

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”

---

in consorzio con

SECONDA UNIVERSITÀ DI NAPOLI  
UNIVERSITÀ “PARTHENOPE” NAPOLI

in convenzione con

ISTITUTO PER L'AMBIENTE MARINO COSTIERO – C.N.R.  
STAZIONE ZOOLOGICA “ANTON DOHRN”

DOTTORATO DI RICERCA IN  
SCIENZE E INGEGNERIA DEL MARE  
XXIII CICLO

## Dinamica spazio-temporale dei popolamenti fitoplanctonici di ambienti iperalini (Le Salina di Tarquinia)

Coordinatore  
Ch.mo Prof. Alberto Incoronato

Candidato  
Dr.ssa Annunziata Talamo

Tutor  
Ch.mo Prof. Gian Carlo Carrada  
Co-Tutor  
Prof. Olga Mangoni

ANNO ACCADEMICO 2009/2010

## **Il contesto problematico**

### **Capitolo I L'ambiente di salina**

- 1.1 I sistemi di transizione
- 1.2 Aspetti problematici e della ricerca negli ambienti iperalini
- 1.3 Gli ambienti iperalini di salina
  - a. Tipologie delle saline e loro distribuzione geografica
  - b. Caratteri fisico-chimici

### **Capitolo II Il ruolo degli ecosistemi di salina nell'economia naturale ed antropica della fascia costiera**

- 2.1 Il rapporto tra i processi industriali e i processi biologici
- 2.2 La produzione biologica
  - a. Il fitoplancton

### **Capitolo III Il sito, i materiali e i metodi della ricerca**

- 3.1 Le Saline di Tarquinia
  - a. Cenni sulla sua storia produttiva
  - b. Profilo ambientale e produttivo attuale
- 3.2 Il campionamento
- 3.3 Metodiche di campo e di laboratorio
  - a. Cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC)
  - b. Spettrofluorimetria

### **Capitolo IV Risultati**

- 4.1 Ciclo stagionale
- 4.2 Cicli circadiani

- a. Ciclo 26/05/2010
- b. Ciclo 12/07/2010

## **Capitolo V Conclusioni**

### **Bibliografia**

## Il contesto problematico

Le saline sono una delle diverse categorie ecologiche che compongono quello spettro di ecosistemi che va sotto il nome di Acque di Transizione. Le acque di transizione, interposte come sono fra il sistema marino e il sistema terrestre (“Acque di Mezzo”), assumono tipologie diverse a seconda del loro grado di interfacciamento con i due sistemi adiacenti. Alle tipologie essenzialmente generate e dipendenti da caratteristiche dinamiche e naturali, si aggiungono tipologie create da un antico e consolidato rapporto con l’uomo, che ha trovato in questi ambienti un’importante sorgente di risorse, per lo più alimentari.

Quest’ultima tipologia è rappresentata dalle lagune costiere e dalle saline, utilizzate, queste ultime, fin dai tempi più antichi per la produzione di sale, prima per uso alimentare e per la conservazione degli alimenti, poi, in tempi più recenti, per la produzione di sale mirata soprattutto ad un uso industriale.

L’ambiente di salina è essenzialmente costituito da una serie interconnessa di bacini attraverso i quali l’acqua di mare fluisce, evapora e produce alla fine una soluzione quasi satura di cloruro di sodio, che si deposita nei cosiddetti bacini di cristallizzazione.

Le saline rappresentano quindi ambienti nei quali sono presenti gradienti di salinità che vanno da quella marina a quella di saturazione ed oltre del cloruro di sodio. Estrada *et al.* (2004) osservano come nelle saline siano presenti condizioni che, in uno spazio limitato, spaziano da quelle del più diffuso ambiente acquatico (il mare) a quelle di uno degli ambienti più estremi: quello delle acque di salamoia (*brines*).

Nelle saline gestite, la temperatura e la salinità di ogni settore dell'impianto sono mantenute costanti entro scale temporali di settimane, attraverso compensazione dell'acqua evaporata con nuova acqua di mare.

Dal punto di vista ecologico, sono molto interessanti gli impianti di salina abbandonati che rappresentano, rispetto a quelli ancora in funzione, un ambito privilegiato per verificare, da un lato, il ruolo relativo della mutata influenza in termini qualitativi e quantitativi delle forzanti ambientali e, dall'altro, gli effetti degli interventi antropici mirati, attraverso mutamenti del regime idraulico, a favorire un uso alternativo. Il numero di saline abbandonate va aumentando per motivi economici.

L'esperienza accumulatasi negli ultimi decenni ha messo in evidenza come le saline non più produttive assieme a quelle sfruttate possano rappresentare un ambiente particolarmente favorevole a sostenere l'ingente flusso di ornitofauna migratoria che interessa le coste mediterranee. Questo flusso è stimato interessare diciotto famiglie di uccelli migratori con circa cento specie. Dei circa 500.000 individui appartenenti a specie migranti o svernanti che interessano le coste mediterranee, oltre la metà si rinvencono nelle saline (Sadoul *et al.*, 1998).

Le saline abbandonate quindi, sebbene siano in genere di estensione assai minore rispetto a quelle ancora sfruttate industrialmente, offrono anch'esse un importante servizio per la conservazione, poiché l'abbandono dell'attività produttiva offre alle comunità ornitiche ambienti di riposo e nidificazione meno disturbati ed una maggiore scelta di ambienti dovuta alla ricolonizzazione di strutture operative da parte della vegetazione alofila circostante.

L'importanza delle saline in termini di conservazione biologica pone l'esigenza di conoscere i meccanismi ed i processi che sono alla base del funzionamento di questi ecosistemi, in particolare le strutture ed i processi trofici sostenuti dalla produzione biologica.

L'informazione biologica ed ecologica sui popolamenti planctonici e bentonici delle saline gestite delinea in maniera abbastanza dettagliata la struttura e la successione dei popolamenti che costituiscono i nodi fondamentali delle loro reti trofiche. La componente biologica del sistema-salina è inoltre di rilevante importanza anche nel favorire la gestione e la produzione di sale di qualità.

Le comunità bentoniche danno origine ad un feltro microbico, per lo più dominato da cianobatteri, che non solo sono l'agente principale che modula gli scambi tra fondo ed acqua libera ed hanno quindi un ruolo determinante sul trofismo generale del sistema, ma contribuisce anche sostanzialmente ad isolare le vasche da perdite ad infiltrazioni dall'ambiente circostante; consolidano anche, insieme al materiale gessoso precipitato, uno zoccolo salino che permette l'uso di pesanti attrezzature moderne all'interno dei bacini stessi (Oren, 2009).

Le ricerche sulle comunità biologiche delle saline (Pedrós-Aliós *et al.*, 2000; Davis, 2000; Oren, 2009) hanno messo in evidenza il ruolo determinante delle comunità microbiche di fondo nel determinare l'assetto ecologico del sistema. Estrada *et al.* (2004), studiando le comunità fitoplanctoniche, hanno prospettato un insieme di problematiche di base che possono proficuamente essere affrontate in questi ambienti peculiari ed unici, e costituire a comprendere meccanismi e processi nel campo dell'ecologia trofica.

Le esasperate condizioni ecologiche all'interno del gradiente ambientale permette di cogliere i mutamenti indotti su fondamentali

parametri del sistema, quale diversità e produttività. Gli stessi Autori sottolineano ancora l'opportunità offerta da questi sistemi di affrontare altri problemi, ancora soggetti a dibattito, quali l'importanza relativa dei fattori ambientali (severità-*harshness* scala ed eterogeneità spaziale) e di quelli biotici (competizione, predazione).

E', invece, ancora molto scarsa l'informazione ecologica in genere sui sistemi di salina abbandonati, anche perché essi non sono riconducibili ad una tipologia uniforme in termini di gestione idraulica, anche nei pochi casi in cui questa esiste. Infatti, le saline abbandonate, mentre sono sottoposte da un lato alle stesse forzanti generali dei sistemi ancora coltivati, dall'altra si caratterizzano per interventi idraulici di tipo estemporaneo, che si riflettono in importanti cambiamenti dell'assetto e della funzione dei popolamenti.

Le saline quindi costituiscono ecosistemi che offrono opportunità particolarmente favorevoli allo studio di problemi di ecologia di base. Le forti variazioni stagionali si riflettono in segnali chiaramente leggibili nelle loro componenti abiotiche e biotiche. In particolare, la relativa semplicità delle comunità rispetto a quelle di altri sistemi acquatici offre opportunità di studio in condizioni quasi sperimentali.

Il presente lavoro si propone di studiare:

1. I diversi aspetti della componente primaria planctonica
2. L'andamento stagionale e circadiano delle comunità all'interno di un contesto spaziale di scala ridotta e quindi riconducibile all'interno di forzanti ambientali di scala locale.

# Capitolo I

## L'ambiente di salina

### 1.4 I sistemi acquatici di transizione

Si definiscono Acque di Transizione quegli ecosistemi, di diversa natura ed origine, interposti fra le acque marine ed il bacino versante. Per le caratteristiche intrinseche alle loro acque, tali sistemi sono noti in letteratura come “acque salmastre”. In Mediterraneo, in questa categoria ritroviamo lagune, stagni costieri, delta e saline.

Sono stati fatti in passato tentativi di riportare i sistemi di transizione all'interno di uno schema tipologico unitario. Il primo tra questi è noto col nome di “Sistema di Venezia”, in quanto espressione delle conclusioni del Colloquio di Venezia del 1958.

Questo sistema si basa su un approccio monofattoriale: la salinità, o più in generale lo “stato ionico”, porta all'identificazione di un certo numero di categorie tipologiche, da quelle oligoaline a quelle polialine.

Carrada *et al.* (1988), affermano che, seppure questo rigido schematismo sia insufficiente per la spiegazione della struttura e della dinamica degli ecosistemi lagunari, tuttavia sia stato utile in quanto la salinità, “intesa come fattore emergente ed intensivo di una complessa dinamica mesologica, ha sicuramente un ruolo rilevante ai fini della lettura causale dei patterns cenotici e funzionali”.

Successivamente, è stato fatto un ulteriore tentativo, basato questa volta su un approccio sistemico che prevede l'utilizzazione delle comunità biologiche come indicatori tipologici. È il modello di Guelorget & Perthuisot (1983), i quali propongono una tipizzazione attraverso



l'impiego dell'organizzazione comunitaria del "dominio paralico", quel complesso di ecosistemi interposti tra il dominio marino e quello delle acque continentali. La caratteristica ecologica del dominio paralico è il livello di confinamento di questi ambienti rispetto a quello marino. Tale confinamento è espresso dal ricambio di "elementi vitali", i nutrienti di origine marina, che per azione biotica diventano sempre più rarefatti man mano che si procede dalle foci a mare sino alle zone più isolate ed interne dei bacini. Questo processo è indicato come la causa primaria del succedersi delle comunità.

Il popolamento paralico ha dinamica e zonazione interna proprie, sia che si vada verso ambienti sottosalati, sia che si vada verso ambienti sovrasalati. Si osservano infatti, comunità del "paralico vicino", caratterizzate da specie talassoidi, del "paralico tipico" e del "paralico lontano", quest'ultimo caratteristico dei due poli estremi, quello evaporitico e quello dulciacquicolo, con specie vegetali e animali proprie.

Tab. I - Confronto tra il "Sistema di Venezia" e quello della "Teoria del confinamento" di Guelorget e Perthuisot (Bianchi, 1988).

	SISTEMA DI VENEZIA	TEORIA DEL CONFINAMENTO
<i>Caratteristiche:</i>		
Laguna come	ecotone tra dominii	dominio paralico
Parametro chiave	salinità	confinamento
Classificazione su base	mesologica-autoecologica	sinecologica

## 1.5 Aspetti problematici e della ricerca negli ambienti iperalini

Gli ambienti iperalini, per l'asprezza dei fattori ambientali sono stati da sempre scenari entro cui la ricerca scientifica ha condotto studi mirati di biologia e di ecofisiologia.

All'interno di questi ambienti, si collocano le saline che hanno favorito studi su specie tipiche di salina, adattate quindi a vivere ad elevati livelli di salinità, e, più in generale, a forti variazioni ambientali.

Tra la fine dell'ottocento e la prima metà del novecento, la ricerca negli ambienti estremi è stata per lo più focalizzata su problemi di ecofisiologia mirati a evidenziare e spiegare i meccanismi di adattamento, che andavano da quelli dell'osmoregolazione a quelli della selezione in termini genetici.

Sono classici gli studi condotti dalla scuola tedesca di Remane i cui risultati hanno offerto il quadro di base per organizzare l'informazione di tipo autoecologico (Remane & Schlieper, 1971).

Nel nostro Paese, ci limitiamo a ricordare le classiche ricerche di Artom (1905, 1906), Stefani (1960, 1962) e quelle della scuola di D'Ancona, per lo più focalizzate sui meccanismi genetici della selezione.

Nel corso della seconda metà del novecento, il crescente interesse verso un approccio sistemico della ricerca ecologica in generale ha spostato gli studi sui sistemi di transizione verso tematiche proprie della sinecologia.

In quest'ottica, le saline sono tornate all'attenzione della ricerca come ambienti in cui affrontare i complessi meccanismi che legano strutture e funzioni delle comunità in risposta alla severità delle loro caratteristiche ambientali.

## 1.6 Gli ambienti iperalini di salina

Le lagune costiere rientrano tra gli habitat prioritari dell'allegato I della Direttiva 92/43/CEE (Febbraio 1994), in cui esse vengono descritte come "distese di acque salate costiere, poco profonde, di salinità e di volume d'acqua variabili, separate dal mare da un cordone di sabbia e ghiaia o, più raramente, da una barriera rocciosa. La salinità può variare, andando dall'acqua salmastra all'acqua iperalina secondo la piovosità, l'evaporazione e gli apporti di acqua marina "fresca" durante mareggiate o tracimazioni marine invernali. Possono ospitare una vegetazione sommersa o esserne completamente prive". Sulla base di questa definizione, interpretata in senso stretto, le saline rientrerebbero nella categoria delle lagune costiere.

Le saline sono ambienti iperalini caratterizzati da acque soprasalate, con salinità superiore a 35-40 ‰, artificiali o seminaturali, creati almeno in parte dall'uomo per l'estrazione del sale. La loro caratteristica principale, l'iperlinità, è dovuta allo scarso idrodinamismo, all'elevato grado di confinamento dei bacini, alle basse profondità e al fatto che gli apporti d'acqua dolce non compensano mai l'evaporazione.

Dal punto di vista ecologico, le saline possono essere classificate come ambienti estremi (Picard, 1985) in quanto influenzati dalle variazioni più o meno evidenti delle condizioni climatiche ed edafiche. Sono definiti anche ambienti marginali in quanto ecologicamente transitori. Ne consegue che gli ambienti di salina consentono solo a pochissime specie la loro colonizzazione e di conseguenza le loro comunità presentano strutture e dinamiche peculiari.

### a. Tipologie delle saline e loro distribuzione geografica

Le saline possono essere classificate in base alla loro localizzazione geografica, dimensione, tipo di gestione attuata e qualità e quantità di sale prodotto. Oltre ai laghi salati e alle miniere di sale, vengono identificate ben cinque tipologie di salina (Walmsley, 1999), lungo le coste atlantiche e del Mediterraneo (Tab.II)

Tab. II - Tipologie delle saline mediterranee, loro localizzazione e descrizione (Walmsley, 1999).

<b>Salina types/ Categories</b>	<b>Geographical location</b>	<b>Salinas description &amp; salt produced</b>
Inland Salt Mines & Salinas	Throughout continental Europe	Underground Salt deposits in sedimentary rocks producing Rock Salt & Brine.
Natural Salt Lakes & Depressions	North Africa & Asia	Crystalized Salt produced under natural evaporation conditions.
Primitive Salt pans or Salinas	Mediterranean & Atlantic coasts	Hand-made salt pans on rocky coastlines producing Salt-flakes & Crystalized Salt.
Rudimentary Salt pans	Southern Mediterranean coastline	Small roughly excavated lagoons (<1ha.) on low-lying coasts. Crystalized Salt is extracted by hand.
Artisanal Salinas	Mediterranean & Atlantic coasts	Series of small lagoons separated by narrow artificial dykes. Crystalized Salt & Salt flakes are extracted by hand.
Industrial Salinas	Mediterranean & Atlantic coasts	Large complex lagoon systems, fully mechanized, modern and highly productive. Smaller semi-mechanized salinas included. (Crystalized Sea-salt)
Inactive & Abandoned Salinas	Mediterranean & Atlantic coasts	Salt production has been phased out as a result of modernisation of industrial salinas.

