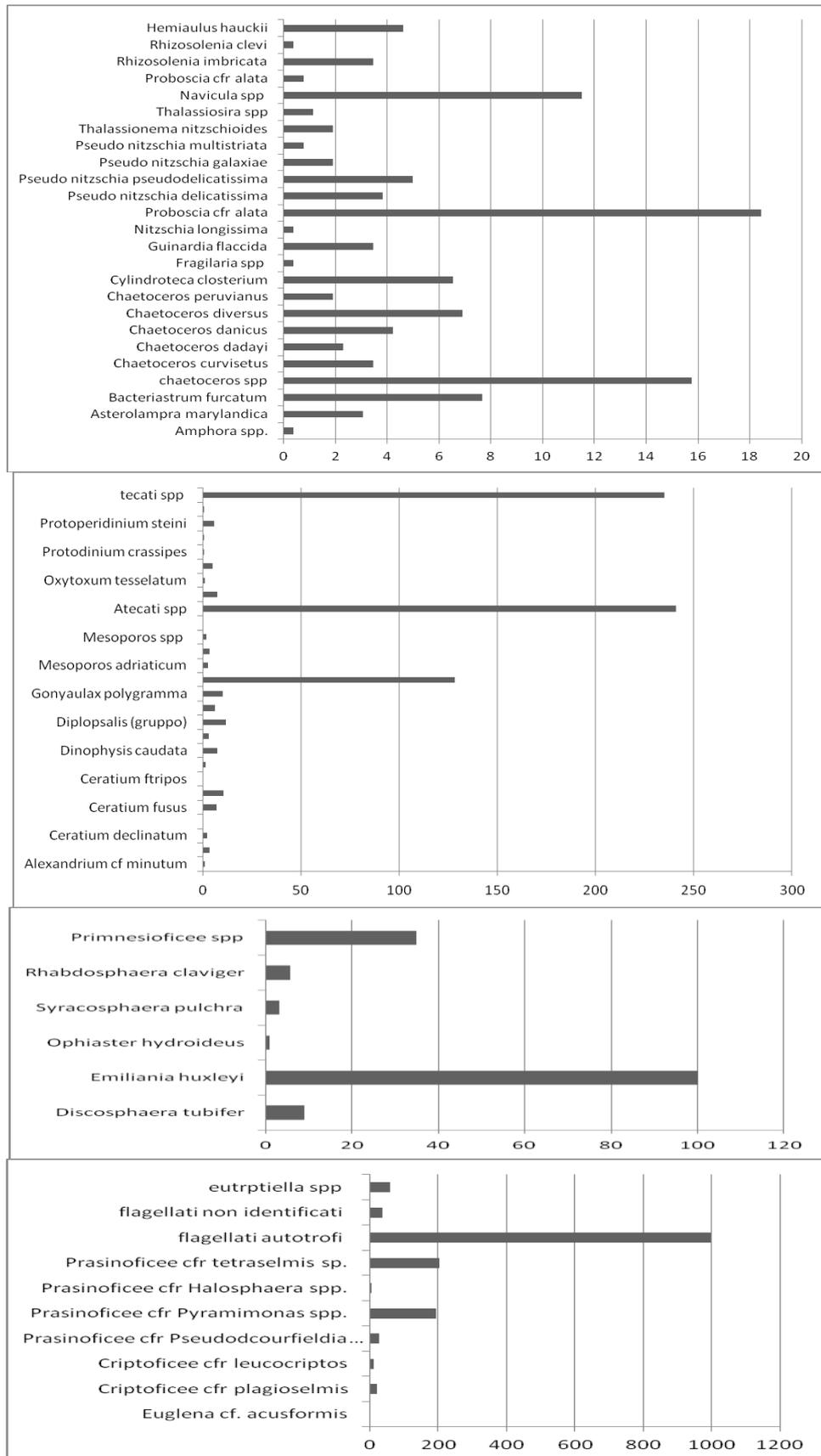
## Luglio 2010

In questa campagna sono stati identificati in totale 68 specie. Di queste 25 specie (37 %) sono Diatomee, 27 specie (40 %) sono Dinoficee, 6 specie (9 %) sono i Coccolitofori e 10 specie (14%) gli Altri flagellati. Le Diatomee (graf. 22) sono caratterizzate da una prevalenza di specie appartenenti al genere *Navicula spp.*, *Chetoceros spp.*, *Chaetoceros diversus*, *Bacteriastrum furcatum*, *Cylindroseteca closterium*, *Pseudo nitzschia pseudodelicatissima* (graf.22).

Il Gruppo delle Dinoficee risulta essere rappresentato dalle specie appartenenti agli Atecati (241 cells  $10^3 l^{-1}$ ), Tecati (234 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Heterocapsa spp* (128 cells  $10^3 l^{-1}$ ).

I Coccolitofori presentano come specie predominante *Emiliana huxleyi* con 100 cells  $10^3 l^{-1}$ , e *Primsioficee spp* (34 cells  $10^3 l^{-1}$ ).

Anche in questo mese il gruppo degli Altri flagellati è dominante con 995 cells  $10^3 l^{-1}$ , mentre le specie appartenenti al genere *Pyramimonas spp.* e *Tetraselmis sp* presentano valori di 193 cells  $10^3 l^{-1}$  e 204 cells  $10^3 l^{-1}$ , rispettivamente (graf.22).



**Grafico 22 - Comunità fitoplanctoniche in cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup> Luglio 2010**

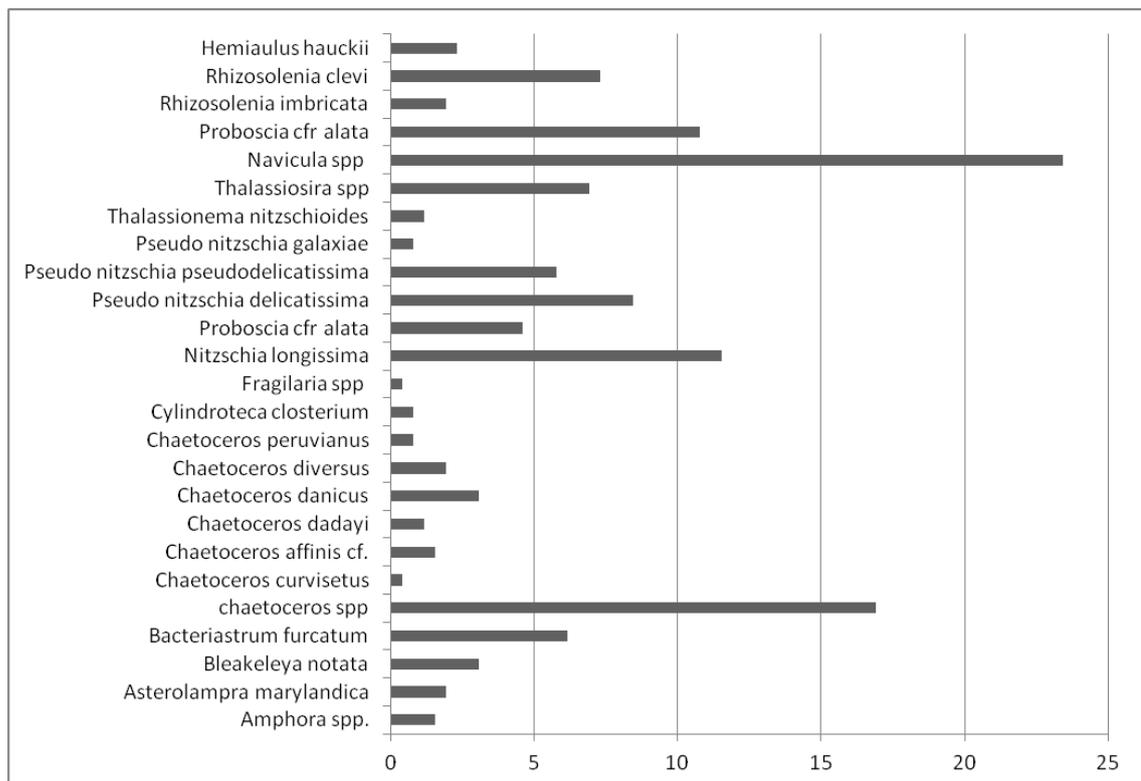
### Agosto 2010

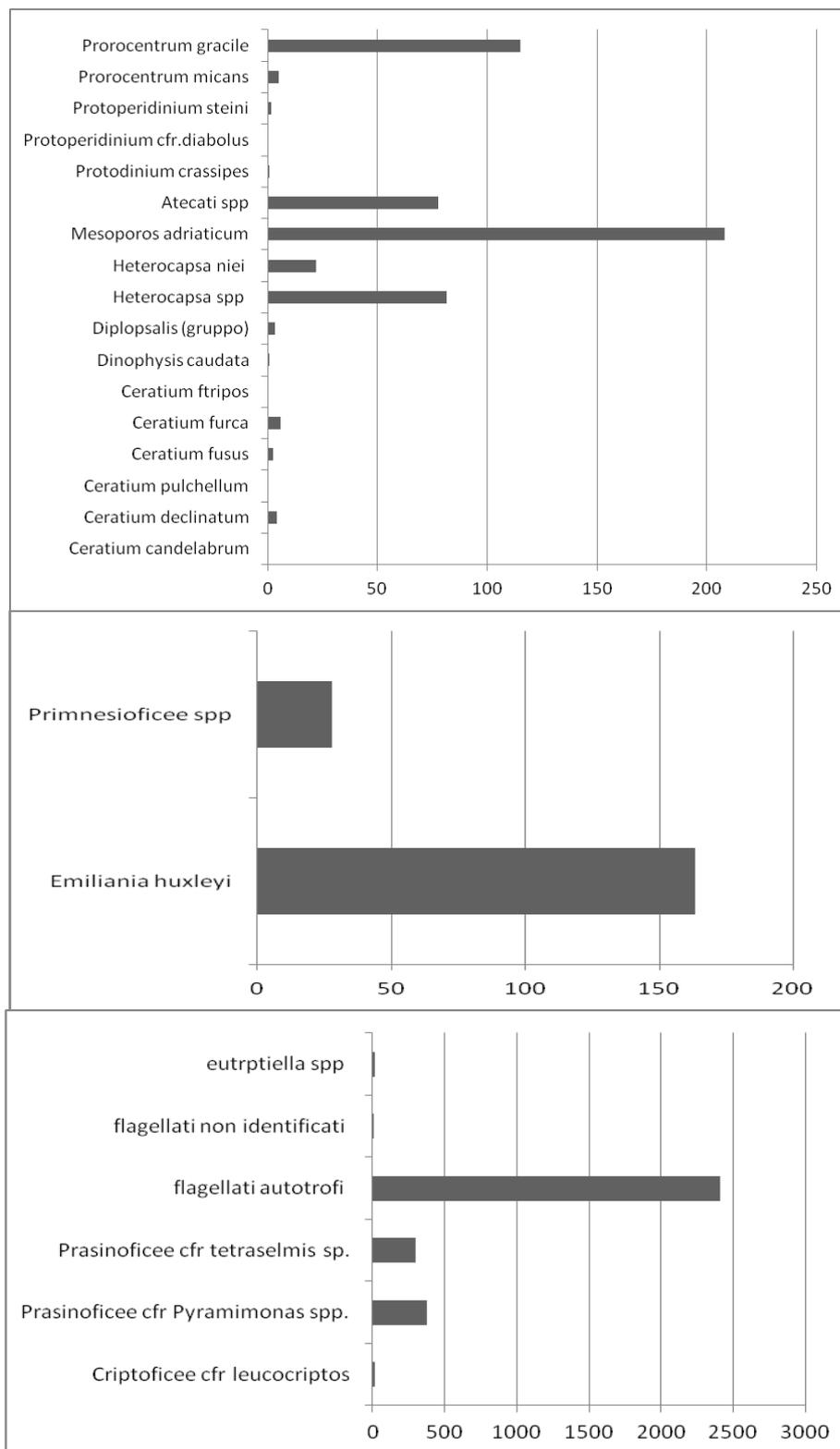
In questa campagna sono stati identificati in totale 50 specie. Di queste 25 sono Diatomee (50%), 17 sono Dinoficee (34%), 2 sono i Coccolitofori (4 %), 6 sono le specie di Altri flagellati (12 %).

Le Diatomee sono caratterizzate da una prevalenza di specie appartenenti al genere *Navicula spp.* (23 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Chaetoceros spp* (16 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Nitzschia longissima* (11 cells  $10^3 l^{-1}$ ) (graf 23).

Il Gruppo delle Dinoficee è rappresentato dalle specie appartenenti agli Atecati (77 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Mesoporos adriaticum* (208 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Heterocapsa* (81  $10^3 l^{-1}$ ), *Prorocentrum gracile* (115  $10^3 l^{-1}$ ).

I Coccolitofori presentano come specie dominante *Emiliana huxleyi* con 163 cells  $10^3 l^{-1}$  e le specie appartenenti al gruppo delle Primnsioficee con 28 cells  $10^3 l^{-1}$ ; il gruppo degli Altri flagellati con 2409 cells  $10^3 l^{-1}$  e specie quali *Pyramimonas spp.* con 373 cells  $10^3 l^{-1}$  e *Tetraselmis sp.* con 296 cells  $10^3 l^{-1}$ .