Alle tipologie di salina strettamente legate al rapporto con il mare, si aggiungono le miniere di sale distribuite in aree continentali che producono sale sottoforma di rocce saline o cristalli di sale; i grandi laghi salati e depressioni “sebkhas” e “chotts” che si trovano nel settore meridionali dei paesi del Nord Africa, in regioni aride e semidesertiche. In questi ultimi ambienti, l'estrazione del sale è trascurabile e il prodotto grezzo viene consumato localmente, venduto nei mercati o scambiato con generi alimentari dalle popolazioni locali. Uno dei più grandi laghi salati dell'area mediterranea, il Chott-El-Djerid in Tunisia, è largo circa 70 e lungo circa 120 chilometri.

Quanto all'origine storica delle saline lungo le coste del Mediterraneo, i cristalli di sale trovati nelle pozze naturali di evaporazione hanno probabilmente suggerito all'uomo la creazione di saline primitive, saline scavate nella roccia lungo la linea di coste situate in aree soggette a forti venti, tali da accelerare il processo evaporativo (Walmsley, 1999; Korovessis & Lekkas, 2000).

Le saline rudimentali ed artigianali sono documentate già in epoca pre-romana. I metodi di estrazione di sale variavano a seconda del tipo di ambiente: sul litorale basso venivano scavati piccoli bacini poco profondi, riempiti di acqua di mare e lasciati evaporare naturalmente; in alcuni casi venivano probabilmente sfruttate zone umide naturali preesistenti.

Questi impianti primitivi erano di piccole dimensioni, di non più di qualche ettaro, di proprietà privata o comune. Le saline artigianali, in particolare, prevedevano la realizzazione di piccole dighe artificiali per separare gli invasi; entrambe le tipologie erano basate unicamente sul lavoro manuale.

Col tempo, le saline più produttive sono state unificate a formare gli attuali vasti complessi artificiali a gestione intensiva, alcuni dei quali arrivano a produrre fino ad un milione di tonnellate di sale per anno: sono le moderne saline industriali. In queste, mulini a vento,

norie e pompe ad azione manuale, che venivano un tempo usati per innalzare e far circolare l'acqua nei canali, sono ora sostituiti da pompe elettriche controllate da sistemi computerizzati. La profondità dell'acqua e la salinità sono però ancora soggette al controllo giornaliero da parte di esperti "salinari".

Gli studi effettuati su questi ecosistemi semiartificiali hanno dimostrato che le saline sono aree di importanza internazionale per la conservazione di specie vegetali ed animali, vertebrati ed invertebrati; per le loro caratteristiche, esse rappresentano anche siti di vitale importanza per il rifugio ed il riposo di molte migliaia di uccelli marini che migrano tra aree di nidificazione nella regione paleartica e di svernamento nel sud del Mediterraneo. Per quanto riguarda quest'ultima area si veda Walmsley (1999).

Tra le saline industriali ancora attive, si possono ricordare la Salin-de-Giraud, in Camargue, la più estesa del Mediterraneo (12.000 ettari) e le Saline d'Aigues-Mortes (11.000 ettari) in Francia, che producono una media complessiva di 1,5-2 milioni di tonnellate di sale all'anno e fanno parte delle dieci saline più grandi del mondo.

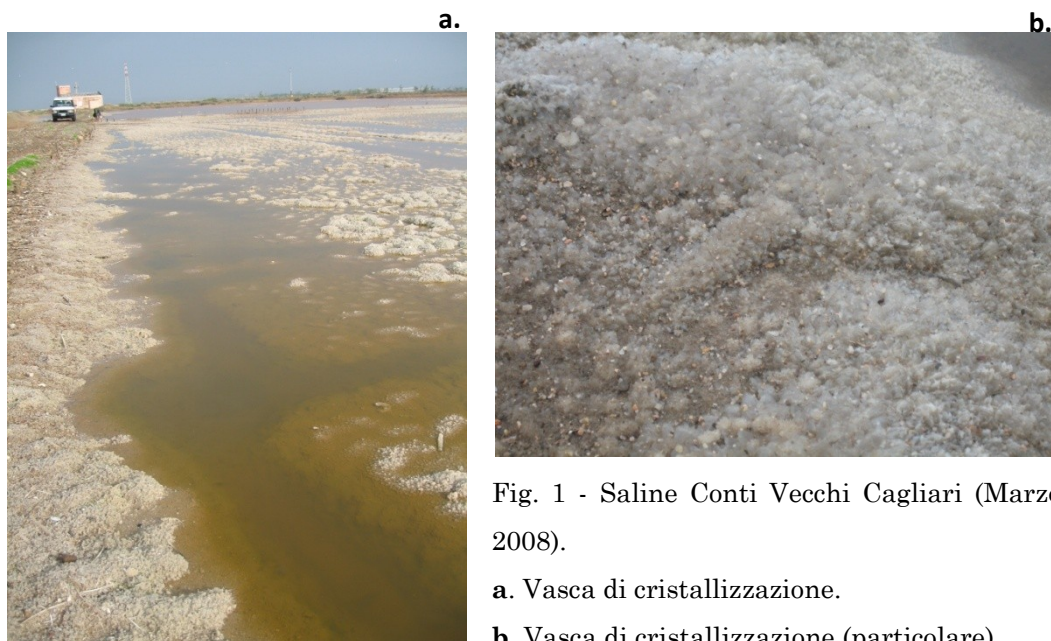


Fig. 1 - Saline Conti Vecchi Cagliari (Marzo 2008).

**a.** Vasca di cristallizzazione.

**b.** Vasca di cristallizzazione (particolare).

Durante gli ultimi cinquant'anni, le saline piccole e poco produttive, minacciate economicamente dalla competizione con metodi produttivi più economici, quale l'estrazione di sale dalle miniere o da impianti di grande dimensioni, hanno dovuto scegliere se convertirsi alla meccanizzazione, poco redditizia su aree poco estese o se specializzarsi in nicchie di mercato per sale di alta qualità o dismettere l'attività produttiva.

Si è venuta così a creare un'altra categoria ambientale: le saline inattive. Dopo diversi anni di dismissione, la produzione di sale è legata esclusivamente ad eventi di deposizione naturale. Le saline abbandonate, sottoposte quindi esclusivamente a fluttuazioni delle condizioni atmosferiche, spesso caratterizzate dall'assenza di circolazione delle acque e l'interramento di molte vasche (Bouzillé *et al.*, 2001), sono progressivamente interessate da una minore presenza di uccelli acquatici, segno evidente di una progressiva perdita di biodiversità, e di un abbassamento dei livelli di produzione biologica. Attraverso la conversione in altre attività produttive, come l'acquacoltura o la produzione di riso, queste saline sono destinate a mutare il loro peculiare valore ecologico, sebbene questo permanga elevato grazie alla potenzialità di questi bacini come aree di tutela ambientale. Una gestione delle saline abbandonate, tramite adeguati interventi di gestione ordinaria e straordinaria, potrebbero portare addirittura ad un incremento del loro valore in termini ambientali.

In sintesi, il valore ecologico e produttivo degli ecosistemi costieri iperalini è significativo in tutto il mondo ed in particolare lungo le coste del Mediterraneo (Korovessis & Lekkas, 2000; Dolapsakis *et al.*, 2005).

La Tab. III riassume il valore ecologico delle differenti tipologie di salina. Le caratteristiche fisiche e biologiche derivanti da una gestione attiva inducono caratteristiche ecosistemiche che spiegano perché molte specie di uccelli frequentino le saline come aree di sosta e di nidificazione (Davis, 1993; Walmsley, 1999; Takekawa *et al.*, 2006).

Tab. III - Il valore ambientale delle diverse categorie di salina (da Walmsley, 1999).

Salina types/ Categories	Ecological values	Importance for Waterbirds
Inland Salt Mines & Salinas	None *	None ? infrequent
Primitive Saltpans or Salinas	**	Occasionally frequented by waterbirds
Rudimentary Saltpans	**	Occasionally frequented by waterbirds
Natural Salt Lakes & Depressions	***	Important numbers of breeding, feeding, passage & wintering species
Industrial Salinas	****	Important breeding, feeding, and wintering sites for coastal seabirds & shorebirds
Artisanal Salinas	***	Few breeding species, but important wintering sites for shorebirds
Inactive & Abandoned Salinas	***	Support breeding, feeding & wintering seabirds & shorebirds

Ecological values: \*insignificant, \*\* low, \*\*\* high, \*\*\*\* very high.

Contrariamente a quanto comunemente si pensa, il processo fisico alla base della produzione di sale, essenzialmente dipendente dal ruolo della temperatura e dell'evaporazione, è significativamente coadiuvato anche da quello della componente biologica, che assicura una maggiore efficienza della produzione industriale e un migliore livello del prodotto (Herrmann *et al.*, 1973; Krumbein, 1985). Poiché quindi gli organismi e le comunità cui essi danno origine sono essenziali per la produzione del sale, la conoscenza della struttura e delle funzioni del comparto biologico assume importanza rilevante anche dal punto di vista industriale (Davis, 1999).

La moderna gestione delle saline contempla pertanto una gestione che favorisca anche il mantenimento di un equilibrio ottimale per le comunità planctoniche e bentoniche, favorendo lo sviluppo ed il mantenimento delle comunità tipiche di ciascun intervallo di salinità presente nell'impianto.



## **b. Caratteri fisico-chimici**

Ogni salina possiede proprie caratteristiche fisiche: invasi di varia ampiezza a seconda del ruolo svolto all'interno del sistema produttivo (vasche evaporanti, salanti o riserve per la deposizione di cloruro di sodio), ciascuno separato dagli altri da terrapieni, in numero ed estensione variabile da una salina all'altra. Per poter sfruttare al massimo l'evaporazione dovuta principalmente a vento e sole, le vasche hanno una profondità ridotta, intorno ai 40-50 cm, mentre ampia è la superficie di interfaccia aria-acqua. La profondità va riducendosi quando ci si allontana dai canali d'ingresso dell'acqua marina per favorire la deposizione del cloruro di sodio, mentre la salinità cresce creando all'interno della salina un tipico gradiente che porta alla formazione di ambienti diversi (Evagelopoulos *et al.*, 2007).

Nelle saline, comprese quelle abbandonate, la salinità può quindi variare in relazione a tre fattori principali: evaporazione, precipitazione e mescolamento. I lunghi periodi di siccità della stagione estiva, con temperature elevate, aumentano i livelli di evaporazione, e quindi della salinità, mentre un elevato apporto di acque dolci dovuto ad abbondanti piogge porterà ad un lieve abbassamento della stessa.

La temperatura dell'acqua presenta oscillazioni stagionali e giornaliere tanto maggiori quanto minori sono la circolazione delle acque e la profondità dei bacini. Questo parametro, insieme alla salinità, influenza direttamente la concentrazione dell'ossigeno disciolto che ha un ruolo fondamentale per le comunità. L'andamento dell'ossigeno disciolto dipende dal carico organico presente nell'acqua, dalla produzione fotosintetica e dall'aerazione degli strati superficiali per gli scambi tra aria e acqua. Il suo consumo è a carico della respirazione algale ed animale, dei processi di ossidazione chimica e biologica che intervengono nell'acqua e nei sedimenti.



Fig. 2 - Vasca delle Saline di Tarquinia invasa da pleustofite (Luglio 2010).

La presenza di diversi gradienti e la loro variabilità temporale, rendono questi ambienti fragili e soggetti, durante la stagione estiva - quando si hanno alte temperature, accumulo di sostanza organica in decomposizione e stagnazione per basso ricambio idrico- a crisi distrofiche localizzate nei punti in cui la circolazione delle acque nelle vasche è praticamente assente.

## Capitolo II

### La produzione biologica negli ecosistemi di salina: i processi di produzione primaria

All'importanza delle saline in termini industriali si affianca anche quella di carattere ecologico ed ambientale che si riflette, a sua volta, sull'efficienza e qualità di quella industriale.

Dal punto di vista ecologico le vasche poco profonde (da 40 a 70 cm) e mantenute con cura a determinati livelli di salinità, permettono l'istaurarsi di ambienti diversi e di molte tipologie di microrganismi, sia nell'acqua libera che sul fondo. Quando sorgono lungo la costa rocciosa, le saline, possono fornire habitat adatti ad organismi acquatici e terrestri che richiedono acque basse

Il successo del funzionamento e la qualità del prodotto fornito dalle saline si fonda sulle comunità biologiche, selezionate e mantenute dalle diverse condizioni ambientali caratterizzanti le singole vasche. I sistemi biologici, quindi, possono coadiuvare o danneggiare la produzione di sale (Sammy, 1983; Davis, 1993).

#### 2.1 Il rapporto fra processi industriali e processi biologici

I sistemi biologici sono caratterizzati da comunità planctoniche rappresentate da specie adattate a ristretti intervalli di salinità, così come le comunità bentoniche che ricoprono il fondo, le quali, se di sufficiente spessore e composizione, assicurano il sequestro di nutrienti dalle acque sovrastanti (Estrada *et al.*, 2004; Oren, 2009) e regolano quindi significativamente il trofismo del sistema; inoltre, le comunità bentoniche riescono a minimizzare l'accumulo di sostanza organica e gesso sul fondo

ed a produrre allo stesso tempo, nelle vasche di cristallizzazione, zoccoli di sale di tale spessore da poter sopportare il peso dei pesanti macchinari utilizzati per la raccolta. Queste comunità biologiche di fondo sono caratteristiche di quelle saline che producono sale di alta qualità in maniera continuativa (Davis, 2000).



Fig. 3 - Il feltro bentonico delle comunità di fondo in una vasca delle Saline di Tarquinia (Febbraio, 2009).

Per quanto concerne, invece, i sistemi biologici che danneggiano la produzione di sale, essi sono caratterizzati dalla presenza di comunità fitoplanctoniche composte da poche specie che vivono entro ampi intervalli di salinità, accompagnate da comunità bentoniche con uno sviluppo eccessivo o inadeguato e che rilasciano quantità dannose di mucillagini. Le saline con queste caratteristiche biologiche producono basse qualità e quantità di sale (Davis, 2000).

Quest'ultimo tipo di sistema biologico necessita di sforzi eccessivi e dispendiosi per portare la qualità del prodotto a standard mondiali (Davis, 1993).

Il sistema che si crea all'interno di ogni vasca è una macchina complessa che, attraverso controlli di feed-back, tra componente abiotica e biotica, riesce a mantenere il delicato equilibrio tra le sue componenti: gli organismi sospesi nell'acqua, ad esempio, favoriscono la produzione del sale colorando l'acqua di un pigmento rosso ( $\beta$ -carotene) (Litchfield & Oren, 2001), accumulato dall'alga verde *Dunaliella salina* (Dun.) Teodoresco, la quale è il principale o l'unico produttore primario dei bacini finali degli impianti.

Oren (2009) sostiene che questa pigmentazione rossa dovuta a *Dunaliella* aumenta l'assorbimento della luce da parte della salamoia ed aumenta la sua temperatura, incrementando in tal modo il processo di produzione.

Le comunità bentoniche sigillano il fondo delle vasche e impediscono l'infiltrazione dell'acqua, rimuovono fosforo e azoto e mantengono lo spessore desiderato del fondo delle vasche (Davis, 2000).

La concentrazione dei nutrienti nelle vasche può variare stagionalmente e senza una chiara correlazione tra le diverse vasche (Takekawa *et al.*, 2006), oppure essere positivamente correlata con la salinità (Dolapsakis *et al.*, 2005). Variazioni delle concentrazioni di azoto e fosforo all'interno delle vasche si possono avere anche in risposta ad infiltrazioni di acque dolci da canali di fertirrigazione (Pavlova *et al.*, 1998). In ogni caso, la maggior parte dei nutrienti richiesti dalle comunità residenti nelle vasche proviene dal mare. Quando quest'apporto non è sufficiente, le popolazioni di uccelli, attraverso il guano, assicurano la quantità necessaria per lo sviluppo ed il mantenimento della comunità. La stessa funzione può essere svolta dai batteri e dalle alghe azotofissatrici (Davis, 1999). Quando il problema è l'opposto, e l'azoto e il fosforo sono in concentrazioni eccessive, il sequestro dei nutrienti avviene come già detto da parte delle comunità bentoniche.

Nel caso questi meccanismi naturali non fossero sufficienti, l'uomo provvede alla rimozione di materiale biologico, e quindi di importanti

quantità di azoto e fosforo. I prodotti rimossi includono fanghi medicamentosi utilizzati per curare le malattie della pelle (es: i sedimenti scuri nelle saline del Mar Morto e dei Balcani); cibo per il consumo umano e animale, ad esempio pesci (Saline di Izmir, Tunisia), *Artemia salina* Linnaeus (1758) (Baia di San Francisco), crostacei peneidi (Cina), crostacei (Australia e Namibia) e prodotti chimici ( $\beta$ -carotene e glicerolo) da *Dunaliella salina*.