**Grafico 23 - Comunità fitoplanctoniche in cells  $10^3 l^{-1}$  Agosto 2010**

### Settembre 2010

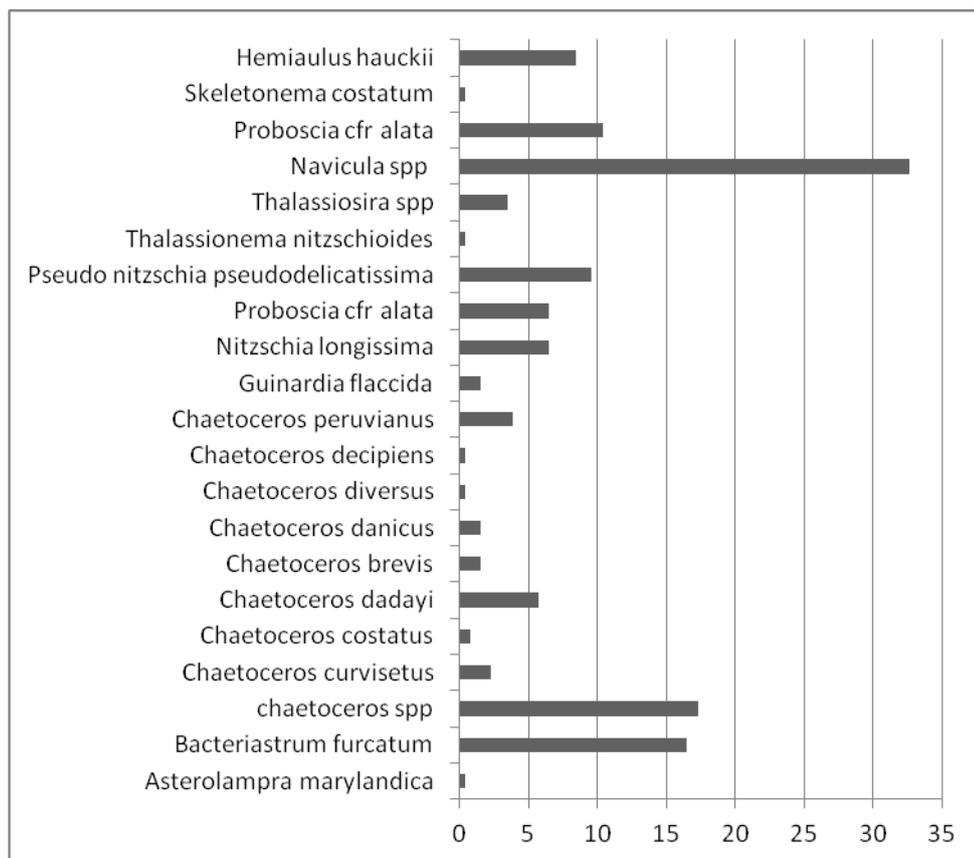
In questa campagna sono stati identificati in totale 55 specie. Di queste 21 ( 38 %) sono Diatomee, 23 (41 %) sono Dinoficee, 3 ( 5%) sono i Coccolitofori e 8 (14%) gli Altri flagellati.

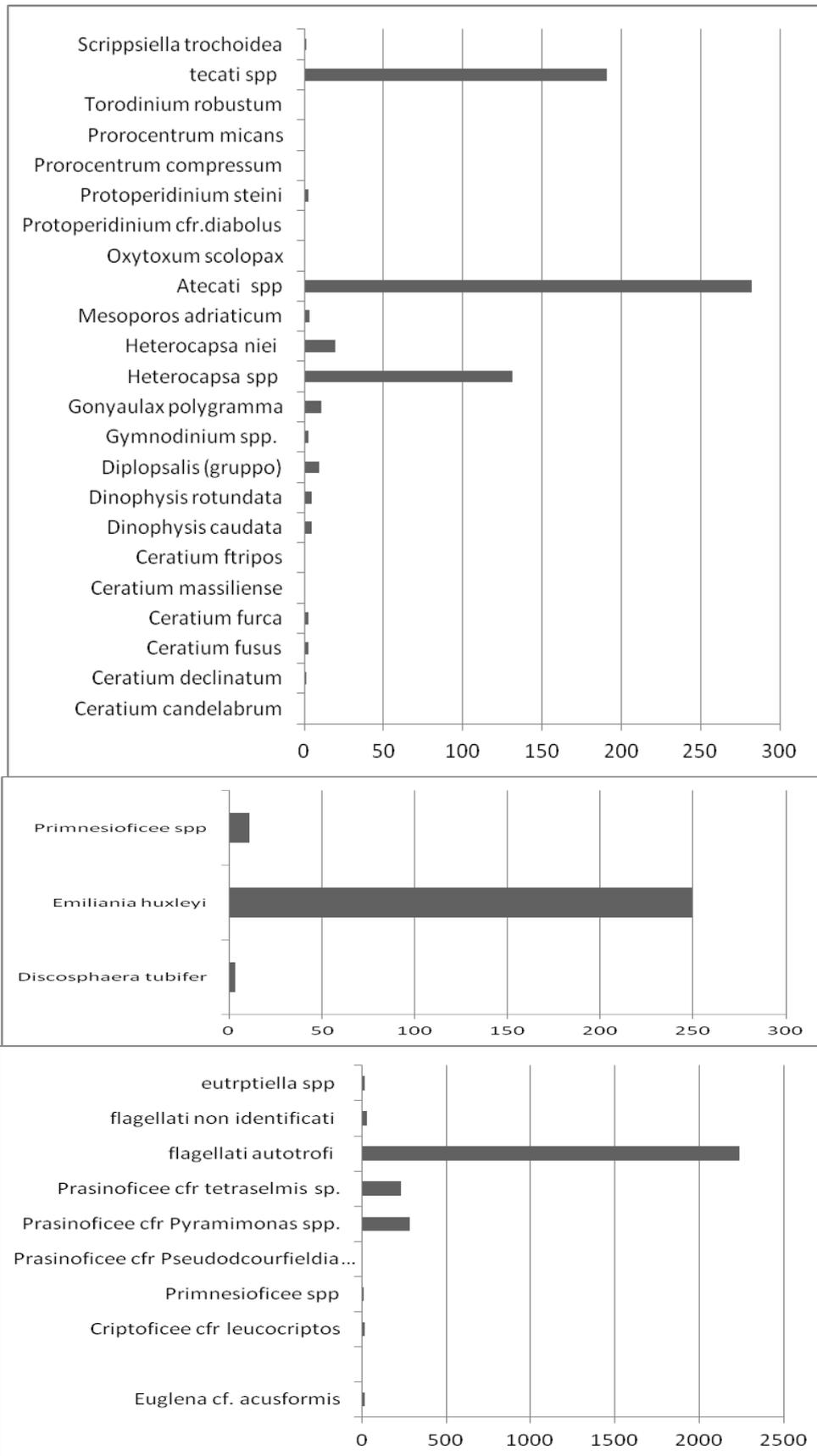
Le Diatomee sono caratterizzate da specie appartenenti al genere *Navicula spp.* (32 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Chaetoceros spp* (17 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Proboscia alata* (10 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* (9 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Hemiaulus hauckii* (8 cells  $10^3 l^{-1}$ ) (graf.24).

Il Gruppo delle Dinoficee (graf.24) è rappresentato dalle specie appartenenti agli Atecati (282 cells  $10^3 l^{-1}$ ), Tecati (191 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Heterocapsa* (131  $10^3 l^{-1}$ ).

I Coccolitofori presentano come specie predominante *Emiliana huxleyi* (249 cells  $10^3 l^{-1}$ ) e specie appartenenti al gruppo delle Primnsioficee (10 cells  $10^3 l^{-1}$ ), e *Discosphaera tubifer* (3 cells  $10^3 l^{-1}$ ) (graf.24).

Il gruppo degli Altri flagellati raggiunge 2237 cells  $10^3 l^{-1}$ , *Pyramimonas spp.*, 282 cells  $10^3 l^{-1}$ , *Tetraselmis sp.* (229 cells  $10^3 l^{-1}$ ).





**Grafico 24 -** Comunità fitoplanctoniche in cells  $10^3 l^{-1}$  Settembre 2010

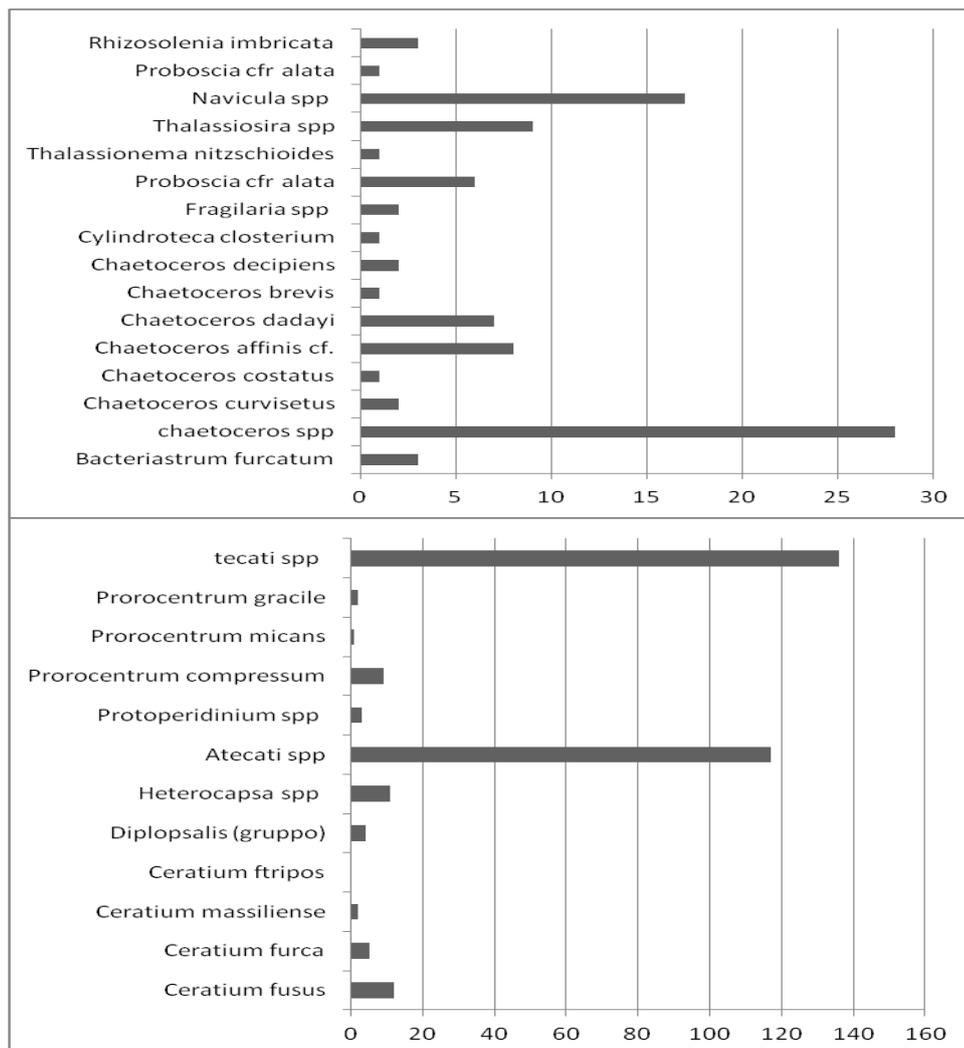
## Dicembre 2010

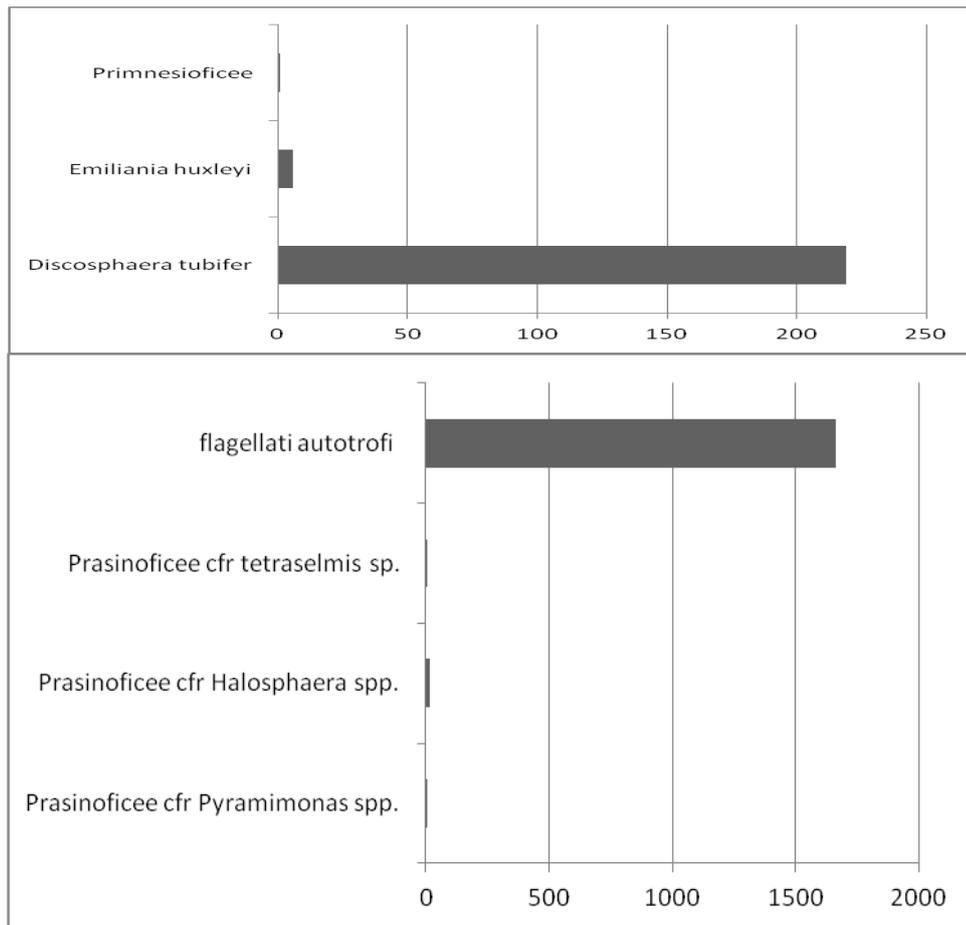
In questa campagna sono stati identificati in totale 37 specie, di cui 18 (49%) sono Diatomee, 12 (33%) sono Dinoficee, 3 (8%) sono i Coccolitofori e 4 (10%) gli Altri flagellati.

Le Diatomee sono caratterizzate da specie del genere *Chaetoceros spp* (10 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Navicula spp.* (3,45 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Chaetoceros brevis* (2,68 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Chaetoceros dadayi* (3 cells  $10^3 l^{-1}$ ), *Bacteristrum furcatum* (1 cells  $10^3 l^{-1}$ ) (graf. 25).

Il Gruppo delle Dinoficee (graf. 25) risulta essere rappresentato da specie appartenenti agli Atecati (44 cells  $10^3 l^{-1}$ ) e Tecati (52 cells  $10^3 l^{-1}$ ).

I Coccolitofori (graf. 24) presentano l'unica specie *Emiliana huxleyi* (84 cells  $10^3 l^{-1}$ ); il gruppo degli Altri flagellati con 693 cells  $10^3 l^{-1}$  e le specie appartenenti al genere e *Tetraselmis sp.* con 3,70 cells  $10^3 l^{-1}$ .





**Grafico 25** - Comunità fitoplanctoniche in cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup> Dicembre 2010

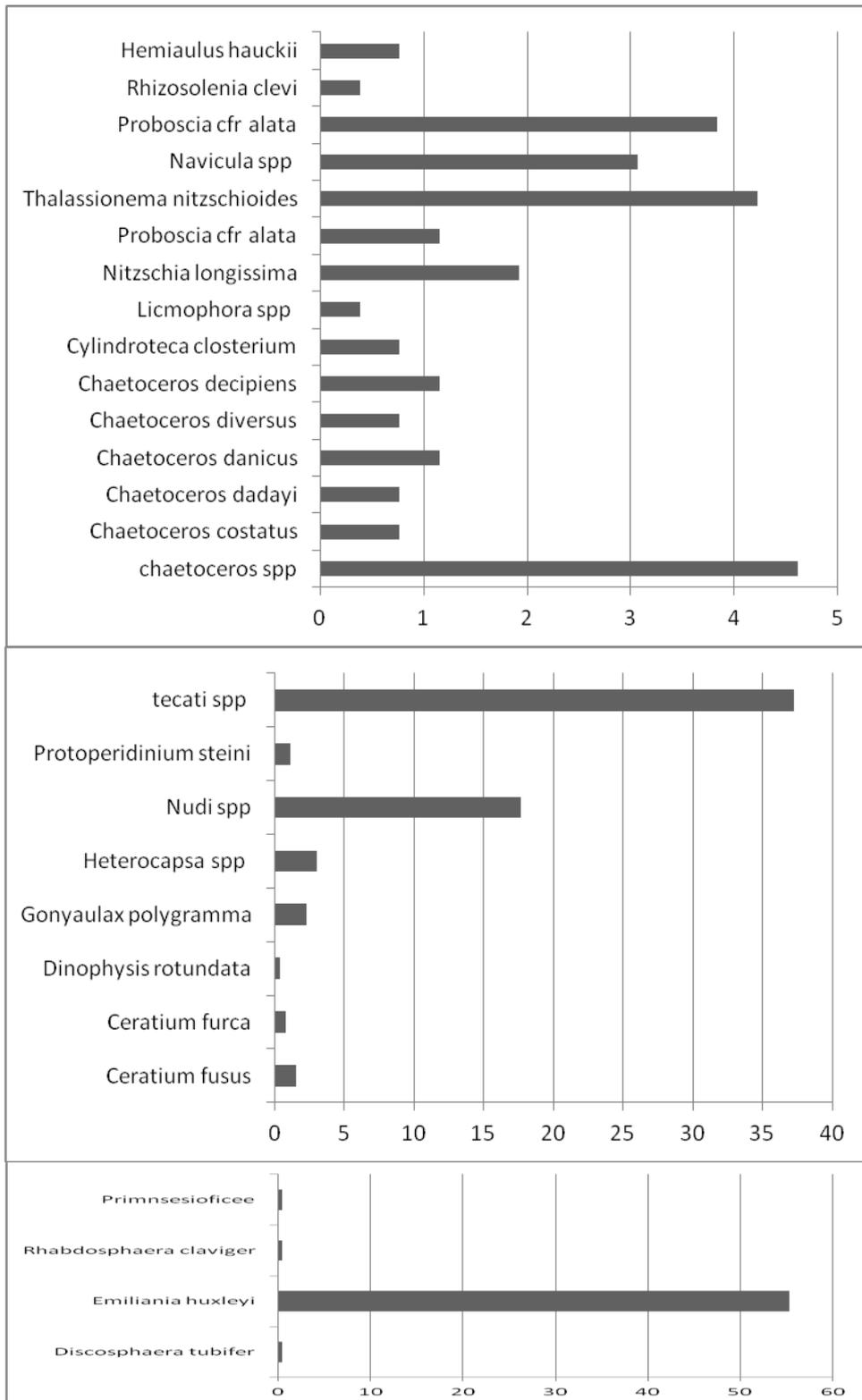
### **Gennaio 2011**

In questa campagna sono stati identificati in totale 29 specie. Di queste 15 ( 51%) sono Diatomee, 8 (27 %) sono Dinoficee, 4 (15 %) sono i Coccolitofori e 2 (7%) Altri flagellati.

Le Diatomee sono caratterizzate da una prevalenza di specie appartenenti al *Chetoceros spp* (4 cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup>), *Chetoceros danicus* (1 cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup>) e *Chetoceros decipiens* (1 cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup>) (graf.26).

Il Gruppo delle Dinoficee risulta essere rappresentato dalle specie appartenenti agli Atecati (17 cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup>) e ai Tecati (37 cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup>). I Coccolitofori presentano sempre la specie dominante *Emiliana huxleyi* (55 cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup>) (graf.26).

Il gruppo degli Altri flagellati sono dominati da flagellati indeterminati con dimensioni < 10 µm con 798 cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup>.



**Grafico 26** - Comunità fitoplanctoniche in cells  $10^3 l^{-1}$  Gennaio 2011

### Marzo 2011

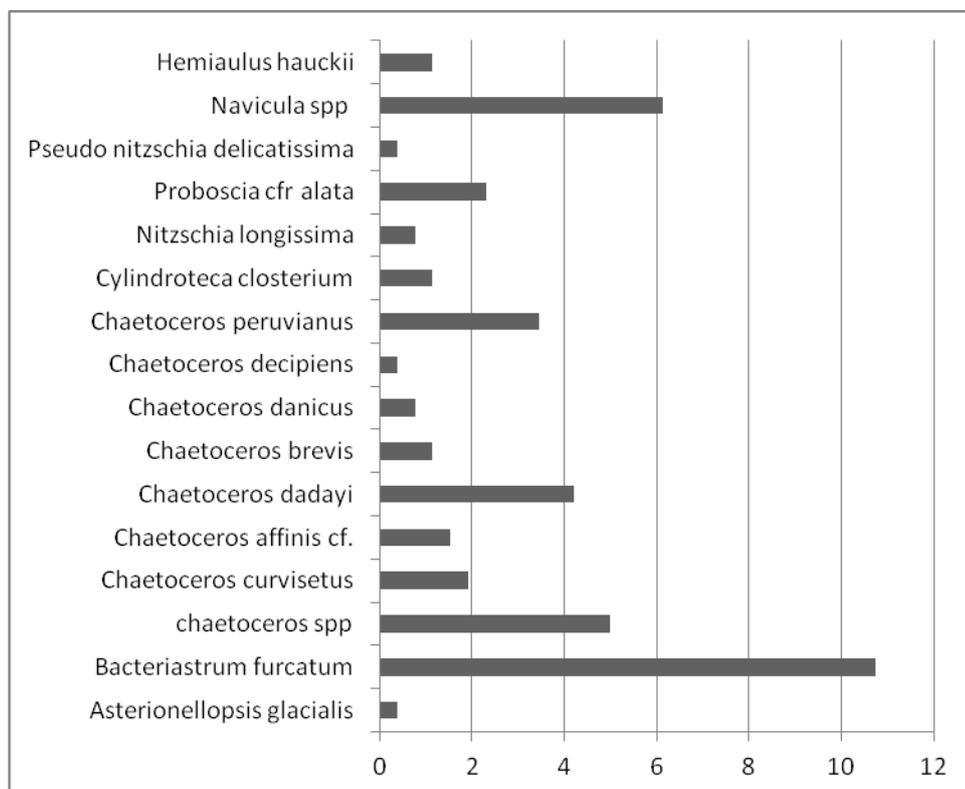
In questa campagna sono stati identificati in totale 31 specie. Di queste 16 (51 %) sono Diatomee, 9 ( 26 %) sono Dinoficee, 3 ( 10 %) sono i Coccolitofori e 3 (10%) Altri flagellati.

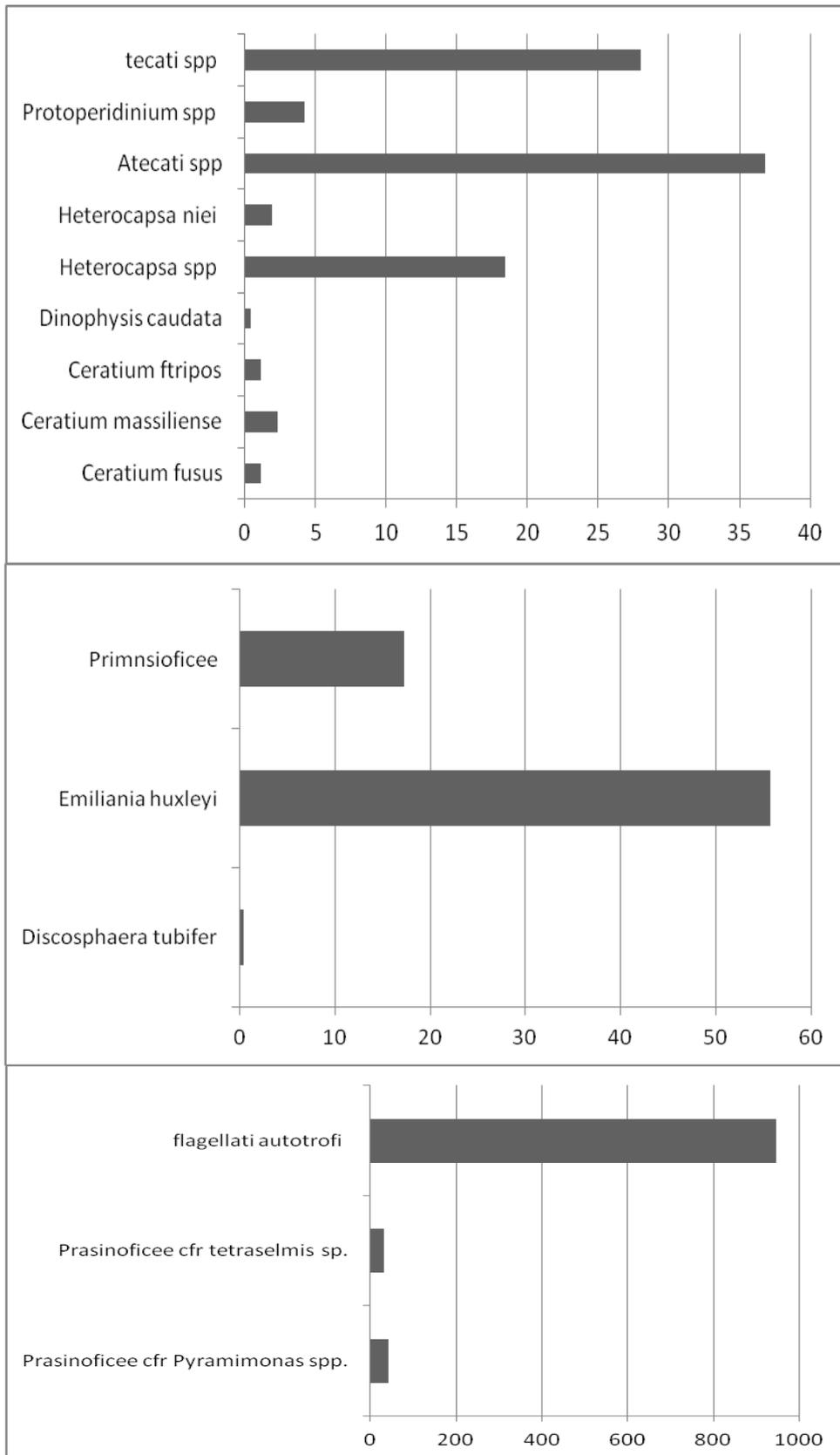
Le Diatomee sono caratterizzate da una prevalenza di specie appartenenti a *Bacteristrum furcatum* con 10 cells  $10^3 l^{-1}$ , *Chaetoceros spp* con 5 cells  $10^3 l^{-1}$ , *Chaetoceros dadayi* con 4  $10^3 l^{-1}$  e *Chaetoceros peruvianus* con 3  $10^3 l^{-1}$ , *Navicula spp* con 4 cells  $10^3 l^{-1}$  (graf.27)

Il Gruppo delle Dinoficee risulta essere rappresentato in particolar modo dalle specie appartenenti gli Atecati con 36 cells  $10^3 l^{-1}$ , Tecati con 28 cells  $10^3 l^{-1}$ , Heterocapsa con 18 cells  $10^3 l^{-1}$ (graf.27).

I Coccolitofori presentano come specie predominante *Emiliana huxleyi* con 55 cells  $10^3 l^{-1}$  e le Primnsioficee con 17 cells  $10^3 l^{-1}$ .

Il gruppo degli Altri flagellati risultano essere dominati da flagellati indeterminati con dimensioni  $< 10 \mu m$  , con densità pari a 798 cells  $10^3 l^{-1}$ .