Se comparata ai metodi tradizionali per ottenere questi prodotti, la raccolta all'interno delle saline costituisce un grande risparmio di energia e, allo stesso tempo, permette alle saline un introito economico supplementare (Davis, 1999).

La tabella seguente riassume i processi attraverso i quali le comunità biologiche cooperano al funzionamento delle saline:

Tab. IV - Rapporto tra i processi industriali e le comunità biologiche delle saline  
(Davis, 1999).

<p><b>Salt Manufacture Aids the Environment</b></p> <p><b>Low energy input by humans (fuel, power)</b></p> <p>Minimal impact on the marine environment</p> <p style="padding-left: 20px;">Ponds occupying the largest surface area have organisms similar to biota of confined transitional ecosystems</p> <p><b>Impact of waste product (bittens) is minimal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- when gradually released</li> <li>- when retained on the saltworks</li> <li>- when used for extraction of magnesium, potassium, etc.</li> <li>- has medicinal value (thalassiotherapy)</li> </ul> <p><b>Product is</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- essential to life</li> <li>- does not change in transit</li> <li>- is non-toxic to environment</li> </ul> <p><b>Sanctuary of wildlife, particularly birds</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- food during entire year</li> <li>- free of tide influences</li> <li>- free of hunting pressure</li> <li>- some saltworks construct of install <ul style="list-style-type: none"> <li>- nestin sites</li> <li>- islands to exclude predators</li> <li>- fencing to exclude introduced animals</li> <li>- pumps to keep water levels from changing</li> </ul> </li> </ul>
--

## 2.2 La produzione biologica

Gli scambi con il mare (Kiener, 1978), l'idrologia, la salinità, ed i nutrienti giocano un ruolo determinante nello sviluppo delle comunità biologiche (Davis, 1978, 1990). Per quanto concerne nello specifico il popolamento fitoplanctonico delle saline, esso è costituito da relativamente poche classi algali, che si riducono man mano che aumenta il gradiente salino tra le vasche. Quindi, “la salinità è indice dell'inadattabilità dei taxa algali a convivere insieme con l'incremento delle condizioni estreme di vita” (Elloumi *et al.*, 2006).

Sebbene alcuni studi (Thièry & Puente, 2002) enfatizzino la concentrazione salina quasi come l'unica chiave di lettura delle dinamiche dei popolamenti di salina, tuttavia essa non è certamente l'unico fattore, ma solo quello più immediatamente leggibile, in quanto la variazione di salinità è accompagnata dalla variazione di diversi altri parametri e non è sempre possibile distinguere gli effetti dovuti all'azione diretta della salinità. La temperatura, ad esempio, come espressione delle condizioni climatiche, influenza lo sviluppo e la proliferazione degli organismi presenti, nonostante i forti condizionamenti imposti dalla salinità (Ayadi *et al.*, 2004).

Ad eccezione della distribuzione della cloroficea *Dunaliella salina*, che incrementa significativamente la sua biomassa all'aumentare della salinità (Pedrós-Alió *et al.*, 2000; Oren & Rodriguez-Valera, 2001; Estrada *et al.*, 2004; Dolapsakis *et al.*, 2005; Elloumi *et al.*, 2006; Oren, 2009), il decremento della ricchezza in specie è stata riportata regolarmente nelle saline mediterranee da diversi autori (Williams, 1998; Pedrós-Alió *et al.*, 2000; Thièry & Puente, 2002; Ayadi *et al.*, 2004; Toumi *et al.*, 2005; Takekawa *et al.*, 2006), così come anche nei laghi salati antartici (Perriss & Laybourn-Parry, 1997).

In uno studio basato su diversi approcci metodologici, Estrada *et al.* (2004) richiamano la distinzione fatta da Margalef (1969) tra i concetti di diversità e di biodiversità. Questo Autore intende per diversità la misura

della ricchezza di componenti della biosfera che sono attivi o abbondanti in un determinato spazio-tempo, mentre per biodiversità intende un set di informazioni genetiche non ridondanti in quel dato luogo. La differenza tra diversità e biodiversità sembra essere maggiore in ambienti fortemente dinamici. Nel caso delle saline, i risultati ottenuti dai citati Estrada *et al.* (2004), suggeriscono che si verifichi una tendenza al decremento della biodiversità con l'aumento della salinità.

Dussart (1977) osserva come la bassa diversità biologica può essere compensata dall'elevata produzione. In contrasto con gli studi approfonditi di produzione primaria sui feltri di cianobatteri bentonici nelle vasche di evaporazione delle saline a bassa e media salinità, la ricerca si è dedicata sorprendentemente poco ai processi di produzione primaria nelle acque libere di salina (Oren,2009).

Il gradiente salino è sempre correlato positivamente con la biomassa fitoplanctonica (Pedros-Aliò, 2000; Elloumi, 2005; Takekawa *et al.*, 2006), anche se alcuni autori limitano la massima attività del fitoplancton, letta come picchi di biomassa, a determinati valori di salinità attestati intorno a 100 ‰ e a 250 ‰ per alcuni (Pedrós-Alió *et al.*, 2000), mentre per altri (Estrada *et al.*, 2004) intorno a 80 ‰ e 370 ‰.

Oren (2009), riporta le osservazioni fatte da Joint *et al.* (2002) nelle Saline di Alicante (Spagna): la concentrazione di Chl *a* delle prime vasche di evaporazione alimentate con acqua marina costiera raggiunge valori di circa 4 µg l<sup>-1</sup>, incrementando a 8 µg l<sup>-1</sup> a 54-102 ‰, per poi diminuire a valori più bassi con l'incremento di salinità, per incrementare nuovamente nelle vasche di cristallizzazione a salinità di circa 320 ‰.

Takekawa *et al.* (2006), affermano che la salinità incide maggiormente sulle variazioni in biomassa per i bassi livelli trofici, piuttosto che per quelli più elevati della rete trofica di salina.



### a. Il fitoplancton

Le comunità fitoplanctoniche sono composte per lo più da Diatomee, Dinoflagellati, Criptoficee, Cloroficee e Cianoficee. Le comunità possono essere suddivise in un primo raggruppamento composto da specie presenti nelle vasche di evaporazione con salinità non superiore a 50 ‰, cioè specie tipiche di acque costiero marine che non sono capaci di adattarsi con successo all'incremento dello stress osmotico; ed un secondo gruppo alofilo, composto da specie fisiologicamente adattate ad elevati valori di salinità.

Criptoficee e Dinoflagellati sono presenti sino a salinità di circa 100-110 ‰, le Diatomee, privilegiano salinità più elevate, scomparendo quando vengono superati i 220 ‰ (Estrada *et al.*, 2004). Sempre in corrispondenza di elevati valori di salinità, si rinvencono Cloroficee (*Dunaliella salina*) e Cianobatteri (Dolapsakis *et al.*, 2005). Altri autori (Ayadi *et al.*, 2004), approfondendo l'analisi sul popolamento fitoplanctonico a *range* di salinità minori (40-90 ‰), sottolineano l'importanza di Diatomee e Dinoflagellati, che rappresentano talora il 90% del popolamento fitoplanctonico, evidenziando però come specie eurialine, in particolar modo le Diatomee, si sviluppino preferenzialmente a salinità non troppo elevate, venendo sostituite a salinità maggiori da specie stenoaline di Dinoflagellati.

La letteratura fa riferimento solo a studi basati su campionamenti a scala temporale estremamente ridotta (campionamenti in un solo giorno per una stagione dell'anno o talvolta in due diverse stagioni), che, non arriva quasi mai a coprire un intero ciclo stagionale. Ciò non consente la lettura del sistema nell'ambito dell'intero ciclo stagionale e quindi non permette di calarlo in un adeguato contesto temporale (Margalef, 1969). Fa eccezione il lavoro di Ayadi *et al.* (2004) nelle saline di Sfax (Tunisia), dove viene esaminata l'alternanza stagionale di Diatomee e Dinoflagellati e si mette in luce la predominanza delle Diatomee in primavera ed autunno, rispetto ai Dinoflagellati predominanti in autunno ed inverno.

Un aspetto peculiare del fitoplancton di salina è l'elevata concentrazione di carotenoidi che si sono rivelati vantaggiosi per l'acquacoltura da quando si è scoperta la loro importanza nella pigmentazione, attivazione di vitamine, antiossidazione dei tessuti, crescita e perfino riproduzione di alcune specie animali (Ong & Tee, 1992; Pfander, 1992; Britton, 1995; Liñán-Cabello *et al.*, 2002).

L'elevato accumulo di carotenoidi è dovuto allo stress, causato dalle severe condizioni ambientali, al quale è sottoposto il fitoplancton (Litchfield & Oren, 2001). Non a caso, l'accumulo totale di carotenoidi è relativamente basso a salinità basse, mentre aumenta all'aumentare della salinità (Dolapsakis *et al.*, 2005). Il color rosso-arancio delle acque infatti dovuto proprio alla presenza di dense comunità di archaea alofili rossi e di *Dunaliella*, ricca di  $\beta$ -carotene.

*Dunaliella* è l'organismo autotrofo più abbondante e solitamente l'unico delle vasche di cristallizzazione delle saline di tutto il mondo. Le enormi quantità di  $\beta$ -carotene sono accumulate sotto forma di globuli tra i tilacoidi di ogni cloroplasto, e proteggono le cellule dai danni causati dall'alta intensità della luce solare (Oren *et al.*, 1992; Oren & Dubinsky, 1994; Litchfield & Oren, 2001).

*Dunaliella salina* cresce in condizioni ottimali a concentrazioni di salinità di 120-140 g l<sup>-1</sup> in laboratorio, ma tollera bene anche salinità di 270 g l<sup>-1</sup>. In natura, a basse salinità, *Dunaliella salina* è generalmente sostituita da altri organismi autotrofi (Dolapsakis *et al.*, 2005), mentre la sua densità nelle vasche di cristallizzazione varia fortemente in accordo con la posizione geografica, lo stato dei nutrienti e la gestione della salina (Davis, 2000).

Nonostante gli studi ecofisiologici condotti su questa cloroficea per capire la sua dinamica nelle saline (Labbé, 1921; Oren, 2005), ancora si conosce ben poco circa la sua biologia nelle acque di salamoia (Oren, 2009).



Fig. 4 - Vasca di cristallizzazione con acque colorate dal forte sviluppo di *Dunaliella salina*. Saline Conti Vecchi, Cagliari (Febbraio 2008).



Fig.5 - Bacino periferico delle Saline Conti Vecchi (Cagliari) mostrante lo sviluppo delle acque rosse. (Febbraio 2008).

Lo spettro pigmentario, utilizzato come strumento chemotassonomico, permette di leggere, in maniera sintetica, per grandi gruppi tassonomici gli eventi successionali del popolamento. La maggior parte della letteratura concorda nel riportare una povertà di taxa algali presenti in questi ambienti (Ayadi *et al.*, 2004; Estrada *et al.*, 2004; Elloumi *et al.*, 2006; Evagelopoulos *et al.*, 2007).

Ancora più limitati sono gli studi che si occupano delle diverse frazioni dimensionali del popolamento fitoplanctonico delle saline (Estrada *et al.*, 2004). Uno studio basato sulle frazioni dimensionali tuttavia è molto utile per individuare il ruolo del fitoplancton nell'ambito delle reti trofiche, tenendo anche conto che l'appartenenza ad una determinata classe di taglia supplisce, dal punto di vista funzionale, ad individuare il ruolo nella rete trofica di produttori primari appartenenti a comunità estremamente impoverite in termini di diversità.

## Capitolo III

### Il sito, i materiali e i metodi della ricerca

#### 3.1 Le Saline di Tarquinia

Le Saline di Tarquinia sono ubicate lungo il litorale laziale, in quella che viene comunemente detta Maremma Tosco-Laziale, nel territorio del Comune di Tarquinia.

Le Saline si estendono su una superficie di circa 170 ettari a sud del lido di Tarquinia, a valle di una vasta piana alluvionale, delimitata a nord-ovest dalla foce del fiume Marta e a sud-est dalla foce del fiume Mignone. Si tratta di un'area a scarsa piovosità e spesso battuta da venti tesi provenienti dal mare, che rendono il sito ideale per la produzione di sale.



Fig. 6 - Le Saline di Tarquinia ([www.pcn.minambiente.it](http://www.pcn.minambiente.it)).

La Salina ha forma triangolare, con il lato maggiore rivolto verso il Mar Tirreno, da cui è separata da un cordone sabbioso di modeste dimensioni. La spiaggia antistante l'impianto, negli ultimi anni ha subito

una notevole riduzione di superficie a causa della progressiva erosione costiera. Il perimetro esterno della salina è percorso da un canale, “Canale Circondariale”, che isola l’area produttiva dalle immissioni di acqua dolce provenienti dai terreni agricoli circostanti. Le infiltrazioni di acqua marina, invece, sono evitate dalla presenza di un canale, detto “Canale di Bilanciamento”.

La comunicazione con il mare è assicurata da due foci: la Foce di Ponente permette oggi l’ingresso dell’acqua marina nell’impianto attraverso una pompa idrovora, mentre in passato, quando l’impianto era ancora funzionante, l’acqua entrava per gravità (la salina presenta un’elevazione mediamente inferiore di 1 metro rispetto al livello del mare) secondo i ritmi delle maree, passando attraverso una paratoia azionata manualmente. Il secondo punto di comunicazione con il mare è la Foce di Levante. Attraverso la quale, in passato, uscivano le acque di scarto del processo di estrazione del sale.

All’altezza della foce di Levante è installata una seconda pompa idrovora necessaria a far superare all’acqua il dislivello altimetrico esistente tra due porzioni dell’impianto.

Inoltre, sono presenti altre due pompe idrovore ubicate in uno degli edifici annessi all’impianto e funzionali al mantenimento del flusso d’acqua nelle vasche dette “Partite Alte” e in altre aree dell’impianto. La foce di Levante è attualmente chiusa.

L’impianto è dismesso da oltre 20 anni.

Nelle condizioni attuali, il processo di salinificazione spontanea stenta a verificarsi. L’ultimo salinaro rimasto in servizio, con interventi estemporanei, permette ancora una qualche circolazione delle acque all’interno dei bacini. Sebbene non si possa parlare di una vera e propria gestione idraulica finalizzata alla salvaguardia dell’ecosistema e della sua delicata rete trofica, vi è comunque il mantenimento di un ricambio delle acque sufficienti a rallentare i processi di interramento delle vasche o l’eccessiva dolcificazione che trasformerebbero la Salina in una zona

paludosa destinata alla scomparsa, come tutti i sistemi acquatici confinati.

Le saline di Tarquinia (Fig.6) sono costituite da circa 50 vasche a pianta rettangolare separate da argini di pietra calcarea locale e legno di abete. Il passaggio dell'acqua da una vasca all'altra è garantito da una serie di chiuse in legno e dai canali laterali che li circondano, mentre la separazione delle vasche si ha grazie a terrapieni (Allavena & Zapparoli, 1992 a.).

Tutte le vasche sono poco profonde: la colonna d'acqua raggiunge nelle prime vasche d'evaporazione una profondità massima di circa 80 cm, che si riduce progressivamente nelle altre per favorire il gradiente salino; insieme all'altezza della colonna d'acqua si riduce anche la superficie delle vasche.

I bacini sono suddivisi in diversi gruppi in base alla funzione che avevano durante il processo estrattivo: ci sono le vasche di prima, seconda e terza evaporazione, poi le servitrici ed infine le vasche salanti da cui veniva estratto il cloruro di sodio.

Le vasche di prima evaporazione, denominate "Sterro", "Piscine", "Riserva Grande", "Vasca Passoni" e "Giochi di Mare", sono di dimensioni e numero maggiore delle altre. Qui avveniva l'iniziale concentrazione del cloruro di sodio, la precipitazione delle particelle in sospensione nell'acqua marina e dei sali meno solubili.

In queste prime vasche, la concentrazione salina poteva raggiungere il 90 %. L'acqua, in seguito, veniva trasferita nelle stazioni di seconda e terza evaporazione che comprendeva il gruppo di vasche denominato "Partite alte" e "Prima sezione". In queste vasche avveniva un successivo aumento della salinità sino a valori di circa 160-170 %. Da queste, poi, l'acqua passava nelle vasche dette "Servitrici", la cui funzione era di aumentare la densità dell'acqua e in queste vasche si ottenevano valori di salinità pari a 180-190 %. Da ultimo, l'acqua era convogliata in bacini salanti, "Riserve", dove avveniva la precipitazione del sale attorno a valori di 300 % e la raccolta.