**Grafico 27** - Comunità fitoplanctoniche in cells  $10^3 l^{-1}$  Marzo 2011

## **Maggio 2011**

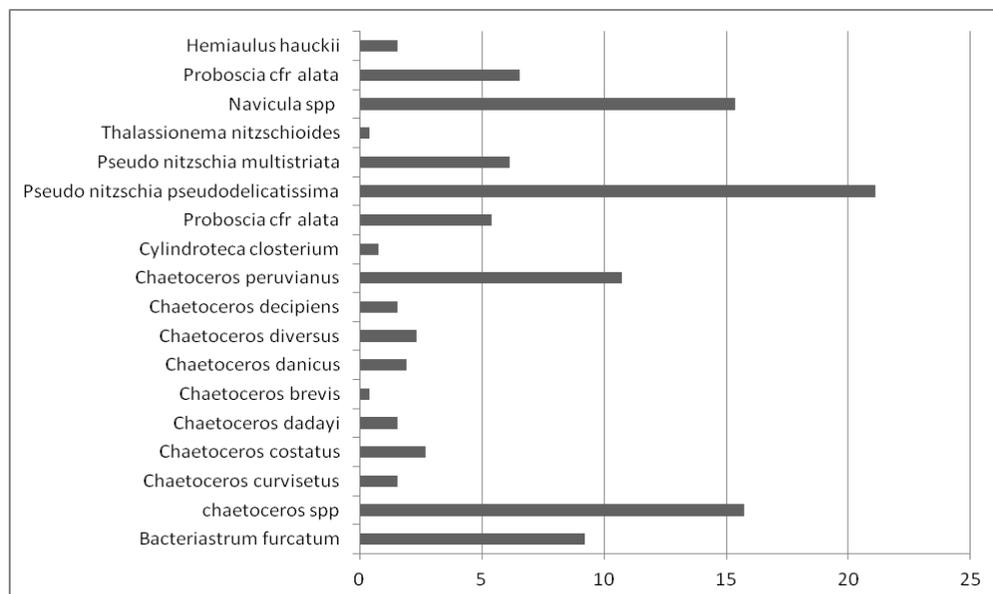
In questa campagna sono stati identificati in totale 47 specie. Di queste 18 (38 %) sono Diatomee, 18 (38%) sono Dinoficee, 4(9%) sono i Coccolitofori e 7 (15%) sono Altri flagellati.

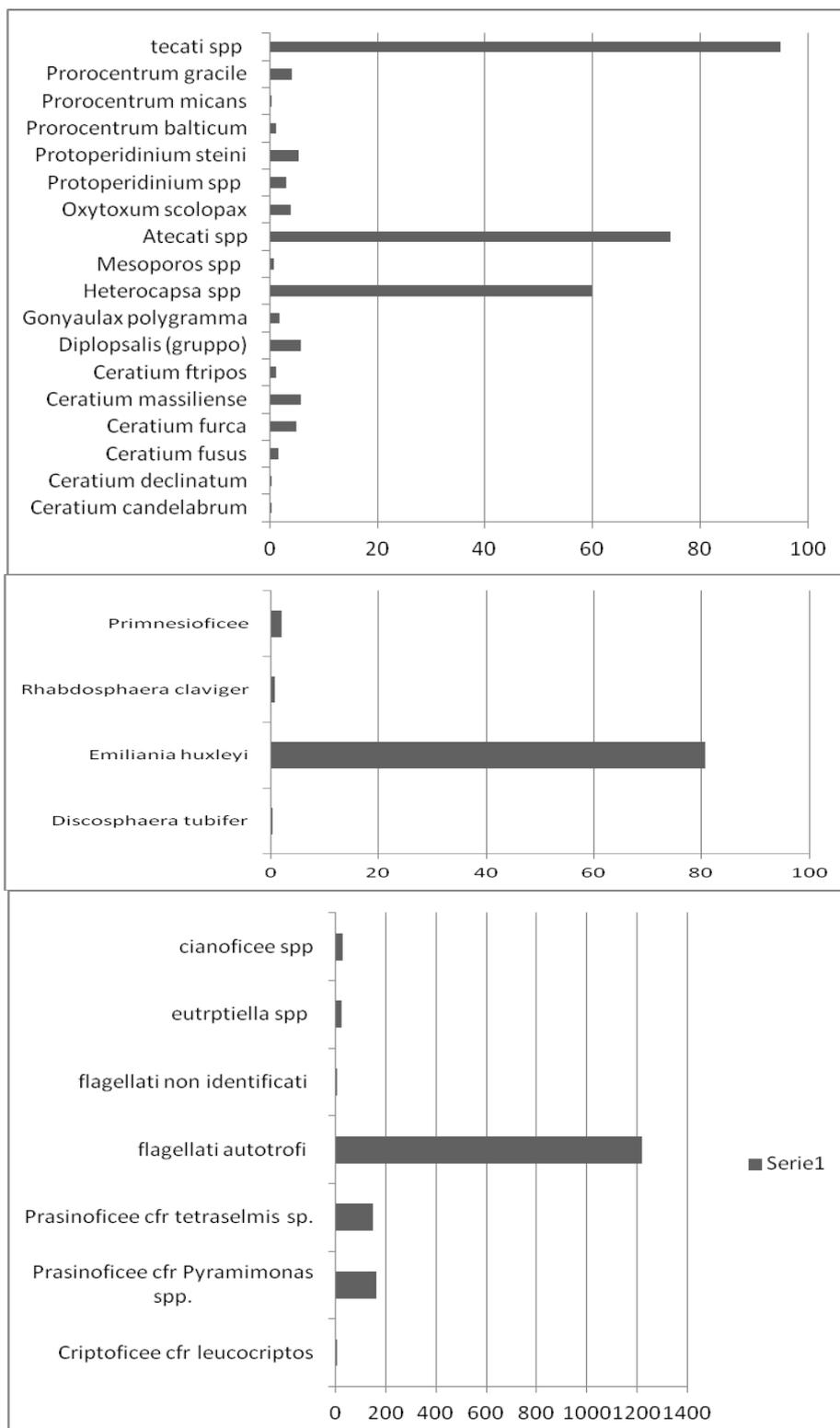
Le Diatomee sono caratterizzate da una prevalenza di specie appartenenti al genere *Chaetoceros spp* con 51 cells  $10^3l^{-1}$  e *Pseudo-nitzschia multistriata* con 21 cells  $10^3l^{-1}$ ; molto ridotta invece risulta la presenza delle specie appartenenti a *Navicula spp* con 1 cells  $10^3l^{-1}$  e *Cylindroteca closterium* con 1 cells  $10^3l^{-1}$  (graf.28).

Il Gruppo delle Dinoficee risulta essere rappresentato dalle specie appartenenti gli Atecati con 97 cells  $10^3l^{-1}$ , Tecati con 85 cells  $10^3l^{-1}$  ed Heterocapsa con 47 cells  $10^3l^{-1}$  (graf.28)

I Coccolitofori presentano solo due specie: *Emiliana huxleyi* con 59 cells  $10^3l^{-1}$  e *Radbosphaera claviger* con 1 cells  $10^3l^{-1}$ .

Infine il gruppo degli Altri flagellati risulta è dominato dai flagellati autotrofi indeterminati (< 10  $\mu m$  ,785 cells  $10^3l^{-1}$ ) e da specie appartenenti al genere *Pyramimonas spp.* con 137 cells  $10^3l^{-1}$  e *Tetraselmis sp.* con 162 cells  $10^3l^{-1}$ .





**Grafico 28** - Comunità fitoplanctoniche in cells  $10^3 l^{-1}$  Maggio 2011

## Giugno 2011

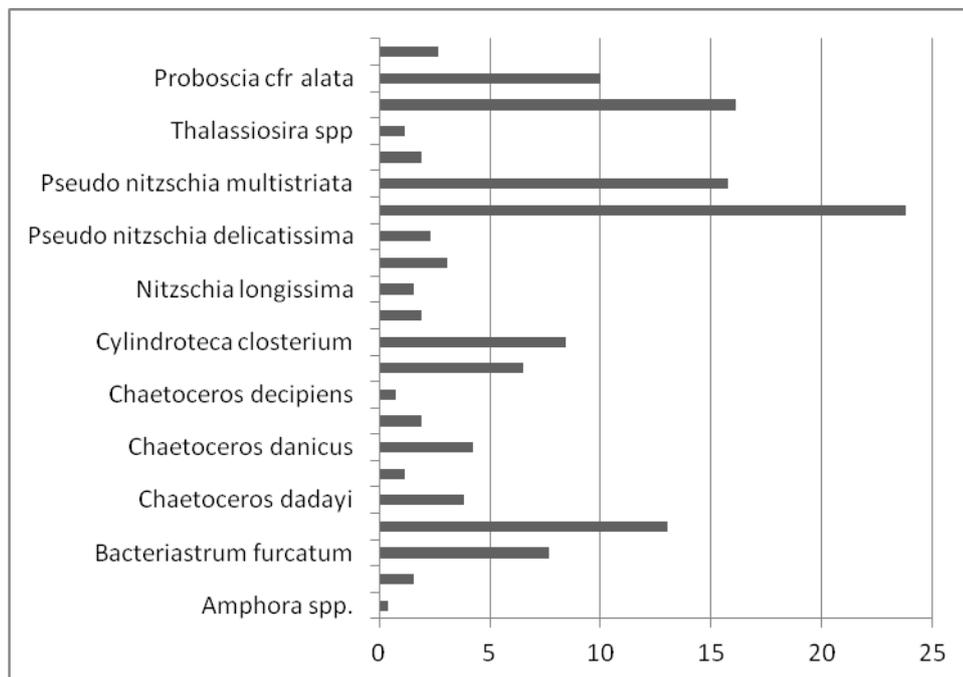
In questa campagna sono stati identificati in totale 58 specie. Di queste 22 ( 38%) sono Diatomee, 23 (39%) sono Dinoficee, 4 ( 8%) sono i Coccolitofori e 9 (15%) sono Altri flagellati.

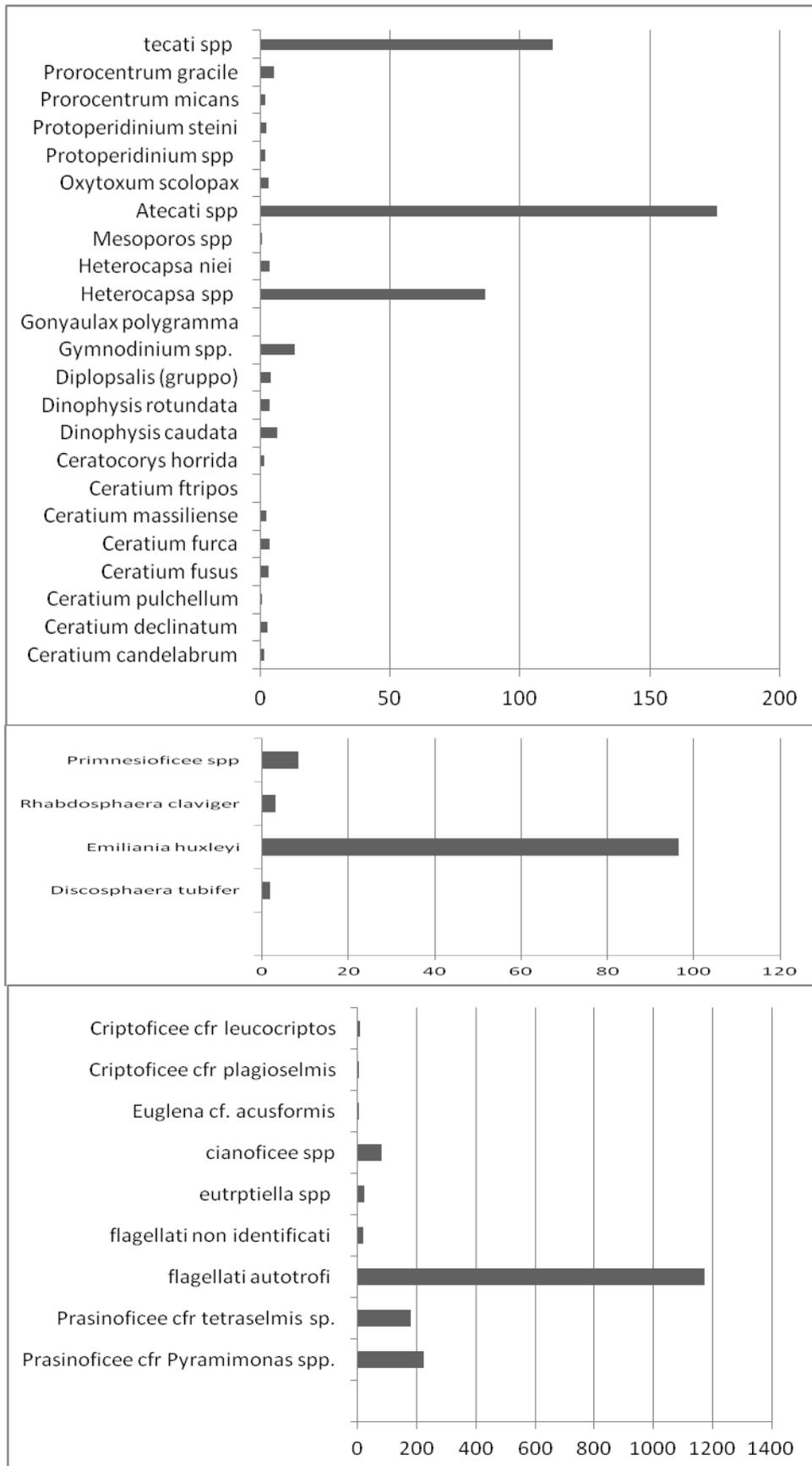
Le Diatomee sono caratterizzate da una prevalenza di specie appartenenti al genere *Navicula spp* con 16 cells  $10^3l^{-1}$ , *Pseudo-nitzschia multistriata* con 15 cells  $10^3l^{-1}$ , *Chaetoceros spp* con 13 cells  $10^3l^{-1}$ , *Proboscia cfr alata* con 10 cells  $10^3l^{-1}$ , *Cylindroteca closterium* con 8 cells  $10^3l^{-1}$ , *Bacteriastrum furcatum* con 8 cells  $10^3l^{-1}$ (graf.29).