## **a. Cenni sulla sua storia produttiva**

Le Saline di Tarquinia sino a pochi anni fa rappresentavano uno tra i pochi siti lungo la costa Tirrenica dove veniva praticata l'antica arte di produzione del sale mediante precipitazione in bacini salanti.

Recenti studi basati su scavi archeologici condotti nell'area delle Saline mostrano che già durante il Villanoviano (circa VIII-IX a.C.) il sale marino veniva sfruttato e utilizzato come preziosa merce di scambio.

Tralasciando le sporadiche ed incomplete citazioni di estrazioni saline nei periodi più antichi è il periodo Romano quello in cui vi è stata una utilizzazione organizzata industrialmente e commercialmente, in modo sempre più completo, proprio come suggeriscono alcune autorevoli fonti storiche quali Livio, Plinio, Rutilio Namaziano, Dioscoride ed altri.

Come attestava un'iscrizione apposta alla cateratta d'immissione delle acque marine, la costruzione dell'impianto, così come noi oggi lo conosciamo, si ebbe nel 1805, quando il cardinale Alessandro Lante, tesoriere generale della Camera Apostolica dello Stato Pontificio, intraprese, per consiglio e con l'opera di Giuseppe Lipari di Trapani e il benestare di Papa Pio VII Chiaramonti, i primi lavori di una salina nel territorio di Corneto (Tarquinia), in località Carcarello, di proprietà dei PP Conventuali. In realtà, sullo stesso luogo vi era una salina abbandonata di epoca medioevale databile all'incirca al 1400.

L'idea di costruire l'impianto nacque dalla necessità da parte dello Stato Pontificio di sopperire alla chiusura delle Saline di Ostia, entrate in crisi alla fine del XVIII secolo e che costringevano ad importare sale da Trapani, dalla Sardegna e dalla Francia con ingenti costi. In un primo tempo, i cittadini di Corneto si erano opposti all'iniziativa, temendo che le nuove saline potessero "viziare" l'aria circostante e cagionare le "febbri palustri", ma la causa civile intentata contro il governo pontificio venne da loro persa, avendo quest'ultimo dimostrato la poca ragionevolezza di quei timori.



La costruzione della Salina durò un quarantennio, poiché i lavori vennero continuamente disturbati dalle guerre napoleoniche. Tra il 1805 e il 1815, venne ultimato il canale circondariale ed i bacini della prima e seconda sezione. Nel 1816, il Conte Pianciani, intraprese il taglio della terza sezione e solo nel 1825 incominciò l'escavazione delle vasche delle *Piscine* e dello *Sterro*.

Ceduta dapprima in gestione privata, con scarso risultato tecnico ed economico, lo Stato ne assunse direttamente l'amministrazione, ma poi nel 1845 la dette in appalto al Principe di Torlonia, che la migliorò e provvide ad impiantarvi alcune viti d'Archimede mosse da forza animale per il sollevamento delle acque.

Nel 1857, l'appalto fu concesso ai Fratelli Dol, che sostituirono questi modesti mezzi idrovori con timpani azionati da una motrice a vapore e provvidero ad impiantare un mulino a palmenti per la macinazione del sale.

Successivamente si passò ad una modernizzazione della Salina, come illustra Luigi Bennati de Baylon, Direttore Generale delle Gabelle, in uno scritto del 1875 indirizzato a Marco Minghetti, allora Presidente del Consiglio dei Ministri dello Stato italiano (Bennati, 1875).

A prestare servizio di manovalanza in salina erano per lo più persone poste ai lavori forzati, rinchiusi nel vicino bagno penale di Porto Clementino, guidati dai "salinari", dipendenti dello Stato che avevano il compito di gestire la salina nel modo più produttivo possibile. Ma, per quanto notevoli siano stati gli sforzi dei salinari e lungimiranti, per l'epoca, gli investimenti fatti, la Salina di Corneto -che successivamente prenderà il nome di Salina Tarquinia- non è mai riuscita a raggiungere, nell'ambito del panorama nazionale, livelli di elevata produzione, forse a causa della sua esigua estensione.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, la Salina venne di molto ampliata, sino ad ottenere un profilo simile a quello che conserva attualmente con i suoi 170 ettari di estensione, di cui il 70% occupato dall'impianto per la produzione di sale.

## **b. Profilo ambientale e produttivo attuale**

Nel 1987, una forte alluvione colpì l'area provocando gravi danni all'impianto delle saline. Tutte le vasche furono inondate da un'enorme quantità di acqua e fango esondati dal Fosso Circondariale. Circa 16 ettari della Salina furono interrati e mai più ripristinati. Nella maggior parte delle vasche, sedimentò fango che non venne più rimosso, compromettendo notevolmente la funzionalità dell'impianto. Inoltre, molte strutture, tra chiuse e canali, vennero completamente distrutte.

I danni prodotti dall'alluvione del 1987, la minore redditività, la limitata estensione, la difficoltà nell'adattare i nuovi processi di lavorazione a tale impianto, in aggiunta all'importazione di sale sottocosto da altri Paesi, indussero i Monopoli di Stato a dismettere l'impianto di produzione ed impacchettamento del sale delle Saline di Tarquinia.

L'abbandono delle tale attività ha portato con il tempo ad un generale degrado, sia delle aree delle vasche, sia delle strutture produttive. Con la dismissione dell'attività di produzione è venuta meno la manutenzione ordinaria e straordinaria, così da compromettere la stabilità strutturale degli opifici e la funzionalità, anche ecologica, dell'intero sistema.

La limitazioni della gestione, derivanti anche da uno scarso coordinamento tra le Amministrazioni competenti, comportarono pratiche estemporanee e prive di riferimento ad un quadro coordinato, contribuendo ad accelerare il degrado attraverso una disarticolata programmazione delle attività di sorveglianza dei manufatti e delle infrastrutture presenti e di regolamentazione del flusso idrico. La gestione doveva contemperare esigenze diverse: non produrre sale, mantenere un'elevata omeostasi del comparto idrico e non alterare eccessivamente le caratteristiche ecologiche delle singole vasche, caratterizzate da una configurazione creatasi nel corso di anni e anni di estrazione e che rappresentano tasselli importanti di un complesso contesto ecosistemico.

Le Saline di Tarquinia hanno oggi una valenza esclusivamente naturalistica, essendovi stata istituita, con decreto dell'ex Ministero dell'Agricoltura, una riserva di popolamento faunistico. Esse sono state sottoposte a vincolo di tutela ambientale dal 1980 con l'istituzione della Riserva Naturale di Popolamento Animale "Saline di Tarquinia" (D.M. 25/01/1980 del Ministero dell'Agricoltura); inoltre sono SIC (Sito di Importanza Comunitaria-IT6010025) e ZPS (Zona a Protezione Speciale-IT6010026) in base alla Direttiva Habitat e alla Direttiva Uccelli.

Esse rappresentano una zona umida vocata al mantenimento della biodiversità animale, in particolar modo della fauna ornitica, titolo solitamente riconosciuto alle lagune costiere di origine naturale.

Infatti le saline ingenerale rappresentano un ecosistema di elevato valore soprattutto per gli spostamenti stagionali di moltissime specie di uccelli (Thiery & Puente, 2002; Takekawa *et al.*, 2006). Da un punto di vista ornitologico rivestono un ruolo estremamente significativo, sia come luogo di svernamento, sia come punto di sosta durante i flussi migratori primaverili ed autunnali (Allavena & Zapparoli, 1992 b.), poiché assicurano agli uccelli che sostano nelle vasche l'aumento ponderale necessario a proseguire gli spostamenti.

Le specie di uccelli fino ad ora censite all'interno delle Saline di Tarquinia sono 56 e tra queste le più importanti sono il cavaliere d'Italia (*Himantopus himantopus*, Linnaeus, 1758), la garzetta (*Egretta garzetta*, Linnaeus, 1766), l'airone bianco (*Ardea alba*, Linnaeus 1758), l'airone cenerino (***Ardea cinerea***, Linnaeus, 1758), l'avocetta (*Recurvirostra avocetta*, Linnaeus, 1758), il beccapesci (*Sterna sandvicensis*, Latham, 1878), il fraticello (*Sterna albifrons*, Pallas, 1764), la sterna maggiore (*Sterna caspia*, Pallas, 1770), il mignattino (*Chlidonias niger*, Linnaeus, 1758), più un nutrito gruppo di fenicotteri (*Phoenicopterus ruber*, Linnaeus, 1758) (Allavena & Zapparoli, 1992; Lanzuisi, 2008).



Fig. 7 - Airone bianco (*Ardea alba*). Saline di Tarquinia (Luglio 2010).



Fig. 8 - Individui di airone cenerino (*Ardea cinerea*) e uno di airone bianco (*Ardea alba*) sugli argini di separazione delle vasche delle Saline di Tarquinia (Luglio 2010).

Le comunità biologiche direttamente legate all'acqua libera ricordano, grosso modo, quelle di altre saline italiane ed, in genere, del Mediterraneo, grazie alla struttura dell'impianto, ai parametri chimico fisici delle vasche ed al clima.

Per le specie ittiche, il censimento non è ancora stato completato. Predomina il nono *Aphanius fasciatus* (Valenciennes, 1821), un ciprinodontide di ambienti salmastri che tollera ampie variazioni di salinità, fino a valori prossimi ai 100 ‰ (Angeletti, 2006). Nelle vasche della zona “Sterro” e “Piscine”, caratterizzate da salinità più basse e vicine a valori marini, si trova il latterino *Atherina boyeri* (Risso, 1810), specie che abita acque marino-costiere. Si trovano, inoltre, gobidi di acqua dolce, in particolare il ghiozzetto di laguna, (*Knipowitschia panizzae*, Verga 1841), il capitone (*Anguilla anguilla*, Linnaeus 1758) e poi varie specie marine costiere adattabili alla vita in acque lagunari, anche fortemente dolcificate, come muggini, spigole, orate e sogliole (Nascetti *et al.*, 1998).

La vegetazione è caratterizzata da specie adattate ad ambienti iperalini, quali *Salicornia europaea* L. e *Sarcocornia perennis* (Miller) Scott. Lungo i bordi delle vasche e sui terrapieni è possibile osservare specie vegetali ormai rare nel resto della regione, *Sarcocornia fruticosa* (Linnaeus) Scott e *Arthrocnemum macrostachyum* (Morric.)Moris, specie alofite che formano la cintura di vegetazione a stretto contatto con l’acqua delle vasche, poiché tollerano salinità superiori a quella marina.



Fig. 9 - Vegetazione alofila degli argini di separazione delle vasche delle Saline di Tarquinia (*Sarcocornia europaea*) (Aprile 2009).

Dai pochi dati disponibili in letteratura (Iberite, 1992; Alfinito *et al.*, 1990), per la componente algale, le diatomee sono il gruppo predominante, con 89 taxa identificati, fino a salinità del 110 ‰; a salinità superiori, queste sono sostituite da Cianofitofite, con specie diffuse in acque dolci, salmastre e marine (Alfinito *et al.*, 1990). Inoltre, nelle vasche ad alta salinità è presente *Dunaliella salina*, in concentrazioni abbondanti nelle “Riserve” e nelle “Sezioni di Evaporazione I-II-III”, ed alla quale si deve la colorazione malva assunta dalle acque, dovuta all’alto contenuto di  $\beta$ -carotene (Iberite, 1992).

La comunità macrozoobentonica è costituita da specie tipiche di ambienti confinati e quindi tendenzialmente opportuniste (Nascetti *et al.*, 1998). Le principali variazioni nella struttura delle comunità bentoniche sono state osservate lungo un gradiente di confinamento orientato secondo l’asse maggiore della salina.

### 3.2 Il campionamento

Durante l’intervallo temporale che va da luglio 2008 a novembre 2009, sono stati effettuati campionamenti volti a mettere in evidenza la dinamica delle componenti fitoplanctoniche su diverse scale spazio-temporali. Sono state scelte quattro stazioni localizzate lungo l’asse principale nord-sud della Salina, seguendo il gradiente di salinità crescente dalle vasche prospicienti la Foce di Ponente a quelle più interne la Salina (Fig.10).

La Staz. 1 è collocata all’interno della zona detta “Sterro”, ed è posta nella vasca dove l’idrovora della Foce di Ponente immette acqua proveniente dal litorale adiacente, dove talvolta versa anche un canale circolatorio che convoglia acque dolci di scolo. Questa stazione rappresenta il punto di inizio del transetto che segue il gradiente di confinamento delle vasche.

La Staz. 2 si trova all’interno dell’area detta “Piscine”, ed è posta tra la Foce di Ponente (attualmente attiva) e la Foce di Levante

(disattivata). Essa si trova in posizione mediana sull'asse immaginario nord-sud, che attraversa la Salina. La scelta di questa stazione è stata dettata dall'esigenza di considerare un sito "tampono", dove si mitigassero gli effetti dovuti all'influenza marina, da un lato, e quelli dovuti ad un primo livello di confinamento, dall'altro.

La Staz. 3 è posta all'estremo meridionale del transetto, all'interno delle vasche servitrici. Queste vasche, durante l'attività produttiva della Salina, avevano la funzione di aumentare la densità dell'acqua, che fino a salinità di 180-190 ‰, tali da poter supportare, al bisogno, i bacini Salanti.

La Staz. 4 è posizionata all'interno di quella che un tempo era una vasca salante, sita nella zona detta delle "Riserve", dove, ad una salinità di 300 ‰, avveniva la cristallizzazione del cloruro di sodio.

I campionamenti, solo superficiali, considerata la scarsa profondità dei bacini, hanno avuto cadenza mensile; inoltre, nell'estate 2009, sono stati effettuati due cicli nictemerali (24 h), con campionamenti ogni quattro ore, eseguiti il 26/05/2009 ed il 12/07/2009, al fine di registrare la risposta dei popolamenti fitoplanctonici a brevi intervalli temporali. Ciascun campionamento ha contemplato il rilevamento dei dati fisico-chimici (salinità e temperatura) e la raccolta di volumi d'acqua dedicati all'isolamento della componente fitoplanctonica ed alla sua caratterizzazione: biomassa totale e frazionata e composizione dello spettro pigmentario per ciascuna frazione dimensionale. Durante i cicli nictemerali sono stati anche misurati ossigeno disciolto e pH.

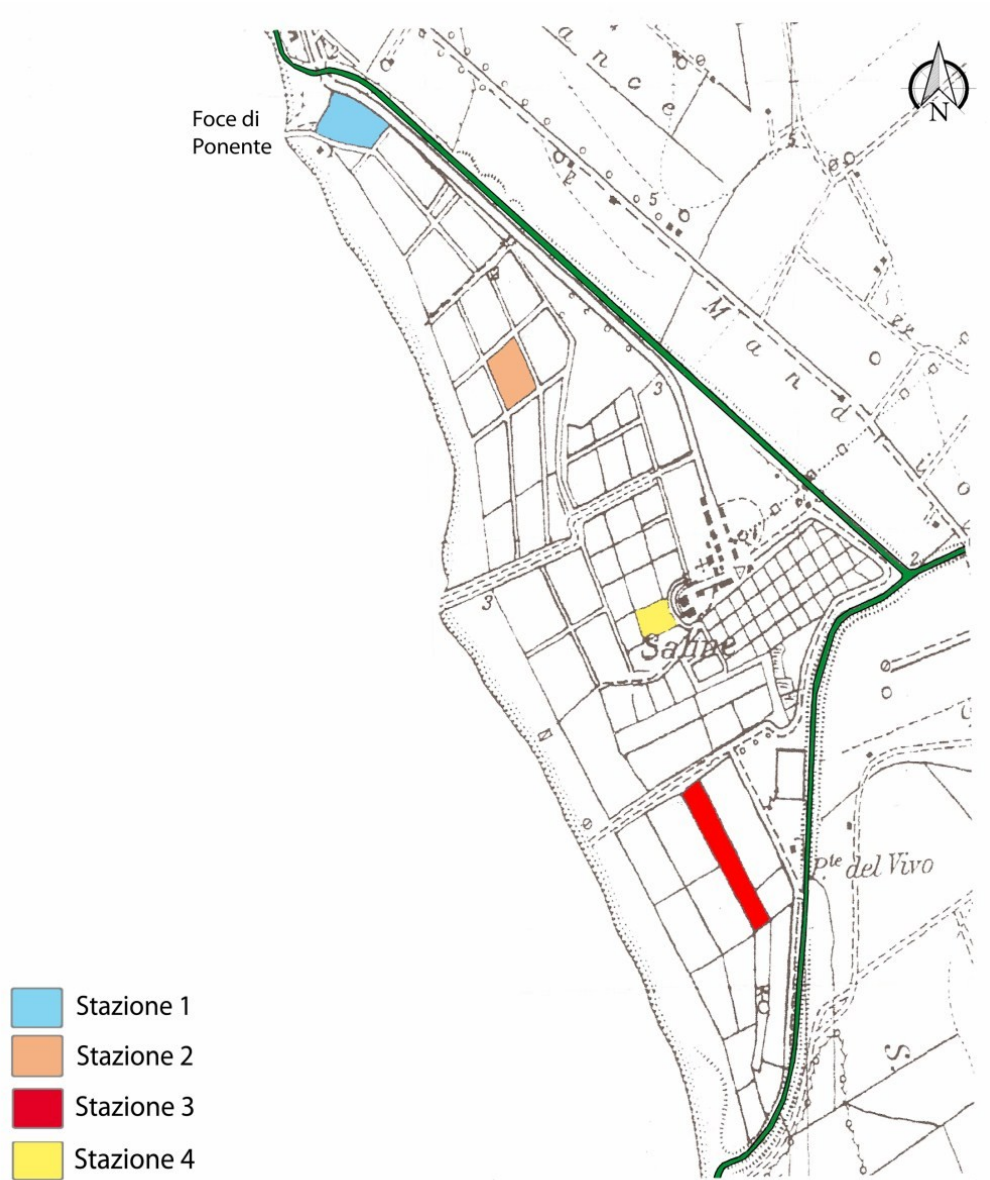


Fig. 10 - Le Saline di Tarquinia (IGM 1:25.000, modificata).