Il gruppo delle Dinoficee risulta essere rappresentato dalle specie appartenenti agli Atecati con 175 cells  $10^3l^{-1}$ , Tecati con 112 cells  $10^3l^{-1}$  ed Heterocapsa con 86 cells  $10^3l^{-1}$ (graf.29).

I Coccolitofori sono rappresentati da *Emiliana huxleyi* con 96 cells  $10^3l^{-1}$  e Coccolitofori *spp* con 8 cells  $10^3l^{-1}$ .

Infine il gruppo degli Altri flagellati sono dominati da flagellati indeterminati (< 10  $\mu m$ , 1173 cells  $10^3l^{-1}$ ) e da specie appartenenti al genere *Pyramimonas spp.* con 222 cells  $10^3l^{-1}$  e *Tetraselmis sp.* con 178 cells  $10^3l^{-1}$ .





**Grafico 29** - Comunità fitoplanctoniche in cells  $10^3 l^{-1}$  Giugno 2011

## Indice di diversità Biologica

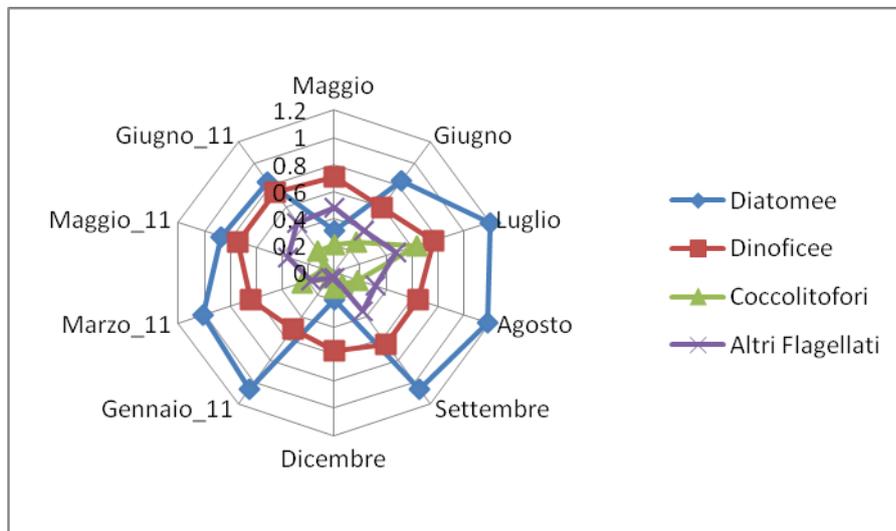
L'analisi della diversità biologica dei nostri campioni è stata studiata applicando l'indice di Shannon-Wiener  $H'$ :

$$H' = - \sum_{j=1}^s p_j \log p_j$$

I valori di tale indice possono variare tra 0 e  $\infty$  a causa della presenza del logaritmo, dando così più peso alle specie rare. L'applicazione di tale indice mostra come le Diatomee, pur rappresentando la porzione meno corposa del popolamento fitoplanctonico in termini di abbondanza numerica, risultano essere il gruppo con la maggiore diversità in specie, in quasi tutti i mesi indagati, presentando una maggiore varietà nei mesi prettamente estivi (Luglio e Agosto 2010) e una bassa diversità nel periodo invernale (Dicembre 2010) (tab.5 graf.30). Inoltre, sempre per le Diatomee, nel periodo di campionamento 2011 si nota come i mesi di Maggio e Giugno presentino una minore varietà di specie, rispetto a quelli del precedente anno, che rimane comunque sempre superiore a quella degli altri gruppi esaminati. Il gruppo delle Dinoficee risulta essere il secondo gruppo con maggiore diversità di specie; al contrario delle Diatomee, tale gruppo presenta un  $H'$  pressochè costante con una lieve flessione nel periodo invernale (Dicembre 2010 e Gennaio 2011) (tab.5 graf.30); anche il gruppo degli Altri flagellati mantiene una variabilità pressoché costante durante il ciclo stagionale registrando una flessione in termini di varietà di specie nel periodo invernale (Dicembre 2010 e Gennaio 2011). I Coccolitofori presentano la minore varietà di specie con un massimo nel mese di Luglio 2010 (tab.5 graf.30).

Mesi	Diatomee	Dinoficee	Coccolitofori	Altri Flagellati
Maggio	0.31	0.71	0.21	0.48
Giugno	0.84	0.6	0.28	0.38
Luglio	1.2	0.77	0.64	0.48
Agosto	1.18	0.65	0.18	0.32
Settembre	1.06	0.65	0.1	0.35
Dicembre	0.2	0.58	0.11	0.04
Gennaio_11	1.06	0.51	0.05	0.05
Marzo_11	1.01	0.64	0.25	0.18
Maggio_11	0.87	0.74	0.08	0.36
Giugno_11	0.83	0.74	0.2	0.46

**Tabella 5** - Valori dell' indice di diversità H' di Shannon



**Grafico 30** - Andamento dell'indice di diversità H' di Shannon

## **Analisi statistica sulla distribuzione spaziale e temporale dei raggruppamenti fitoplanctonici**

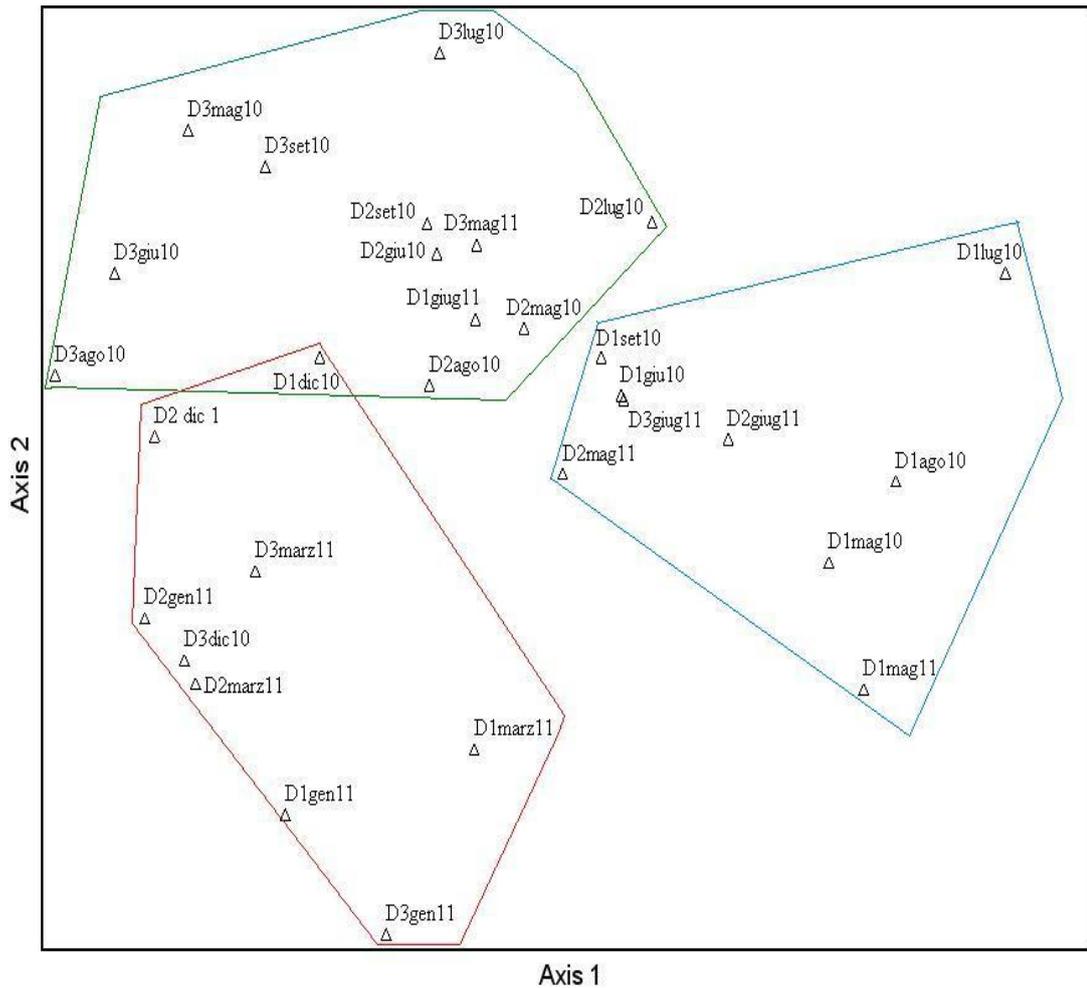
I dati relativi alla distribuzione spaziale e temporale dei principali gruppi fitoplanctonici, sono stati analizzati attraverso la DCA (*Detrended Correspondance Analysis*) al fine di rilevare eventuali gradienti di distribuzione in relazione alle variabili ambientali (graf.30). Il risultato di tale analisi, mette in evidenza tre raggruppamenti:

- il primo, a destra, evidenziato in celeste, raggruppa prevalentemente i campionamenti del periodo primaverile-estivo delle stazioni poste lungo l'isobata costiera (10 metri);
- il secondo raggruppamento, posto nella parte superiore del diagramma, evidenziato in verde, comprende prevalentemente campionamenti relativi sempre al periodo primaverile-estivo, relativo alle altre due isobate medio-distali (50 m e 100 m);
- il terzo raggruppamento, posto nella parte inferiore del diagramma, evidenziato in rosso, comprende i campionamenti invernali di tutte le fasce batimetriche (costiera, intermedia e distale).

Il diagramma mette in evidenza quindi due gradienti: sul primo asse, lo spazio cioè la distanza dalla costa, mentre sul secondo asse, il periodo di campionamento. Rispetto allo spazio nel diagramma, avviene una segregazione dei campioni costieri vs campioni intermedi-distali, nel periodo primaverile-estivo; il campionamento invernale si separa dagli altri dati collocandosi nella parte basale del diagramma e non si evidenziano differenze rispetto alle isobate (graf.31). Il dato ottenuto dalla DCA evidenzia come  $r^2$  (che è il quadrato del coefficiente di correlazione, che dice quale è la percentuale di variazione tra la variabile dipendente rispetto la variabile indipendente), rispetto al 1° asse, spiega il 50 % della variazione; il secondo asse spiega il 30% della variazione: sembrerebbe, quindi, che il gradiente influenzante è dato dal fattore spazio.

Agli stessi dati è stata applicata un'analisi della varianza mediante MRPP (*multi response permutation procedure*) (tab 6-7). Il risultato della MRPP sia rispetto allo spazio che rispetto al tempo evidenziano una  $r$ , che rispetto allo spazio

restituisce un delta  $p = 0.054$  (dove delta  $p$  è il valore medio tra la distanza delle varie misurazioni che sono raggruppate dal fattore distanza: quanto più il delta è piccolo tanto più i raggruppamenti sono omogenei ed il dato è significativo); rispetto al fattore tempo, il delta  $p = 0.00$ , quindi altamente significativo (tab.6-7). Pertanto tale analisi ci dice che i dati sono statisticamente significativi per quanto riguarda la variabile temporale e di poco significativi per quanto riguarda la variabile spaziale.



**Grafico 31** - Analisi DCA( *Detrended Correspondance Analysis*)

<i>Test statistic spatial : T =</i>	1.7689711
<i>Observed delta =0.76164928E</i>	01
<i>Expected delta =0.83859973E</i>	01
<i>Variance of delta =0.18922602E</i>	04
<i>Skewness of delta =</i>	0.71727984
<i>Probability of a smaller or equal delta p =</i>	0.05408533

**Tabella 6** - Analisi MRPP sulla variabile Spaziale

<i>Test statistic: T =</i>	-11.156537
<i>Observed delta =</i>	0.92762857E-01
<i>Expected delta =</i>	0.27020087
<i>Variance of delta =</i>	0.25294991E-03
<i>Skewness of delta =</i>	-0.56323713
<i>Probability of a smaller or equal delta, p =</i>	0.00000000

**Tabella 7** - Analisi MRPP sulla variabile Spaziale

## Analisi di correlazione non parametrica R per ranghi di Spearman

Al fine di comprendere meglio se esistono correlazioni tra alcuni parametri chimico-fisici rilevati durante il periodo di campionamento e i principali gruppi fitoplanctonici la popolazione fitoplanctonica, è stata effettuata un'analisi di correlazione non parametrica per ranghi, di Spearman (Tab.8).

In tale analisi, la variabile principale è data dai quattro gruppi fitoplanctonici (Diatomee, Dinoficee, Coccolitofori e Altri flagellati) ed è messa in funzione di alcuni parametri chimico-fisici (temperatura, pH, salinità, ossigeno disciolto, conducibilità, clorofilla).

Da tale correlazione emerge che:

- il gruppo delle Diatomee risulta statisticamente correlato ( $p < 0.05$ ) con i parametri di temperatura (P-value = 0,041) e Conducibilità (P-value = 0,050) (tab.9);
- il Gruppo delle Dinoficee si correla statisticamente con temperatura (P-value = 0,024), Conducibilità (P-value = 0,019), pH (P-value = 0,000), Clorofilla *a* (P-value = 0,001), salinità (P-value = 0,002), Ossigeno Disciolto (P-value = 0,000);
- il Gruppo dei Coccolitofori non si correla statisticamente con nessun parametro chimico-fisico; (tab.10);
- il gruppo degli Altri flagellati presenta significatività statistiche con il pH (P-value = 0,006), salinità (P-value = 0,009), ossigeno disciolto (P-value = 0,000). (tab.12);

	°C	p H	O2 mg/l	Conducibilità	Clorofilla a	Salinità
Diatomee	< 0.05	n.s.	n.s.	< 0.05	n.s.	n.s.
Dinoficee	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Coccolitofori	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
Altri flagellati	n.s.	< 0.05	< 0.05	n.s.	n.s.	< 0.05

**Tabella 8** - Analisi di correlazione non parametrica R per ranghi di Spearman

<b>Correlations: Diatom cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup>;</b>
<b>Temperatura</b>
Pearson correlation of Diatom and T rank = 0,342
P-Value = 0,041
<b>Conducibilità</b>
Pearson correlation of Diatom and C rank = 0,320
P-Value = 0,050
<b>pH</b>
Pearson correlation of Diatom cells 103l-1 and pH rank = -0,121
P-Value = 0,482
<b>Clorofilla a</b>
Pearson correlation of Diatom cells 103l-1 and C1rank = 0,312
P-Value = 0,064
<b>Salinità</b>
Pearson correlation of Diatom cells 103l-1rank and S trunk = -0,281
P-Value = 0,097
<b>Ossigeno disciolto</b>
Pearson correlation of Diatom cells 103l-1rank and O2 rank = -0,266
P-Value = 0,117

**Tabella 9** - Analisi di correlazione non parametrica R per ranghi di Spearman Diatomee

<b>Correlations: Dinoficee cells 10<sup>3</sup>l<sup>-1</sup></b>
<b>Temperatura</b>
Pearson correlation of Dinoficee cells 1031-1_rank and T rank = 0,376
P-Value = 0,024
<b>Conducibilità</b>
Pearson correlation of Dinoficee cells 1031-1_rank and C rank = 0,389
P-Value = 0,019
<b>pH</b>
Pearson correlation of Dinoficee cells 1031-1_rank and pH rank = -0,572
P-Value = 0,000
<b>Rx</b>
<b>Clorofilla</b>
Pearson correlation of Dinoficee cells 1031-1_rank and Cl rank = 0,534
P-Value = 0,001
<b>PAR</b>
<b>SALINITÀ</b>
Pearson correlation of Dinoficee cells 1031-1_rank and S rank = 0,509
P-Value = 0,002
<b>Ossigeno disciolto</b>
Pearson correlation of Dinoficee cells 1031-1_rank and O2 rank = -0,592
P-Value = 0,000

**Tabella 10** - Analisi di correlazione non parametrica R per ranghi di Spearman Dinoficee

<b>Correlations: Coccolitoforicells 10<sup>3</sup>T<sup>-1</sup></b>
<b>Temperatura</b>
Pearson correlation of Coccolitoforicells 103l-1rank and T rank = 0,010
P-Value = 0,953
<b>Conducibilità</b>
Pearson correlation of Coccolitoforicells 103l-1rank and C rank = 0,021
P-Value = 0,904
<b>Ossigeno %</b>
Pearson correlation of Coccolitoforicells 103l-1rank and O% rank = -0,210
P-Value = 0,820
<b>pH</b>
Pearson correlation of Coccolitoforicells 103l-1rank and pH rank = -0,172
P-Value = 0,816
<b>Rx</b>
Pearson correlation of Coccolitoforicells 103l-1rank and Rx rank = -0,170
P-Value = 0,622
<b>Clorofilla</b>
Pearson correlation of Coccolitoforicells 103l-1rank and Cl rank = 0,129
P-Value = 0,555
<b>SALINITÀ</b>
Pearson correlation of Coccolitoforicells 103l-1rank and S rank = 0,212
P-Value = 0,515
<b>Ossigeno disciolto</b>
Pearson correlation of Coccolitoforicells 103l-1rank and O2 rank = -0,218
P-Value = 0,602

**Tabella 11** - Analisi di correlazione non parametrica R per ranghi di Spearman Coccolitofori

<b>Correlations: Altri flagellati cells 10<sup>3</sup>T<sup>-1</sup></b>
<b>Temperatura</b>
Pearson correlation of Altri flagellati cells 103l-1_rank and T rank = 0,023
P-Value = 0,892
<b>Conducibilità</b>
Pearson correlation of Altri flagellati cells 103l-1_rank and C rank = -0,010
P-Value = 0,956
<b>Ossigeno %</b>
Pearson correlation of Altri flagellati cells 103l-1_rank and O% rank = -0,298
P-Value = 0,077
<b>pH</b>
Pearson correlation of Altri flagellati cells 103l-1_rank and pH rank = -0,451
P-Value = 0,006
<b>Rx</b>
Pearson correlation of Rxrank and Altri flagellati cells 103l-1_rank = -0,137
P-Value = 0,426
<b>Clorofilla</b>
Pearson correlation of Altri flagellati cells 103l-1_rank and Cl rank = 0,048
P-Value = 0,780
<b>SALINITÀ</b>
Pearson correlation of Altri flagellati cells 103l-1_rank and S rank = 0,431
P-Value = 0,009
<b>OSSIGENO</b>
Pearson correlation of Altri flagellati cells 103l-1_rank and O2 rank = -0,304
P-Value = 0,071

**Tabella 12** - Analisi di correlazione non parametrica R per ranghi di Spearman Altri flagellati

## Capitolo 5

### Discussione e Conclusioni

I risultati riportati sono i primi per quanto riguarda il fitoplancton in questo tratto di litorale calabrese. Per quanto riguarda i parametri chimico-fisici rilevati, essi mostrano delle differenze spaziali significative rispetto soprattutto ai transetti nord - sud (paralleli alla costa) corrispondenti alle tre diverse isobate di profondità (10m, 50m, 100m). Differenze significative sono state rilevate anche durante il ciclo stagionale. In particolare, la trasparenza ha mostrato valori maggiori nei mesi estivi o tardo primaverili e nelle stazioni distali, e valori minori nei mesi invernali nelle stazioni intermedie e distali. Tale parametro si correla con l'andamento della clorofilla *a* che, nonostante i bassi valori, mostra un picco nei mesi invernali. La presenza di questa relativa torbidità è stata rilevata dalla sonda come fluorescenza che però, come si legge dai dati di densità fitoplanctonica, non si correla ad un aumento della biomassa fitoplanctonica, il fatto è probabilmente da ascrivere a materiale (organico e non) in sospensione.

L'andamento stagionale della temperatura superficiale media ha evidenziato un picco massimo nei mesi estivi (valore massimo di 26°C in Luglio 2010) mentre nei mesi invernali si ha valore medio di 15°C. Tali dati sono in linea con i dati generali del Mediterraneo dove la temperatura media superficiale delle acque costiere varia tra i 13-18°C nei mesi invernali e di 24-30°C nei mesi estivi (Della Croce *et al.*, 1997).

La quantità di ossigeno disciolto ha evidenziato variazioni in linea con le informazioni ecologiche generali, e più precisamente maggiore ossigeno a basse temperature e basse salinità, minore ossigeno ad alte temperature e alte salinità. Tale variazione è stata riscontrata durante i vari campionamenti svolti, mostrando le più alte concentrazioni di ossigeno disciolto nel mese di Maggio 2010 e basse concentrazioni di ossigeno disciolto nei mesi estivi, in particolare nel mese di Luglio 2010, quando è stato raggiunto il più alto valore di temperatura superficiale.

La salinità ha mostrato valori compresi tra 36,84‰ e 37,81 ‰, dati in linea con le variazioni medie dei mari italiani, dove in superficie la salinità è compresa tra il 37,70 ‰ e il 38,35‰, con punte minime del 32,70 ‰ in aree dove vi sono apporti di acque fluviali (Della Croce *et al.*, 1997).

L'andamento complessivo del pH ha evidenziato una tendenza di aumento nel periodo estivo, con una leggera flessione nei mesi invernali; i valori mostrano un minimo di pH pari a 8,07 nel mese di Maggio 2011, dove bisogna evidenziare che il parametro è fortemente influenzato dai dati rilevati nelle stazioni del I transetto (stazione 1, 2, 3) antistanti il fiume Corvino, che hanno mostrato valori di pH intorno a 7. Per quanto riguarda il valore massimo, questo è stato raggiunto a Maggio 2010 con un valore di pH pari a 8,48, in linea con i valori medi del Mediterraneo (dove le oscillazioni sono comprese tra 7,5 o meno, in aree caratterizzate da variazioni di salinità o in condizioni anaerobiche) e 8,4 che è il valore medio massimo misurato sulla superficie del Mediterraneo (Della Croce *et al.*, 1997).

L'analisi della varianza (ANOVA) usata per verificare la significatività statistica rispetto alle tre diverse batimetrie, ha mostrato una minore variabilità dei parametri chimico-fisici nei due transetti medio-distali che sono risultati essere più omogenei, mentre i transetti più disomogenei risultano essere il primo ed il secondo transetto dove le differenze significative riguardano temperatura, pH, clorofilla *a* e ossigeno disciolto. Questa più marcata eterogeneità spaziale tra la zona più costiera rispetto alla medio-distale si può relazionare alle differenze nell'abbondanza complessiva dei diversi gruppi fitoplanctonici. Contrariamente a quanto ci si può aspettare, la zona costiera presenta una minore densità fitoplanctonica, ma una maggiore presenza di diatomee; le maggiori densità si raggiungono, invece, in tutto l'anno, nella fascia più distale. Questo si può mettere in relazione alla relativa instabilità della zona costiera che è più soggetta a moto ondoso e a disturbi ambientali che possono influenzare lo sviluppo fitoplanctonico (Hambright & Zohary, 2000).

Anche la diversità dei parametri idrogeografici del I vs IV transetto in direzione costa-largo (perpendicolari alla costa), si riflette sulle differenze nel popolamento fitoplanctonico soprattutto per quanto riguarda la biomassa complessiva che è minore nel I transetto. Nonostante non abbiamo a disposizione dati circa il carico organico e la portata del torrente Corvino, che sfocia in prossimità del I transetto, l'ipotesi è che, essendo un fiume a carattere torrentizio, le eventuali correnti generate dalla foce possono avere un ruolo nell'impedire lo stabilirsi di una più consistente popolazione fitoplanctonica; alternativamente anche la più bassa salinità rilevata e gli eventuali più alti carichi organici, possono impedire lo sviluppo della crescita fitoplanctonica (Herrera & Ramírez, 1993).

Per quanto riguarda il popolamento fitoplanctonico complessivo, le analisi qualitative hanno evidenziato come il gruppo delle Diatomee presenta la maggiore ricchezza di specie (41 specie) a cui seguono le Dinoficee (39 specie), gli Altri Flagellati (4 specie) e i Coccolitofori (solo 2 specie identificate). Relativamente alle Diatomee, la grossa prevalenza/abbondanza di diatomee pennate a sfavore di quelle centriche, si relaziona al fatto della relativa bassa turbolenza ed alta intensità luminosa delle stazioni da noi campionate (Reynolds, 1987) oltre alla bassa profondità, di alcune stazioni costiere dove è stata osservata la risospensione dal fondo delle Diatomee. Dobbiamo anche precisare che la bassa diversità riscontrata per i Flagellati e i Coccolitofori, è da ascrivere ai limiti del metodo di analisi usato che, attraverso la fissazione, rovina buona parte delle piccole cellule, come pure è molto difficile discriminare le diverse specie con la sola microscopia ottica.

L'indagine qualitativa mostra, inoltre, differenze significative tra i campioni provenienti dalle stazioni sottocosta rispetto a quelli prelevati più a largo, con un maggiore n° di specie nei campioni sottocosta (58 specie vs 32). Sempre dal confronto tra specie presenti nei campioni più costieri rispetto a quelli di largo, si evidenzia, oltre ad un maggior n° di specie, anche la presenza di specie esclusive, quali ad esempio, la presenza di diatomee del genere *Pseudo-nitzschia* e *Nitzschia*, che sono tipiche di tali ambienti. Le stesse specie sono anche tipiche di ambienti turbolenti, infatti, il loro numero aumenta nei periodi primaverili rispetto a quelli estivi.

Per quanto concerne le analisi quantitative, la biomassa fitoplanctonica, nel tratto costiero considerato, presenta relativamente basse densità in tutto l'anno e con un popolamento in buona parte costituito da organismi di piccole dimensioni. Il gruppo più abbondante è quello degli Altri Flagellati (<10 micron) che costituiscono mediamente circa il 71.95 % del popolamento totale, a cui seguono le Dinoficee (17.57 % del popolamento totale) e i Coccolitoforidi (6.68 % del popolamento totale); il gruppo meno abbondante è rappresentato dalle Diatomee (circa il 3.89 % del totale). Quanto riscontrato è in linea con le informazioni ecologiche generali sul fitoplancton marino di acque oligotrofiche, in quanto, è ormai noto che in tali ambienti, i piccoli eucarioti fitoplanctonici (<10 µm) possono contribuire fino all'80% della produzione primaria (Percopo & Zingone, 2007).

La densità fitoplanctonica, seppure bassa, presenta comunque una forte stagionalità, con abbondanze mensili relativamente elevate nei periodi estivo-primaverili e forte diminuzione nei mesi invernali.

Dal punto di vista di eterogeneità spaziale, come già su riportato, le Diatomee sono più abbondanti lungo la fascia batimetrica costiera, con una diminuzione verso il transetto distale; tale andamento si rileva, anche se in grado minore, per il gruppo delle Dinoficee; i Coccolitofori, invece, mostrano un andamento inverso con un aumento di abbondanza verso la fascia batimetria più profonda (100 m).