### 3.3 Metodiche di campo e di laboratorio

La letteratura sui sistemi di salina esprime la concentrazione dei sali con unità di misura diverse a seconda che si occupi di aspetti industriali o biologici ed ecologici. Nel presente lavoro riportiamo i valori di salinità in g/kg (‰), anche con lo scopo di facilitare la comparazione con i valori riportati nella maggior parte dei lavori recenti di carattere biologico ed ecologico.

I valori di salinità, temperatura, ossigeno e pH sono stati ottenuti mediante una sonda multiparametrica YSI 556 MPS.

Per la determinazione della biomassa fitoplanctonica totale e del relativo spettro pigmentario, sono stati raccolti volumi d'acqua di 5 litri. I campioni sono stati filtrati immediatamente su filtri di fibra di vetro *GFF Whatman* da Ø 25 mm di diametro (foro passante 0,8 µm, potere di ritenzione 0,45 µm), negli adiacenti laboratori messi a disposizione dall'Università degli Studi della Tuscia.

Per l'isolamento delle diverse frazioni dimensionali del fitoplancton, i campioni di acqua sono stati filtrati in modo sequenziale su un retino da fitoplancton con foro passante da 20 µm e successivamente su filtro di fibra di vetro *GFF Whatman* da Ø 25 mm di diametro (GFF < 20µm). Questa operazione consente di valutare il contributo della classe dimensionale compresa tra 20 e 0,45 µm. Per la valutazione della classe dimensionale pico-fitoplanctonica, i campioni di acqua di mare sono stati filtrati su membrane di policarbonato *Nuclepore* (Ø 47 mm) con foro passante di 2 µm e, successivamente, su filtri di fibra di vetro *GFF Whatman* da Ø 25 mm di diametro (GFF < 2 µm).

Il contributo delle differenti frazione dimensionali alla biomassa totale è stato calcolato secondo il seguente schema:

biomassa totale = (GFF Tot.)

micro-fitoplancton (> 20 µm) = (GFF Tot.) - (GFF < 20 µm);

nano-fitoplancton (20-2 µm) = (GFF < 20 µm) - (GFF <2 µm);

pico-fitoplancton (< 2 µm) = (GFF < 2 µm).

Le aliquote di campione da filtrare sono state decise di volta in volta in base alla colorazione del filtro e alla salinità riscontrata nelle vasche di campionamento. I campioni sono stati filtrati a bassa intensità di luce e con depressione non superiore a 0.5 atmosfere.

#### **a. Cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC)**

Il riconoscimento dei pigmenti fotosintetici contenuti nelle cellule è stato ottenuto con l'impiego della cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC= High Performance Liquid Chromatography).

I pigmenti sono stati estratti in 3 ml di metanolo al 100%, poi filtrati su filtri *GF/F WHATMAN* ( $\varnothing$  25 mm) e il volume recuperato è stato misurato con siringhe di precisione Hamilton. A 0.5 ml di estratto sono stati aggiunti, prima d'iniettare il campione, 0,25 ml di soluzione P (Ion-Pairing) e lasciati agire in frigorifero per 3 minuti. La soluzione P è costituita da una soluzione di acetato d'ammonio 1 N. Il campione è poi iniettato nello strumento in maniera che prima di raggiungere la colonna attraversi un *loop* di 200  $\mu$ l.

Va ricordato anche che durante tutte queste operazioni si lavora sempre a bassi livelli di luce per evitare che i pigmenti si alterino. La tecnica di analisi utilizzata è quella di Vidussi *et al.*, (1996).

Lo strumento utilizzato è un Hewlett Packard mod. 1100, costituito da:

- una pompa quaternaria con programmatori di gradienti  
Hewlett Packard
- un sistema di degasaggio dei solventi
- una colonna per cromatografia in fase inversa (MOS C8, 3  $\mu$ m, 100x4,6 mm, Sigma-Aldrich)
- un loop da 200  $\mu$ l

- uno spettrofotometro a diodi Hewlett Packard (DAD) settato a 440 nm per la determinazione delle clorofille e dei carotenoidi. Esso, infatti permette di determinare lo spettro di assorbimento che è specifico di ciascun pigmento nell'intervallo tra 350 e 750 nm
- uno spettrofluorimetro Hewlett Packard con lunghezze d'onda d'eccitazione a 410 nm e d'emissione tra 420 e 470 nm, che permette la determinazione delle clorofille e dei loro prodotti di degradazione.

Uno dei vantaggi più importanti di questa metodologia è la sua capacità di fornire, oltre ad un'analisi di tipo qualitativo, anche informazioni quantitative. Esiste, infatti, una correlazione tra le aree al di sotto dei picchi ottenuti e la quantità di pigmento presente nel campione.

La calibrazione dello strumento è stata eseguita secondo la procedura di Mantoura & Repeta (1997).

In tabella sono riportati i pigmenti diagnostici dei gruppi tassonomici. Fra i pigmenti indicatori delle classi algali, troviamo anche il  $\beta$ -carotene, che alla funzione di fotoprotettore associa quella di pigmento indicatore di *Dunaliella salina* (Estrada *et al.*, 2004)

Tab. V - Pigmenti indicatori dei gruppi tassonomici (da Jeffrey et al., 1997, modificata).

<b>Pigmento</b>	<b>Divisioni algali/Classi</b>
Peridinina	<i>Dinophyta</i>
Fucoxantina	<i>Bacillariophyta</i>
Alloxantina	<i>Cryptophyta</i>
Zeaxantina	<i>Cyanophyta</i>
Clorofilla b	<i>Chlorophyta</i>
B-carotene	<i>Dunaliella salina</i>

### **b. Spettrofluorimetria**

Le analisi spettro fluorimetriche per la determinazione della biomassa totale e frazionata sono state effettuate secondo Holm-Hansen *et al.* (1965), utilizzando uno spettrofluorimetro Spex mod. Fluoromax.

I pigmenti sono stati estratti in acetone al 90% neutralizzato con carbonato di magnesio e la fluorescenza dell'estratto è stata misurata prima e dopo acidificazione per ottenere, oltre alla frazione fotosinteticamente attiva (Chl *a*), anche quella inattiva (feopigmenti).

La curva di calibrazione è stata effettuata utilizzando una soluzione di Chl *a* pura estratta da *Anacystis nidulans*, della Sigma. Le lunghezze d'onda di eccitazione ed emissione sono state selezionate sulla base di un pre-scan (350-700) della stessa soluzione e sono risultate sempre di 432 e 668 nm rispettivamente.

# Capitolo IV

## Risultati

### 4.1 Ciclo stagionale

La Fig.11 riporta l'andamento stagionale della temperatura e della salinità nella Staz.1.

I valori medi di salinità e temperatura nell'arco stagionale sono rispettivamente di 38 ‰ e di 17 °C. I massimi e minimi ( $25 < \text{Salinità} < 46$ ;  $7 < \text{Temperatura} < 27$ ), risentono degli effetti di pratiche estemporanee di gestione idraulica (apertura/chiusura dell'idrovora) mirati al semplice mantenimento del livello idraulico della vasca. I valori minimi di salinità osservati a gennaio sono legati a precipitazioni di intensità eccezionale. I valori di salinità e di temperatura mostrano un andamento strettamente legato agli scambi con le acque marine.

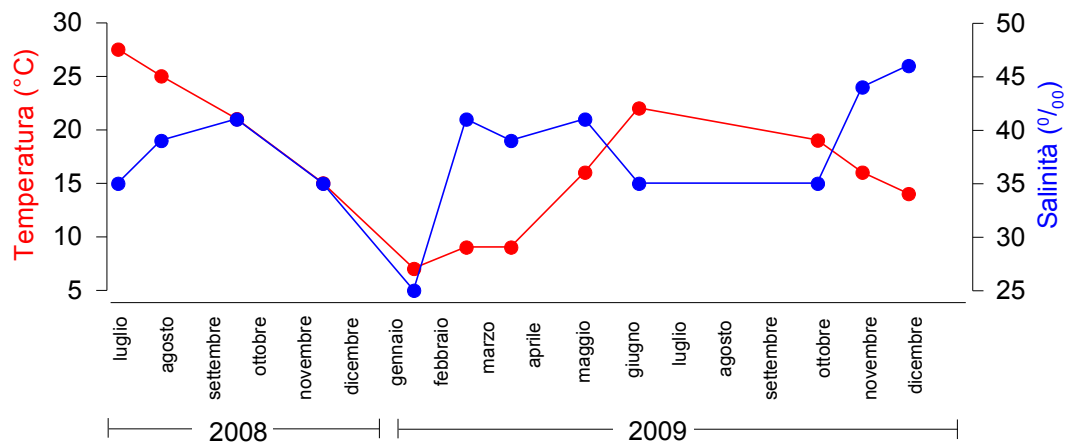


Fig.11 - Staz.1. Andamento della temperatura e della salinità.

La biomassa fitoplanctonica (Chl *a*) mostra valori medi di 1,36  $\mu\text{g/l}$ , con massimi ad inizio luglio 2008 (2,30  $\mu\text{g/l}$ ) e nella stagione autunnale del 2009, in particolare ad ottobre (2,87  $\mu\text{g/l}$ ). Il rapporto Feo/Chl *a* in media abbastanza elevato (1,02), mostra valori maggiori durante il 2008 (Fig.12).

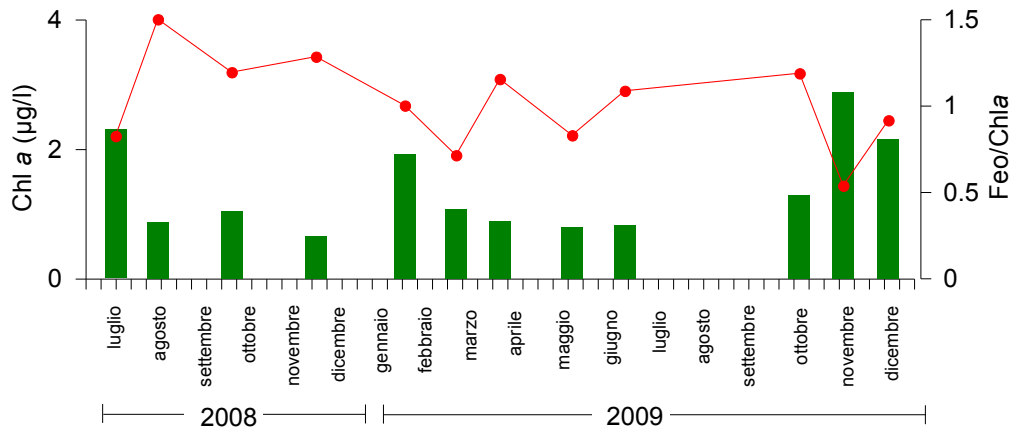


Fig.12 - Staz.1. Andamento temporale della biomassa fitoplanctonica (Chl *a* ■) e dell'indice di grazing (Feo/ Chl *a* —).

Le classi dimensionali (Fig.13) maggiormente rappresentate durante il periodo di campionamento sono quella nanoplanctonica (20-2  $\mu\text{m}$ ) con una percentuale media del 48% e quella picoplanctonica (<2  $\mu\text{m}$ ) con il 35%, segue poi quella microplanctonica (>20  $\mu\text{m}$ ) con una percentuale media del 17%.

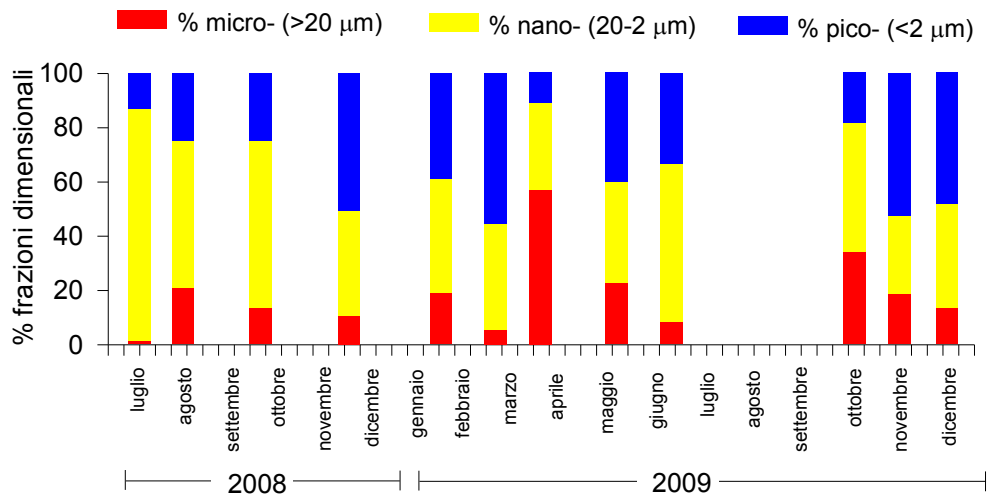


Fig.13 - Staz.1. Andamento temporale della percentuale delle frazioni dimensionali.

Analizzando l'andamento delle concentrazioni delle singole frazioni dimensionali si evidenzia in modo più chiaro la variabilità stagionale.

La frazione picoplanctonica presenta massime concentrazioni nell'autunno 2009, in particolare ad ottobre 2009 (1,51 µg/l), insieme alla frazione microplanctonica (0,53 µg/l). Mentre le concentrazioni minime sono state registrate per il picoplancton a marzo 2009 (0,10 µg/l) e per il microplancton a febbraio 2009 (0,06 µg/l) (Fig.14).

La frazione nanoplanctonica invece, dopo un picco massimo a luglio 2008, si mantiene più o meno stabile mostrando un aumento di biomassa nell'autunno 2009.

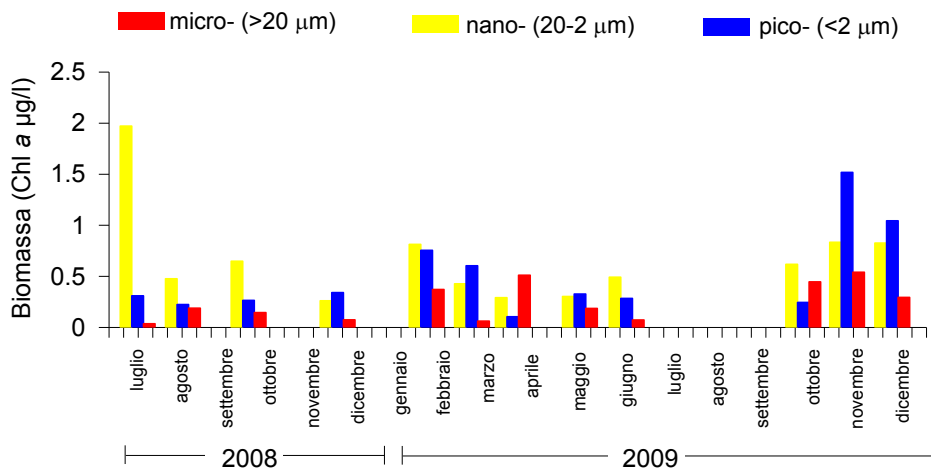


Fig.14 - Staz.1. Andamento temporale della biomassa delle frazioni dimensionali.