Per quanto riguarda la diversità di specie, le analisi condotte mediante l'*Indice di Shannon* ha evidenziato come le Diatomee, che rappresentano quantitativamente la popolazione meno corposa del popolamento fitoplanctonico esaminato, risultano essere il gruppo con la maggiore diversità di specie. Tale diversità è riconducibile anche alla varietà di specie bentoniche rinvenute nei campioni delle stazioni costiere; in questi campioni sono state rinvenute alcune specie del genere *Navicula*, diatomee con dimensioni di circa 10 µm che, una volta risospese, sedimentano lentamente, rispetto a diatomee bentoniche di taglia maggiore (20-30 µm) (Facca *et al.*, 2004).

Le Dinoficee, dopo le Diatomee, risultano essere quelle con maggiore diversità di specie; al contrario delle Diatomee, per le quali il numero di specie presenta un minimo in inverno ed un max in estate, le specie di dinoficee sono più o meno presenti tutto l'anno (specie perennanti).

Il gruppo più povero in specie è quello dei Flagellati (<10 µm) e dei Coccolitofori, che, come già suddetto, a causa della presenza di molte piccole forme difficili da riconoscere, la variabilità intraspecifica dei taxa potrebbe essere sottostimata.

Dalle analisi di correlazione non parametrica (correlazione di Spearman) condotta tra i parametri chimicofisici ed i principali gruppi fitoplanctonici, è emerso che i valori di densità delle Diatomee si correlano con i valori di temperatura. Tale fenomeno era stato già osservato da Nuccio *et al.*, (2003) dove viene evidenziato come il gruppo delle diatomee, in alcuni casi può essere fortemente influenzato, dalle variazioni di temperatura e salinità.

Per le Dinoficee è emerso che i parametri che influenzano la loro presenza sono la temperatura, conducibilità, pH, ossigeno e salinità; i Coccolitofori non mostrano correlazioni significative con i parametri registrati, infine i Flagellati <10 µm sono correlati alle variazioni di salinità ed ossigeno disciolto.

Le analisi statistiche DCA, MRPP e ANOVA, che individuano eventuali correlazioni tra i parametri chimico-fisici e le variazioni spaziali e stagionali del fitoplancton, hanno evidenziato che la variabile temporale (stagionalità) è quella che più influenza il popolamento fitoplanctonico esaminato. Il gruppo che ha mostrato una forte influenza della variabile spaziale è quello delle Diatomee che ha mostrato una chiara correlazione con la vicinanza alla costa (popolamento diatomee bentoniche).

Quindi, complessivamente, il popolamento identificato nel tratto di costa in esame è tipico e atteso di quelle delle acque oligotrofiche dei mari temperati, composto quasi totalmente da specie di piccola taglia; a causa della loro fragilità e delle ridotte dimensioni, l'identificazione di questi organismi è estremamente difficile con i metodi tradizionali (osservazioni su materiale fissato in microscopia ottica). Pertanto ai fini di una miglior comprensione della sua dinamica potrebbe essere opportuno l'utilizzo di approcci multidisciplinari (es. indagini molecolari) che potrebbero rivelare una notevole diversità. Complessivamente, i risultati di tale studio mostrano una situazione di oligotrofia di questo tratto costiero; anche i dati di monitoraggio condotti per conto di direttive ministeriali, confermano ciò. Infatti il Tirreno Calabrese è un mare oligotrofo e solo nella zona del Golfo di Gioia Tauro e nella parte centrale del Golfo di S. Eufemia, si riscontrano zone ad elevato carico trofico per l'intensa pressione antropica e/o in corrispondenza delle foci di corsi d'acqua (Zucchi 2007, tesi di Laurea). In queste aree, Sarno (1992) ha evidenziato densità più elevate rispetto ai nostri dati, con una maggiore e significativa presenza di *Diatomee* di diverse specie oltre che di Dinoflagellati atecati, di *Prasinoficee*, *Criptoficee* e *Euglenoficee*.

Il prosieguo del lavoro potrebbe riguardare uno studio più approfondito delle comunità fitoplanctoniche anche su scala pluriennale, magari integrando con il rilievo di altri parametri chimici (nutrienti) e idrogeografici (correnti, ventosità), importanti per la comprensione della dinamica delle popolazioni fitoplanctoniche.

Si può altresì pensare di allargare il campo di indagine ad altri tratti costieri, magari confrontando aree a maggiore pressione antropica (zone nei pressi di golfi) e/o confrontando i popolamenti dei due diversi litorali (ionico vs tirrenico, due bacini con caratteristiche idrogeografiche diverse) e/o aree caratterizzate da un forte rimescolamento delle acque (es. Stretto di Messina).

## ***Bibliografia***

**Avancini M., Cicero A.M., Di Girolamo L., Innamorati M., Magaletti E., Sertorio Zunini T. (2006).** Guida al riconoscimento del plancton dei mari italiani, vol. I. Fitoplancton. Roma, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. ICRAM: pp. 503.

**Bethoux J. P. and Gentili B., (1998).** The Mediterranean Sea, coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes. *Journal of Marine Systems*, **7**: 383-394.

**Bethoux J. P. and Gentili B., (1999).** Functioning of the Mediterranean Sea: past and present changes related to freshwater input and climate changes. *Journal of Marine Systems*, **20**: 33-47.

**Bethoux J.P. and Copin-Montégut G., (1986).** Biological fixation of the atmospheric nitrogen in the Mediterranean Sea. *Limnology and oceanography*, **31(6)**: 1353-1358.

**Bethoux J.P., (1979).** Budgets of the Mediterranean Sea. Their dependence on local climate and on characteristics of the Atlantic water. *Oceanologica Acta*, **2(2)**: 157-163.

**Bethoux, J.P., Morin P., Chaumery C., Connan O. Gentili B. and Ruiz-Pino D., (1998).** Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Marine Chemistry*, **63**: 155-169.

**Bethoux, J.P., (1981).** Le phosphore et l'azote en Mer Méditerranée, bilans et fertilité potentielle. *Marine Chemistry*, **10**: 141-158.

**Bethoux, J.P., (1989).** Oxygen consumption, new production, vertical advection and environmental evolution in the Mediterranean Sea. *Deep Sea Research*, **36(5)**: 769-780.

**Boero F. (1990).** Life cycles, life histories and recruitment. *Trends in Ecology and Evolution*, **5**: 200.

**Boldrin, A., Miserocchi S., Rabitti S., Turchetto M.M., Balboni V. and Socal G. (2002).** Particulate matter in the southern Adriatic and Ionian Sea: Characterisation and downward fluxes. *J. Mar. Syst.*, **33–34**: 389 – 410.

**Bregant D., Civitarese G. and Luchetta A. (1992).** Chemical parameters distribution in the Ionian Sea during POEM-06 cruise (October 1991), Rapp. P. V. Reun. Cons. Int. Explor. Sci. Mer Mediter, **33**: 395.

**Caperon J. (1967).** Population growth in micro-organisms limited by food supply. *Ecology*, **48**: 715-722.

**Carrillo P., Sanchez-Castillo P. and Cruz-Pizarro L. (1991).** Coincident zooplankton and phytoplankton diel migrations in a high mountain lake (La Caldera, Sierra Nevada, Spain). *Arch. Hyrdobiol.*, **122(1)**: 57-67.

**Casotti R. (2000).** Characterization and ecophysiological responses of ultraplankton of the Gulf of Naples and the Sicily Strait by flow cytometry, Ph.D. thesis, Univ. of Messina, Messina, Italy.

**Chisholm S.W., Phytoplankton size. (1992).** In: Falkowski P., Woodhead A.D. (eds.), Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea. Plenum Press, New York.

**Civitarese G., Crise A., Crispi G. and Mosetti R. (1996).** Circulation effects on nitrogen dynamics in the Ionian Sea. *Oceanol. Acta*, **19**: 609–622.

**Cortese G., Pulicanò G., Manganaro A., Potoschi A., Giacobbe S., Giacobbe M.G., Gangemi E., Sanfilippo M., Spano' N. (2000).** Fluttuazioni ed anomalie abiotiche e biotiche. Atti del convegno: Fluttuazioni ed anomalie abiotiche e biotiche, CoNISMA Genova: 22-25.

**Crise A., Allen J.I., Baretta j., Crispi g., Mosetti R. and Solidoro C. (1999).** The Mediterranean pelagic ecosystem response to physical forcing. *Progress in Oceanography*, **44**: 219-243.

**Crispi G., Crise A. and Mauri E. (1999).** A seasonal three-dimensional study of the nitrogen cycle in the Mediterranean Sea, Part II. Verification of the energy constrained trophic model. *Journal of Marine Systems*, **20**: 357-379.

**Cullen J. J. and Horrigan S.G. (1981).** Effects of nitrate on the diurnal migration, carbon to nitrogen ratio and the photosynthetic capacity of the dinoflagellate *Gymnodinium splendens*. *Mar. Biol.*, **62**: 81-89.

**Della Croce N., Cattaneo-Vietti R., Danovaro R., (1997).** Ecologia e protezione dell'ambiente marino costiero. Ed. UTET.

**Denis M., Martin V. and Andersen V. (2000).** Short term variations of the vertical distribution of cyanobacteria in the open Mediterranean Sea. *Sci. Mar.*, **64**: 157–163.

**Donald K.M., Joint I., Rees A.P., Woodward E.M.S. and Savidge G. (2005).** Uptake of carbon, nitrogen and phosphorus by phytoplankton along the 20°W meridian in the NE Atlantic between 57.5 N and 37 N. *Deep Sea Research II*.

**Dugdale R.C. (1967).** Nutrient limitation in the sea: Dynamics, identification and significance. *Limnol. Oceanogr.* **12**: 685-695.

**Dugdale R.C. and Goering J.J. (1967).** Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography*, **12(2)**: 196-206.

**Eppley S.I., Holm-Hansen o. and Strickland J.D.H. (1968).** Some observations on the vertical migrations of dinoflagellates. *J. Phycol.*, **4**: 333-340.

**Facca C, Sfriso A., Ghetti P.F. (2004).** Abbondanza e diversità del fitoplancton e delle diatomee bentoniche in laguna di Venezia. *Biologia Ambientale*, **18 (2)**: 19-24

**Falkowski P.G. (1988).** Ocean productivity from space. *Nature*, **335**: 205.

**Falkowski P.G., Katz M.E., Knoll A.H., Quigg A., Raven J.A., Schofield O. and Taylor F.J.R. (2004).** The evolution of modern Eukaryotic Phytoplankton. *Science*, **305**: 354-360.

**Frankel R.B. (1984).** Magnetic guidance of organisms. *A Rev. Biophys. Bioengng.*, **13**: 85-103.

**Gailhard I., Durbec J.P., Beliaeff B., Sabatier R. (2003).** Ecologie du fitoplancton sur les côtes françaises: comparaison inter-siti. *CR Biol.*, **326**: 853-863.

**Gangemi G. (1969)** Sulla presenza di *RHIZOSOLENIA FIRMA* Karsten nell'area idrografica dello steretto di Messina . *Boll. Pesca Piscic.Idrobiol. Vol XXIV f.2*

**Hambricht, D. & T. Zohary, (2000).** Phytoplankton species diversity control through competitive exclusion and physical disturbances. *Limnology & Oceanography* **41**: 110–122

**Haider S., Naithani V., Viswanathan P.N., Kakkar P. (2003).** Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern. *Chemosphere*, **52(1)**: 1-21.

**Harris G.P. (1986).** Ecologia del fitoplancton. Strutture, funzioni e fluttuazioni. Ecologia e Scienze ambientali. *CLUEB, Bologna*: pp. 334.

**Harris G.P. (1986).** Phytoplankton ecology. Structure, functions and fluctuations. *Chapman and Hall, Londra.*, 88-8091-047-7.

**Harris G.P., Heaney S.I. and Talling J.F. (1979).** Physiological and environmental constraints in the ecology of the planktonic dinoflagellate *Ceratium hirudindella*. *Freshwat. Biol.*, **9**: 413-428.

**Herrera-Silveira, J.A. & J. Ramírez-Ramírez, (1993).** Effects of Poliphenols(Tannins) in the growth of phytoplankton. *Limnology & Oceanography* **41**: 1018–1023.

**Hasle G.R. (1978).** The inverted microscope method. In: Sournia A. (ed.), *Phytoplankton Manual. Monographs on oceanographic Methodology*, **6**, UNESCO, Paris: 88–96.

**Heaney S.I. and Eppley R.W. (1981).** Light, temperature and nitrogen as interacting factors affecting diel vertical migration of dinoflagellates in culture. *J. Plankton Res.*, **3**: 331-344.

**Heaney S.I. and Eppley R.W. (1981).** Light, temperature and nitrogen as interacting factors affecting diel vertical migration of dinoflagellates in culture. *J. Plankton Res.*, **3**: 331-344.

**Heaney S.I. and Talling J.F. (1980).** Dynamics aspects of dinoflagellate distribution patterns in a small, productive lake. *J. Ecol.*, **68**: 75-94.

**Hill M.O., & Gauch H.G. ( 1980)** Detrended correspondence analysis : an improved ordination technique. *Vegetatio* **42**: 74-58

**Hinga K. (2002).** Effects of pH on coastal marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series, Vol. 238*: 281–300.

**Holligan P.M., Williams P.J.L, Purdie D. and Harris R.P. (1984).** Photosynthesis, respiration and nitrogen supply of plankton populations in stratified, frontal and tidally mixed shelf waters. *Marine Ecology-Progress Series*, **17**: 201–213.

**Joint A.R. and Woodward M. (2001).** Primary production and nutrient assimilation in the Iberian Upwelling in August 1998. *Progress in Oceanography*, **51**: 303–320.

**Landry M.R., Ondrusek M.E., Tanner S .J., Brown S.L., Constantinou J., Bidigare R.R., Coale K.H. and Fitzwater S. (2000).** Biological response to iron fertilization in the eastern equatorial Pacific (IronEx II). I. Microplankton community abundances and biomass. *Marine Ecology Progress Series*, **201**: 27–42.

**Levy M., Memery L. and Madec G., (2000).** Combined effects of mesoscale processes and atmospheric high-frequency variability on the spring bloom in the MEDOC area. *Deep Sea Research*, **47**: 27-53.

**Li W.K.W., Zohary T., Yacobi Y.Z. and Wood A.M. (1993).** Ultraphytoplankton in the eastern Mediterranean Sea: Towards deriving phytoplankton biomass from flow cytometric measurements of abundance, fluorescence and light scatter. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **102**: 79–87.

**Li W.K.W., Zohary T., Yacobi Y.Z. and Wood M. (1993).** Ultraphytoplankton in the eastern Mediterranean Sea: towards deriving phytoplankton biomass from cytometric

measurements of abundance, fluorescence and light scatter. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **102**: 79-87.

**Lund J.W.G., Kilpling C., Le Cren E.D. (1958).** The inverted microscope method of estimating algal numbers, and the statistical basis of estimation by counting. *Hydrobiologia*, **11 (2)**: 143–170.

**MacNab R.M. (1985).** Biochemistry of sensory transduction in bacteria. In: G. Colombetti G., Lenci F. and Song P.S. (eds.), *Sensory perception and transduction in aneural organisms*, New York.

**Magazzu G., Andreoli C., Mino F. (1975).** Ciclo annuale del fitoplancton e della produzione primaria del basso Tirreno (1969-1970). *Mem. Biol. Mar. Ocean.*, **5 (2)**: 25-48.

**Magazzu G., Andreoli C., Munao F. (1975).** Ciclo annuale del fitoplancton e della produzione primaria del basso Tirreno (1969-1970). *Mem. Biol. Mar. Ocean.*, **5 (2)**: 25-48.

**Marchigiani M., Mirra M. (1988).** *Vita e microrganismi*, vol.I, Piccin.

**Marcus N., Boero F., (1998).** Production and plankton community dynamics in coastal aquatic systems: the importance of benthic-pelagic coupling and the forgotten role of life cycles. *Limnology and Oceanography*, **43**: 763-768.

**McCune B., & Grace J. B (2002)** *Analysis of ecological Communities* ; **24** 184-197

**Melisana E., Unami S.F., Pallavicini A. (2010).** *Ecologia del nano plancton eterotrofo*. Tesi di Dottorato.

**Morabito G. (1997).** *Dinamica stagionale delle comunità algali e analisi microscopica del fitoplancton*. Corso di formazione per lo studio ed il controllo delle alghe in acque destinate alla potabilizzazione. AGAC – Reggio Emilia, 2- 5 giugno 1997.

**Morabito G., Oggioni A., Caratati E. and Panzani P. (2007).** Seasonal morphological plasticity of phytoplankton in Lago Maggiore (N. Italy). *Hydrobiologia*, **578**: 47–57.

**Moran X.A.G., Taupier-Letage I., Vazquez-Dominguez E., Ruiz S., Arin L., Raimbault P. and Estrada M. (2001).** Physical-biological coupling in the Algerian Basin (SW Mediterranean): Influence of mesoscale instabilities on the biomass and production of phytoplankton and bacterioplankton. *Deep Sea Res., Part I*, **48**: 405 – 437.

**Moutin T. and Raimbault P. (2002).** Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in early summer 1996 (Minos cruise). *J. Mar. Syst.*, **33–34**: 273–288.

**Naeem S., Thompson L.J., Lawler S.P., Lawton J.H and Woodfin R.M. (1994).** Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, **368**: pp. 734–737.

**Naselli-Flores L. and Barone R. (2000).** Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis in natural and man-made water bodies of different trophic state. *Hydrobiologia*, **438**: 65–74.

**Naselli-Flores L. and Barone R. (2007).** Pluriannual morphological variability of phytoplankton in a highly productive Mediterranean reservoir (Lake Arancio, Southwestern Sicily). *Hydrobiologia*, **578**: 87–95.

**Naselli-Flores L., Padisk J. and Albay M. (2007).** Shape and size in phytoplankton ecology: do they matter?. *Hydrobiologia*, **578**: 157-161.

**Nuccio C., Melillo C., Massi L., Innamorati M. (2003)** Phytoplankton abundance, community structure and diversity in the eutrophicated Orbetello lagoon (Tuscany) from 1995 to 2001. *Oceanologica Acta* **26**: 15-25.

**Nutsch N. and Häder D.P. (1988).** Photomovement in motile organisms. *Photochem. Photobiol.*, **47**: 837-869.

**O'Farrell I., Pinto P.T., Izaguirre I.F. (2007).** Phytoplankton morphological response to the underwater light conditions in a vegetated wetland. *Hydrobiologia*, **578** : 65 -77.

**Padisa' K. J., Soroczki-Pinter E. and Rezner Z. (2003).** Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton: an experimental study. *Hydrobiologia*, **500**: 243–257.

**Pemberton K., Rees A.P., Miller P.I., Raine R. and Joint I. (2004).** The influence of water body characteristics on phytoplankton diversity and production in the Celtic Sea. *Continental Shelf Research*, **24**: 2011-2028.

**Pinckney J.L., Paerl H.W., Haugen E., Tester P.A. (2000).** Response of phytoplankton and Pfiesteria-like-dinoflagellate zoospores to nutrient enrichment in the Neuse River Estuary, North Carolina, USA. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **192**: 65–78.

**Platt T., Denman K. L. and Jassby A. D. (1977).** Modeling the productivity of phytoplankton. In: *The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas*, Vol. VI, Goldberg E.D. (ed.), John Wiley, New York: 807-856.

**Poff K.L. (1985).** Temperature sensing in microorganisms. In: Colombetti G., Lenci F. and Song P.S., (eds.). Plenum Press, New York, London: 299-307.

**Rampi L., Bernhard M. (1980).** Chiave per la determinazione delle peridinee pelagiche mediterranee. *CNEN,RT/BIO*, **80 (8)**: 193 pp.

**Rampi L., Bernhard M. (1980).** Key for determination of Mediterranean diatoms. *CNEN, RTB/BIO*, **78 (1)**: 71 pp.

**Rampi L., Bernhard M. (1981).** Chiave per la determinazione delle coccolitoforidee mediterranee. *C.N.E.N.,Roma RT/BIO*, **81 (13)**: 98 pp.

**Revilla M., Briz-Miquel O., Carrillo de Albornoz P., Escalona M., García P., Guinda X., Pérez P., Pérez V., Rodríguez N., Serret P. (2008).** Description of national methods included in the intercalibration. Spain Member State Report for the Phytoplankton Element: Coastal Waters NEA 1/26 Type. 49 pp.

**Rees A., Joint P., M. Donald K., (1999).** Early spring bloom phytoplankton-nutrient dynamics at the Celtic Sea Shelf Edge Deep Sea Research Part I: *Oceanographic Research Papers* Volume 46, Issue 3, Pages 483-510

**Revilla M., Franco J., Bald J., Borja A., Laza A., Seoane S., Valencia V. (2009).** Assessment of the phytoplankton ecological status in the Basque coast (northern Spain) according to the European Water Framework Directive.

**Reynolds C.S. and Walsby A.F. (1975).** Water blooms. *Biol. Rev.*, **50**: 437-481.

**Reynolds C.S. (1984).** The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge, Cambridge University Press.

**Reynolds, C. S., (1987).** Functional morphology and the adaptative strategies of freshwater phytoplankton. In C. D. Sandgred (ed.), Growth and Survival Strategies of Freshwater Phytoplankton. Cambridge Univ. Press, New York: 388–433

**Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L. and Melo S. (2002).** Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, **24**: 417–428.

**Riegman R., Flaming I.A. and Noordeloos A.A.M. (1998).** Size-fractionated uptake of ammonium, nitrate and urea and phytoplankton growth in the North Sea during spring 1994. *Marine Ecology-Progress Series*, **173** (1998), pp. 85–94.

**Rott E., Salmaso N., Hoehn E. (2007).** Quality control of Utermöhl-based phytoplankton counting and biovolume estimates - an easy task or a Gordian knot?. *Hydrobiologia*, **578**: 141-146.

**Sabetta L., Basset A., Spezie G. (2008).** Marine phytoplankton size–frequency distributions: Spatial patterns and decoding mechanisms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **80**: 181-192.

**Sarmiento J., Herbert T., Toggweiler J.R. (1988).** Mediterranean nutrient balance and episodes of anoxia. *Global Biogeochemical Cycles*, **2**: 427-444.

**Sarno D. (1992).** Phytoplankton population from the Gulf of Gioia Tauro (South Thyrrenian Sea). *Giornale Botanico Italiano*.

**Saggiomo M., Santarpia i., Margiotta F., Mangoni O., (2011)** Variabilità stagionale ed interannuale delle comunità fitoplanctoniche del Golfo di Napoli (LTER-MC) : un approccio chemotassonomico. Contributo al XXI Congresso della società italiana di Ecologia

**Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949).** The mathematical theory of communication. Illinois: University of Illinois Press

**Siokou-Frangou I.(2002).** Carbon flow in the planktonic food web along a gradient of oligotrophy in the Aegean Sea (Mediterranean Sea). *J. Mar. Syst.*, **33–34**: 335–353.

**Smayda T.J. (1970).** The suspension and sinking of phytoplankton in the sea. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **49**: 181-200.

**Smayda T.J. (1997).** Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol.Oceanogr.*, **42**: 1137-1153.

**Smith V.H. (2003).** Eutrophication of freshwater and coastalmarine ecosystems a global problem. *Environ Sci. Pollut. Res.* **10**: 126–139.

**Song P.S. (1984).** Primary Molecular Events in Aneural Cell Photoreceptors, pp. 47-60 in (eds.) G.Colombetti et al., Sensory perception and Transduction in Aneural Organisms. NY, Plenum.

**Sournia A. (1974).** Circadian periodicities in natural populations of marine phytoplankton. *Adv. Mar. Biol.*, **12**: 325-389.

**Sparber K., Morabito G., Oggioni A., Ferrari I. (2006).** Dinamica del fitoplancton del Lago di Candia a diverse scale spaziali e temporali. Tesi di Laurea.

**Stratford K. and Haines K. (2002).** Modelling nutrient cycling during the eastern mediterranean transient event 1987-1995 and beyond. *Geophysical Research Letters*, **29(3)**: 10102-10106.

**Tangen K. (1978).** Nets. In: Sournia A. (ed.), *Phytoplankton Manual. Monographs on oceanographic Methodology*, 6, UNESCO, Paris: 50–58.

**Taylor F.J.R. (1987).** The biology of dinoflagellates. *Botanical Monographs. Volume 21. Blackwell Scientific Publications, London: pp. 785.*

**Tolomio C. (1976).** Osservazioni sull'ambiente e tipologia estiva del fitoplancton e fitobenthos lungo il litorale di Tropea (Calabria). Secondo contributo. *Giornale Botanico Italiano, Firenze 110: 77-88.*

**Trigueros J.M. and Orive E. (2001).** Seasonal variations of diatoms and dinoflagellates in a shallow, temperate estuary, with emphasis on neritic assemblages. *Hydrobiologia, 444: 119–133.*

**UtermöHL H. (1958).** Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen der Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, 9: 1–38.*

**Vaulot D., Partensky F., Neveux J., Mantoura R.F.C. and Llewellyn C.A. (1990).** Inter presence of prochlorophytes in surface waters of the northwestern Mediterranean Sea. *Limnol. Oceanogr., 35: 1156–1164.*

**Yacobi Y. Z., Zohary T., Kress N., Hecht A., Robarts R.D., Waiser M., Wood A.M. and Li W.K.W. (1995).** Chlorophyll distribution throughout the southeastern Mediterranean in relation to the physical structure of the water mass. *J. Mar. Syst., 6: 179–190.*

**Zingone A., Henrik Oksfeld Enevoldsen. (2000).** The diversity of Harmful algal blooms: a challenge for science and management. *Ocean & Coastal Management, 43: 725-748. .*

**Zingone A., Honsell G., Marino D., Montresor M., Socal G. (1990).** Fitoplancton. In *Metodi nell'ecologia del plankton marino. Nova Thalassia, 11: 183-198.*

**Zingone A., Totti C., Sarno D., Cabrini M., Caroppo C., Giacobbe M.G., Lugliè A., Nuccio C., Socal G. (2010).** Fitoplancton: metodiche di analisi quali quantitativa. In: G.

Socal, I. Buttino, M. Cabrini, O. Mangoni. Metodologie di studio del plancton marino. Roma: Società Italiana Biologia Marina, ISPRA, ISBN:9788844804275: 213-237.

**Zucco N., Mancuso T., De Francesco M. (2007).** Variazione della struttura dei popolamenti planctonici delle acque costiere calabresi (anni 1994/99-2006/07). Tesi di Laurea.

## **RINGRAZIAMENTI**

Vorrei ringraziare la Prof.ssa Radiana Cozza, tutor e referente scientifico di questa tesi di dottorato, che mi ha dato la possibilità di lavorare nel mio settore preferito (il Mare);

La Dott.ssa Diana Sarno, della Stazione Zoologica di Napoli, per la guida e gli utili insegnamenti, profusi in questi tre anni di attività di ricerca;

Il Dott. Lucio Lucadamo, la Dott.ssa Luana Gallo , la Dott.ssa Anna Corapi e il Dott. Giovanni Brogneri, del Laboratorio di Ecologia, per il loro supporto logistico e statistico, ma anche per i piacevoli momenti trascorsi in questi anni di ricerca;

La famiglia per il sostegno affettivo;

Valentina che ha sempre creduto nella mia passione, sopportando anche i periodi di lunghe assenze;

Ai miei cari nonni che sono sempre orgogliosi di quello che faccio.