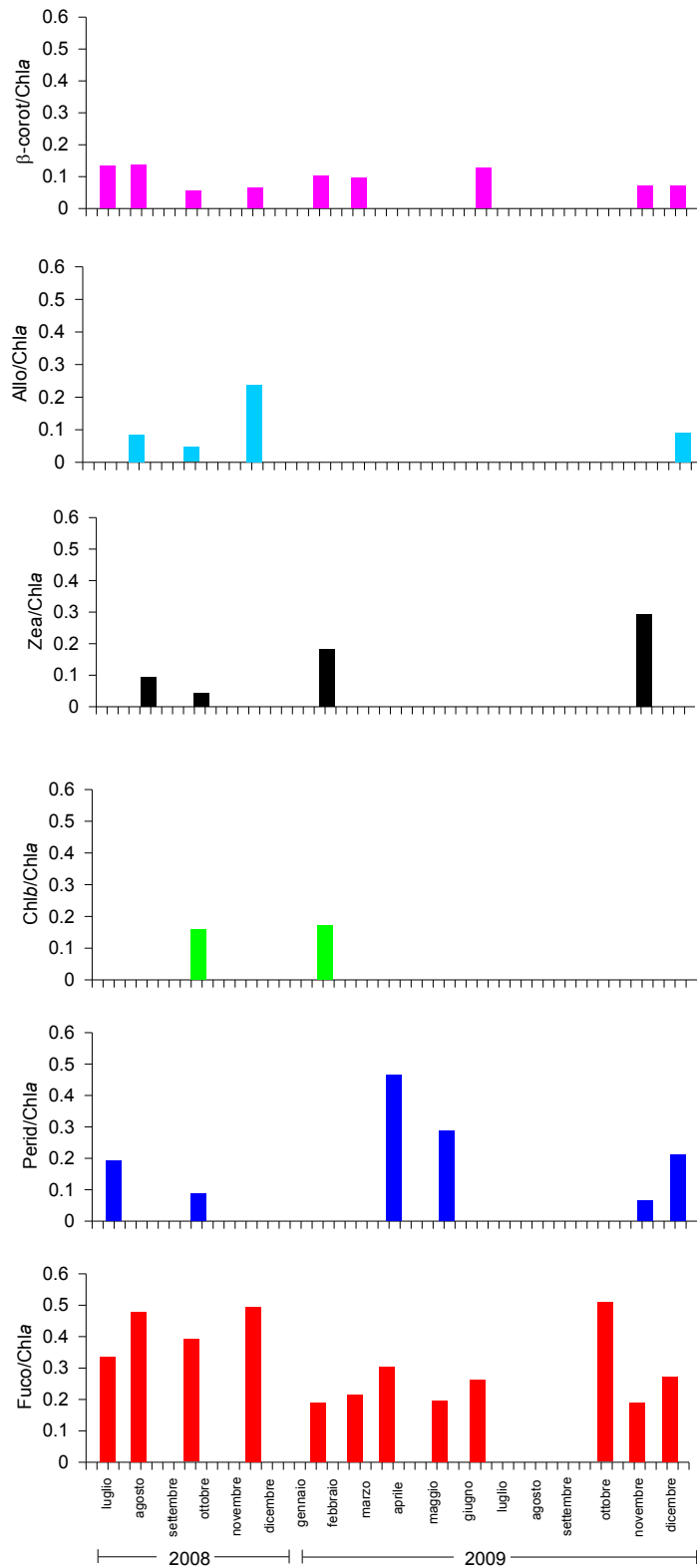


Fig.15 Staz.1. Andamento temporale dei pigmenti indicatori tassonomici: Fuco/Chl  $\alpha$  (Diatomee); Peri/Chl  $\alpha$  (Dinoflagellati); Chl  $b$ /Chl  $\alpha$  (Cloroficee); Zea/Chl  $\alpha$  (Cianobatteri); Allo/Chl  $\alpha$  (Criptoficee);  $\beta$ -carotene/Chl  $\alpha$  (*Dunaliella salina* e/o fotoprotezione).



La composizione pigmentaria (Fig.15) è caratterizzata dalla costante presenza di fucoxantina (**Diatomee**), i cui valori mostrano un andamento variabile durante l'intero intervallo di campionamento, con picchi massimi a luglio 2008 (0,478), novembre 2008 (0,494) e settembre 2009 (0,507) e il minimo a gennaio 2009 (0,189).

La peridina (**Dinoflagellati**) è presente soltanto in alcuni periodi stagionali, la massima concentrazione (0,465) è stata osservata nel marzo 2009. La zeaxantina (**Cianobateri**) e la Chl b (**Cloroficee**) sono anche esse sporadicamente presenti; la presenza di Chl b è stata rilevata solo nei campioni di settembre 2008 e gennaio 2009; proprio come l'alloxantina (**Criptoficee**), che è presente in alcuni mesi all'inizio del ciclo di campionamento per essere nuovamente rinvenuta poi al termine di questo nell'ottobre 2009. Il  $\beta$ -carotene (pigmento fotoprotettore e indicatore specifico della cloroficea *Dunaliella salina*), presente quasi costantemente durante l'intervallo di campionamento con concentrazione in media pari a 0,07, ha i suoi massimi nell'estate 2008 e 2009 e a gennaio 2009.

Nella Fig.16 notiamo come il  $\beta$ -carotene abbia un andamento simile a quello della biomassa totale.

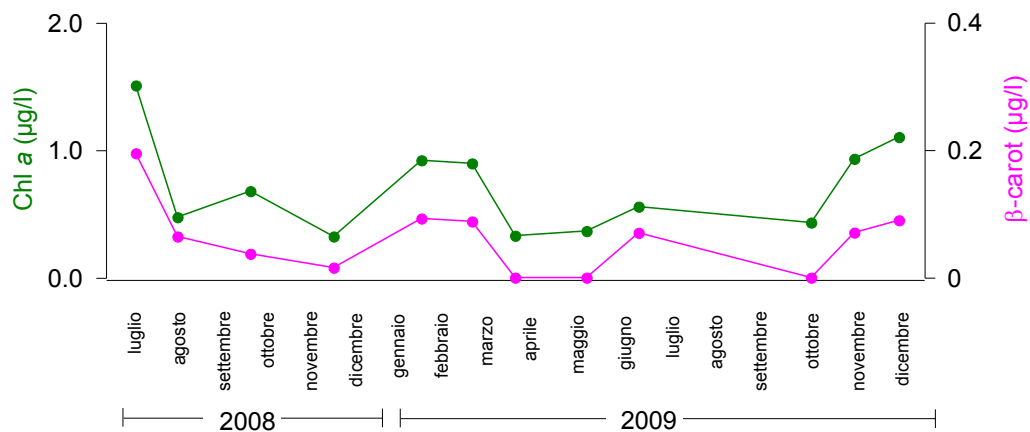


Fig. 16 - Staz.1. Andamento della concentrazione di  $\beta$ -carotene e della Chl a totale.

La Fig.17 riporta l'andamento stagionale dei valori di salinità e temperatura per la Staz. 2.

La salinità diminuisce gradatamente a partire da settembre 2008, raggiunge i valori minimi nel periodo marzo-giugno, per risalire rapidamente sino ai valori massimi di novembre-dicembre 2009 (Fig.17).

I valori di temperatura mostrano massimi durante l'estate del 2008, minimi a febbraio e marzo 2009. Il valore medio dei due parametri è rispettivamente di 44 ‰ e 18°C. Gli andamenti dei due parametri, non sempre coerenti con le variazioni climatiche stagionali, confermano ancora una volta l'importanza di interventi idraulici sull'idrologia naturale dell'ambiente.

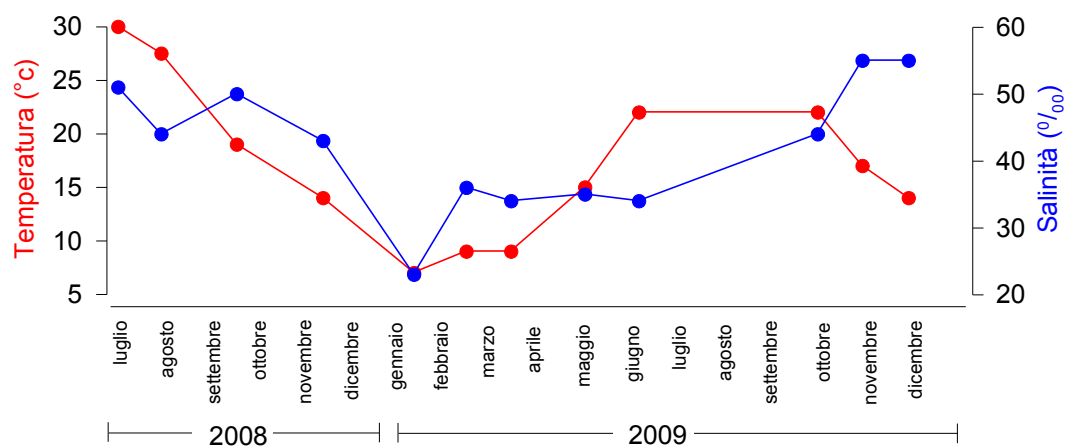


Fig.17 - Staz. 2. Andamento della temperatura e della salinità.

L'andamento della biomassa fitoplanctonica mostra valori medi non molto elevati per un ambiente confinato: il valore medio è di circa 2,09 µg/l, con un massimo registrato a inizio luglio 2008 (5,34 µg/l) ed i minimi registrati ad aprile e settembre 2009 (0,89-0,64 µg/l).

Il rapporto Feo/Chl  $\alpha$  mostra un valor medio non particolarmente elevato (0,59), con il massimo registrato a fine aprile 2009 di 1,34.

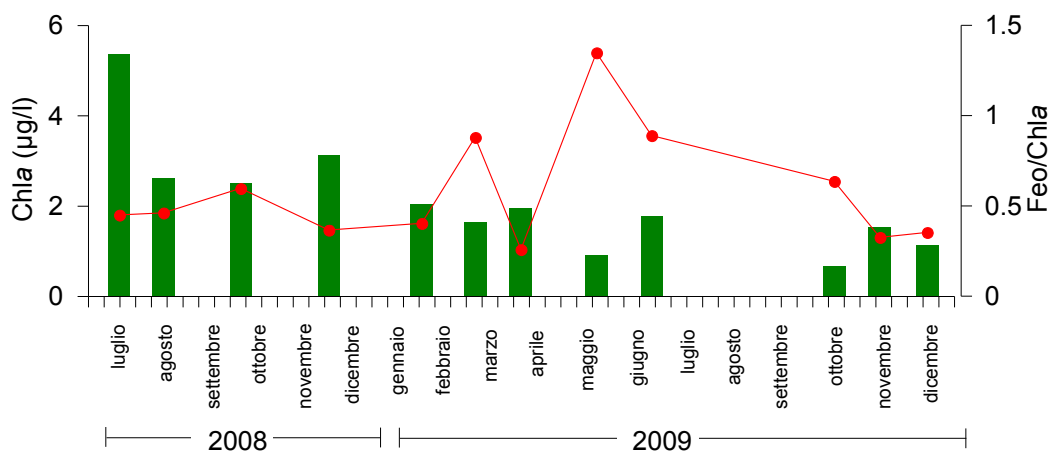


Fig.18 - Staz. 2. Andamento temporale della biomassa fitoplanctonica (Chl a) e dell'indice di grazing (Feo/Chl a).

Le classi dimensionali maggiormente rappresentate sono quella microplanctonica e nanoplanctonica con una media percentuale rispettivamente del 38% e 39%, segue poi quella picoplanctonica con una percentuale media del 23%. La loro distribuzione, inoltre, mette in evidenza una sorta di vicarianza tra le frazioni micro- e pico-: infatti, quando la percentuale della frazione micro- è minore, la percentuale di pico- aumenta e viceversa; la frazione nano-, invece, è omogeneamente distribuita durante l'intervallo di campionamento, fatta eccezione per quello di giugno 2009 quando è estremamente ridotta (Fig.19).

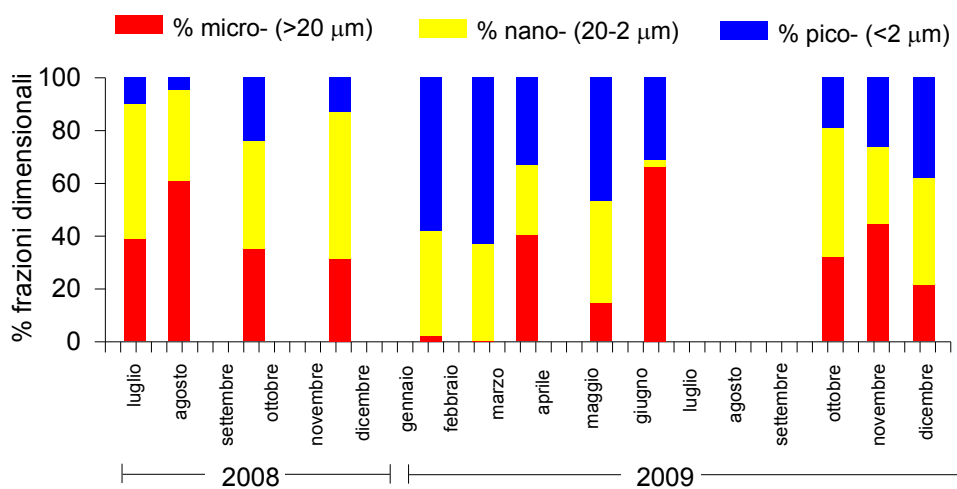


Fig.19 - Staz. 2. Andamento temporale della percentuale delle frazioni dimensionali.

La frazione microplanctonica presenta massime concentrazioni nella stagione estiva del 2008, nei due campionamenti di luglio, quando le concentrazioni clorofilliane sono pari rispettivamente a 2,08  $\mu\text{g/l}$  e 1,58  $\mu\text{g/l}$ , il minimo è a febbraio 2009.

La frazione nanoplanctonica presenta, a sua volta, il picco massimo a luglio 2008 con una concentrazione pari a 2,72  $\mu\text{g/l}$  ed il minimo a giugno 2009 con una concentrazione pari a 0,05  $\mu\text{g/l}$ . La frazione picoplanctonica presenta massime concentrazioni in febbraio e marzo 2009, rispettivamente di 1,03  $\mu\text{g/l}$  e di 0,65  $\mu\text{g/l}$ , mentre le concentrazioni minime, con valori di 0,12  $\mu\text{g/l}$ , sono state registrate a luglio 2008 e settembre 2009 (Fig.20).

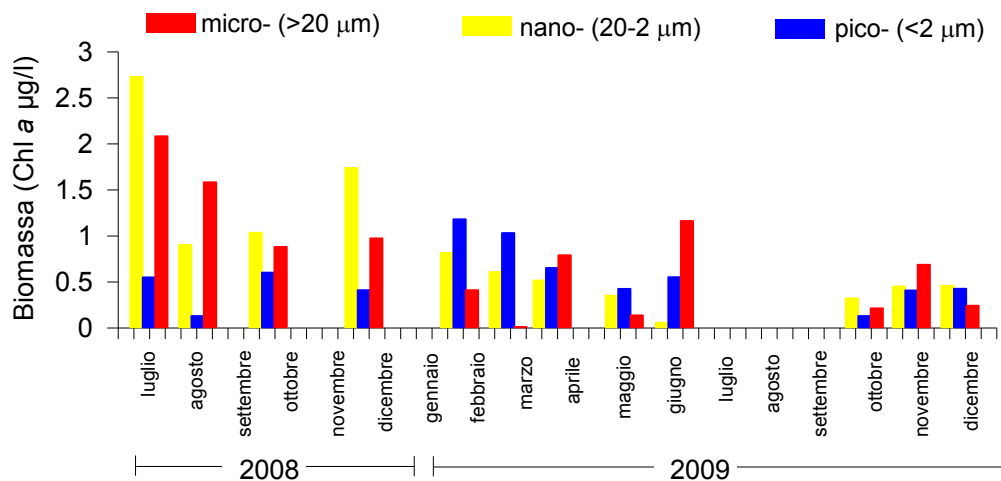


Fig.20 - Staz. 2. Andamento temporale della biomassa delle frazioni dimensionali.

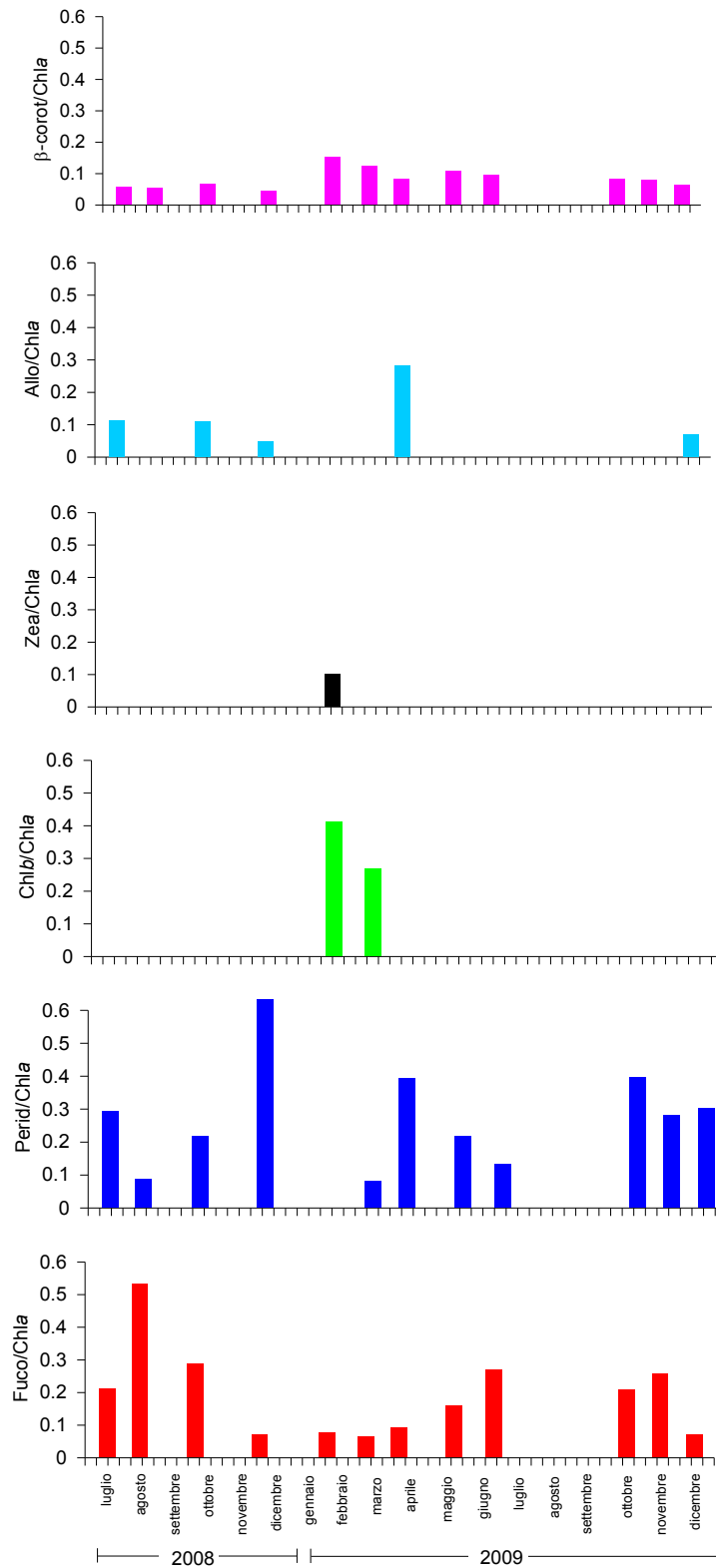


Fig.21 - Staz.2 Andamento temporale dei pigmenti indicatori tassonomici: Fuco/Chl a (Diatomee); Peri/Chl a (Dinoflagellati); Chl b/Chl a (Clorofcee); Zea/Chl a (Cianobatteri); Allo/Chl a (Criptofcee);  $\beta$ -carotene/Chl a (*Dunaliella salina* e/o fotoprotezione).

La composizione pigmentaria del popolamento fitoplanctonico (Fig.21) è caratterizzata da una costante presenza di fucoxantina (**Diatomee**) e peridininina (**Dinoflagellati**). La fucoxantina mostra un massimo a fine luglio 2008, mentre la peridininina ha il massimo a novembre 2009.

La Chl *b* (**Cloroficee**) è presente nei campionamenti di febbraio e marzo 2009, mentre la zeaxantina (**Cianoficee**) è presente unicamente a febbraio 2009. Presenza sporadica di alloxantina. Il  $\beta$ -carotene è presente costantemente a basse concentrazioni (0,08) durante l'intero ciclo di campionamento.

In Fig. 22, fucoxantina e peridininina mostrano un andamento temporale inverso fatta eccezione per i campionamenti di gennaio e febbraio 2009, effettuati sul finire del lungo periodo di eccezionali precipitazioni.

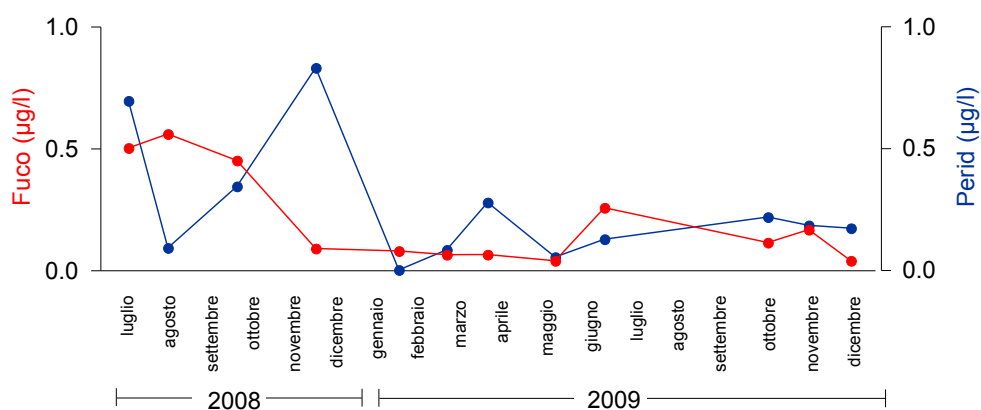


Fig.22 - Staz. 2. Andamento temporale delle concentrazioni di fucoxantina e peridininina.

In Fig. 23, il  $\beta$ -carotene è correlato positivamente ai valori di biomassa, fatta eccezione per i campionamenti di gennaio e febbraio 2009.

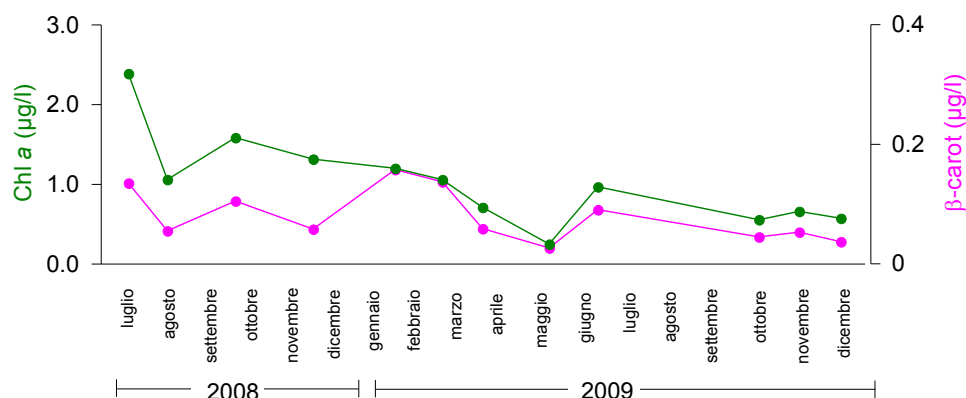


Fig. 23 - Staz.2. Andamento della concentrazione di  $\beta$ -carotene e della Chl  $a$  totale.

Nella Staz. 3, il valore medio della temperatura è di 17°C, mentre quello della salinità è di 66‰. L'andamento del ciclo è riportato in Fig. 24.

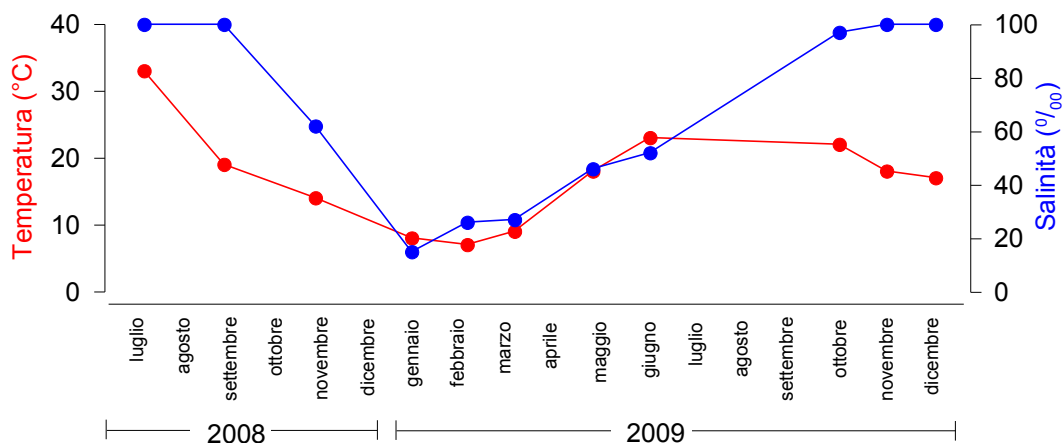


Fig.24 - Staz. 3. Andamento della temperatura e della salinità.

La biomassa fitoplanctonica mostra valori elevati: il valore medio è di circa 14,95 µg/l, con un massimo a novembre 2009 (48,75 µg/l) ed i minimi a marzo e aprile 2009 rispettivamente di 0,60 µg/l e 1,33 µg/l. Il rapporto Feo/Chl  $a$  è mediamente basso, con un valore medio di 0,48, mostra i massimi valori in marzo(0,85) ed aprile(0,91) (Fig.25).

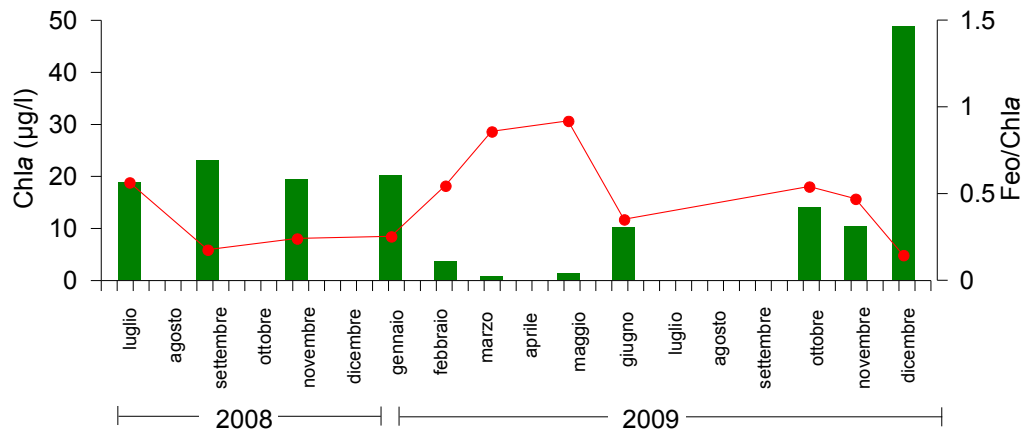


Fig. 25 - Staz. 3. Andamento temporale della biomassa fitoplanctonica (Chl a) e dell'indice di grazing (Feo/Chl a).

In Fig.26 sono rappresentate le percentuali delle frazioni fitoplanctoniche. Le frazioni maggiormente rappresentate sono quella nanoplantonica con una media del 69%, segue poi la picoplantonica con 23% e poi la microplantonica con 8%.

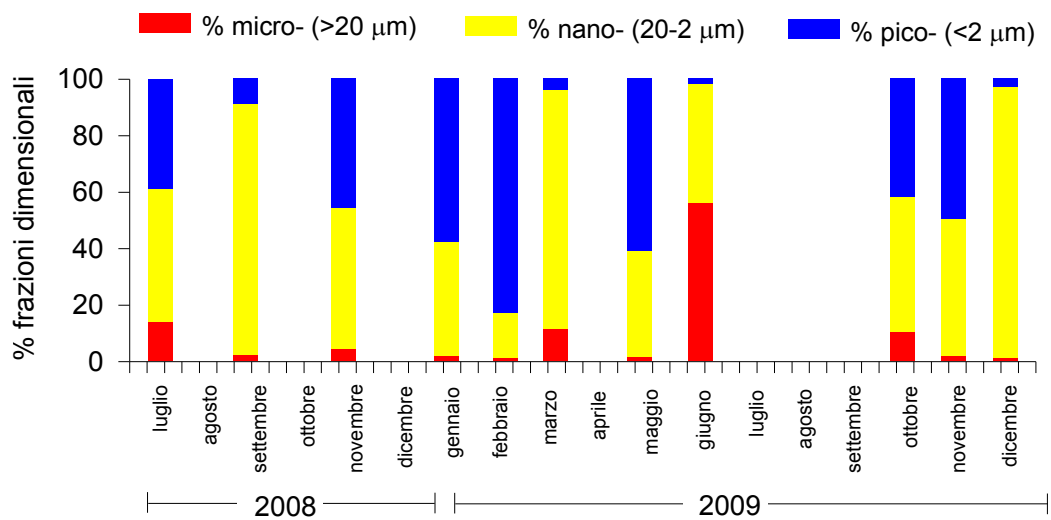


Fig. 26 - Staz. 3. Andamento temporale della percentuale delle frazioni dimensionali.



La frazione microplanctonica ha il picco massimo di concentrazione a giugno 2009 (5,61  $\mu\text{g/l}$ ) e la frazione nanoplanctonica mostra massime concentrazioni nei due periodi autunnali, a settembre 2008 (20,35  $\mu\text{g/l}$ ) e a novembre 2009 con una concentrazione di 46,75  $\mu\text{g/l}$ . Mentre il picoplancton ha il suo massimo a novembre 2009 con una concentrazione di 8,82  $\mu\text{g/l}$ .

I valori minimi di tutte le frazioni di taglia considerate sono relativi al periodo in cui la salina è stata interessata dalle frequenti piogge, ovvero ai mesi di febbraio-marzo-aprile 2009 (Fig.27).

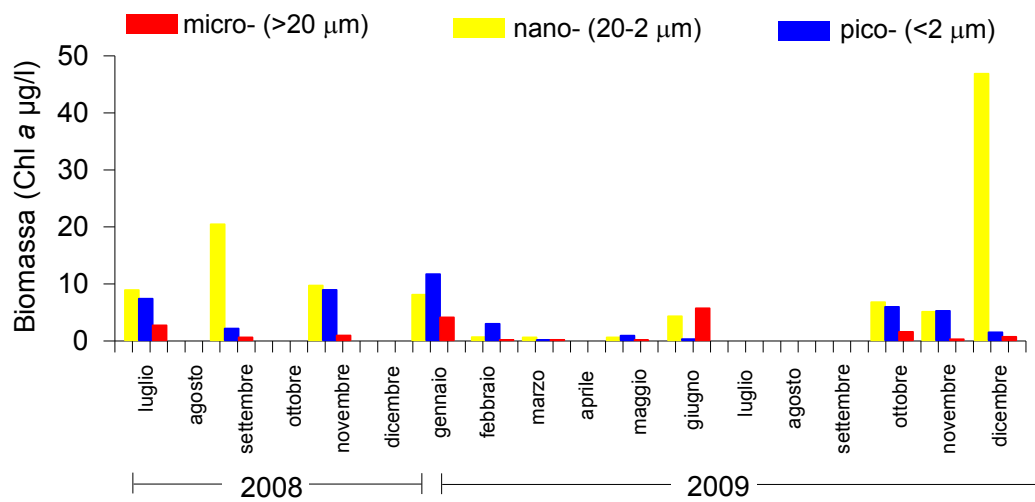


Fig.27 - Staz. 3. Andamento temporale della biomassa delle frazioni dimensionali.

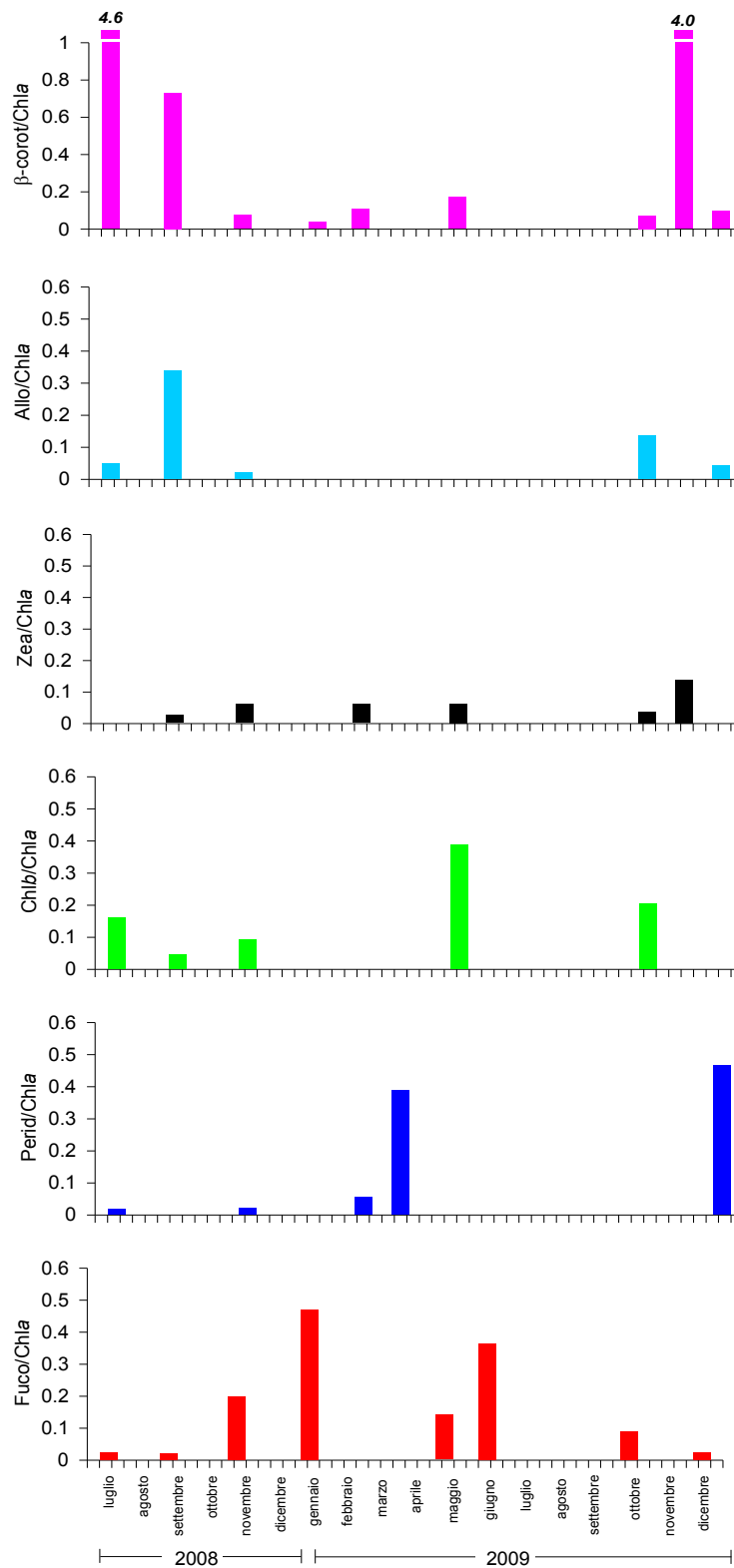


Fig. 28 - Staz.3. Andamento temporale dei pigmenti indicatori tassonomici: Fuco/Chl a (Diatomee); Peri/Chl a (Dinoflagellati); Chl b/Chl a (Cloroficee); Zea/Chl a (Cianobatteri); Allo/Chl a (Criptoficee); β-carotene/Chl a (*Dunaliella salina* e/o fotoprotezione).

Il popolamento fitoplanctonico della Staz. 3 è caratterizzato dalla presenza di zeaxantina (**Cianobatteri**), fucoxantina (**Diatomee**) e peridinina (**Dinoflagellati**) che rappresentano i gruppi dominanti in periodi diversi il ciclo di campionamento. Da notare l'elevata concentrazione di fucoxantina e peridinina soprattutto quando non sono presenti altri pigmenti: in gennaio 2009, per le **Diatomee** e in marzo-novembre 2009, per i **Dinoflagellati**.

Chl *b* (**Cloroficee**) e alloxantina (**Criptoficee**), sono presenti sporadicamente, ed assenti per tutto il periodo alluvionale; mentre il  $\beta$ -carotene, presente durante tutto l'intervallo di campionamento, mostra il massimo valore a luglio 2008.

Nella Fig.29 è rappresentato l'andamento stagionale di peridinina e fucoxantina.

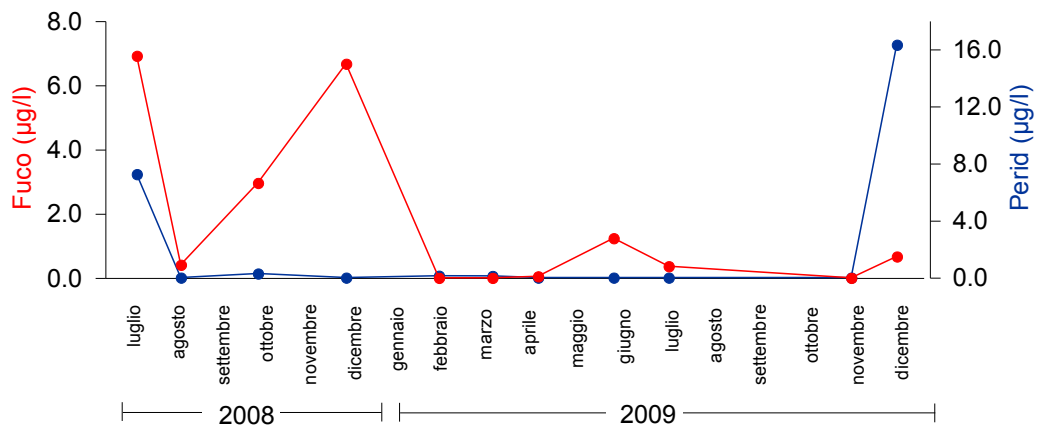


Fig.29 - Staz. 3. Andamento temporale delle concentrazioni di fucoxantina e peridinina.

La Fig.30 mostra l'andamento del  $\beta$ -carotene in rapporto alla biomassa totale, il valore massimo è relativo al campionamento di luglio 2008 (1380  $\mu\text{g/l}$ ), anche ad ottobre 2009 si osserva un valore abbastanza elevato (33  $\mu\text{g/l}$ ). La concentrazione media è di 130  $\mu\text{g/l}$ .

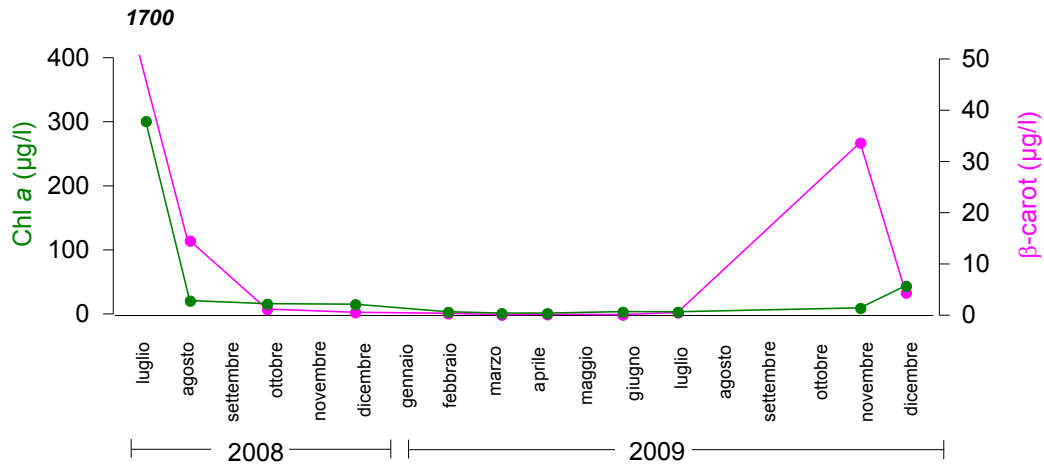


Fig.30 - Staz.3. Andamento della concentrazione di  $\beta$ -carotene e di Chl  $a$  totale.

Il valore medio di temperatura registrato nella Staz. 4 è di 19°C. con massimi durante le stagioni estive del 2008 e del 2009, mentre i valori minimi sono stati registrati nell'inverno 2009, durante i campionamenti di febbraio e marzo. Per quanto concerne la salinità, il cui valore medio è di 78‰, in Fig.31 è mostrata la sua variazione repentina a partire da novembre 2008, in coincidenza con l'evento alluvionale, e culmina nel valore minimo di febbraio 2009 (6). Nei mesi successivi, si ha una però un riaggiustamento del livello di salinità sui valori medi annuali.

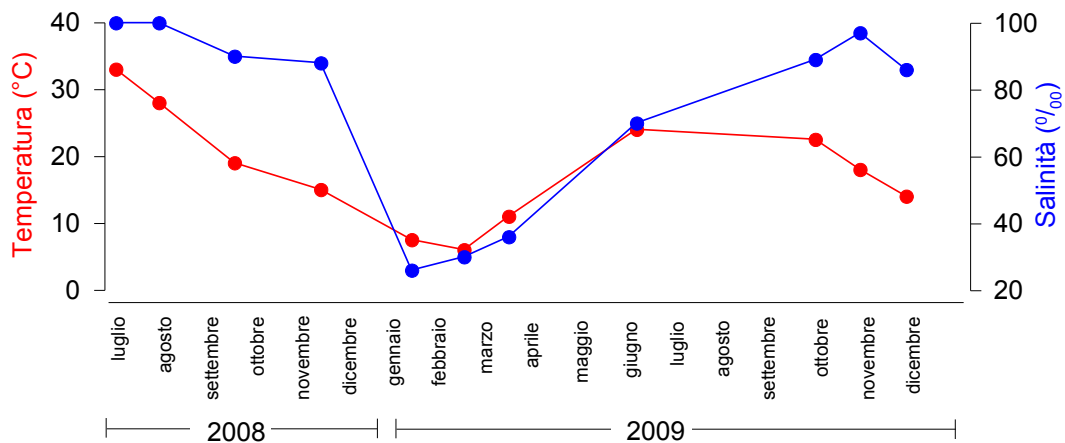


Fig.31 - Staz. 4. Andamento della temperatura e della salinità.

La biomassa fitoplanctonica mostra valori elevati: il valore medio è di circa 19,5 µg/l, con un massimo a novembre 2009 (49,3 µg/l) ed i minimi a marzo e giugno 2009 rispettivamente di 2,7 µg/l e 3,4 µg/l. Il rapporto Feo/Chl *a* mostra un valor medio di 0,6 con picco massimo di 1,41 in corrispondenza di giugno 2009.

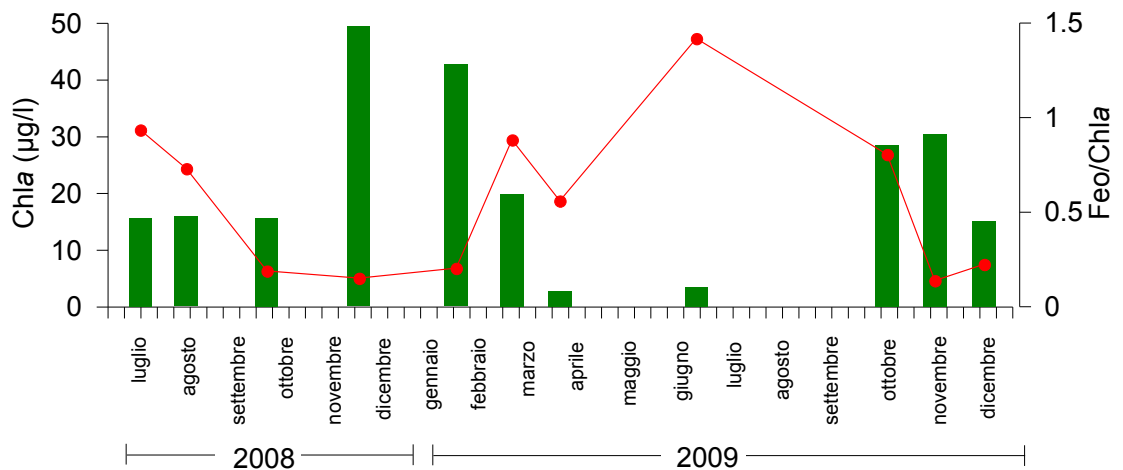


Fig.32 - Staz. 4. Andamento temporale della biomassa fitoplanctonica (Chl *a*) e dell'indice di grazing (Feo/Chl *a*).

Le frazioni dimensionali maggiormente rappresentate sono quella nanoplanctonica con una presenza media del 73%, segue poi quella picoplanctonica con 17% e poi la microplanctonica con 10% (Fig.33).

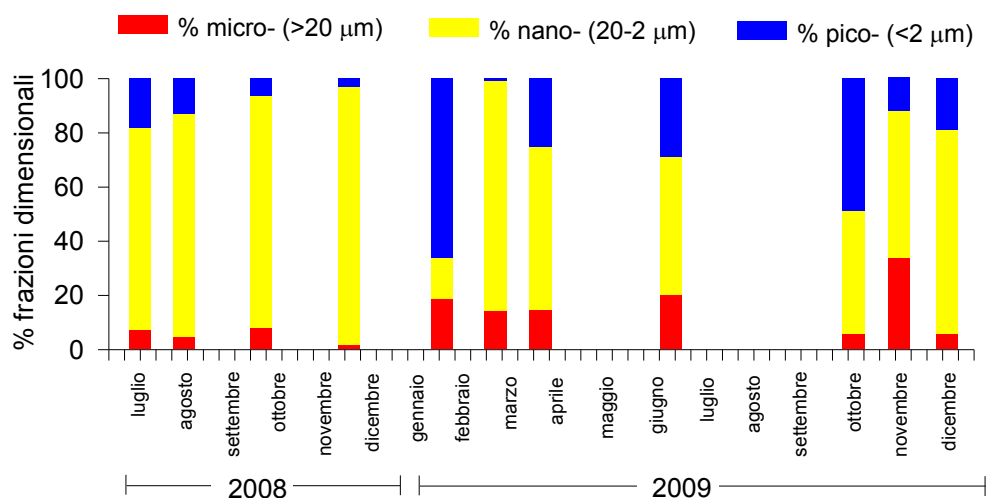


Fig.33 - Staz. 4. Andamento temporale della percentuale delle frazioni dimensionali.

La frazione microplanctonica presenta una concentrazione massima a ottobre 2009 (10,19  $\mu\text{g/l}$ ), sebbene si mantenga mediamente bassa durante l'intero periodo di campionamento. La frazione nanoplanctonica, mostra un massimo a novembre 2008 (47,06  $\mu\text{g/l}$ ), mentre il picoplancton ha un massimo a gennaio 2009 e a settembre 2009.

I valori minimi di tutte le frazioni sono osservati a marzo 2009 e a giugno 2009 (nel mese di aprile 2009 non è stato possibile effettuare il campionamento poiché la vasca era completamente prosciugata) (Fig.34).

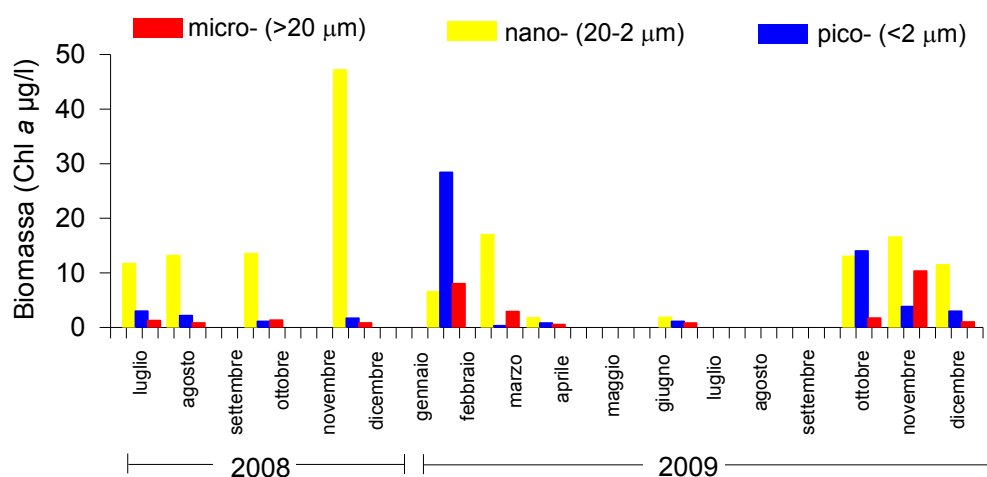


Fig. 34 - Staz. 4. Andamento temporale della biomassa delle frazioni dimensionali.

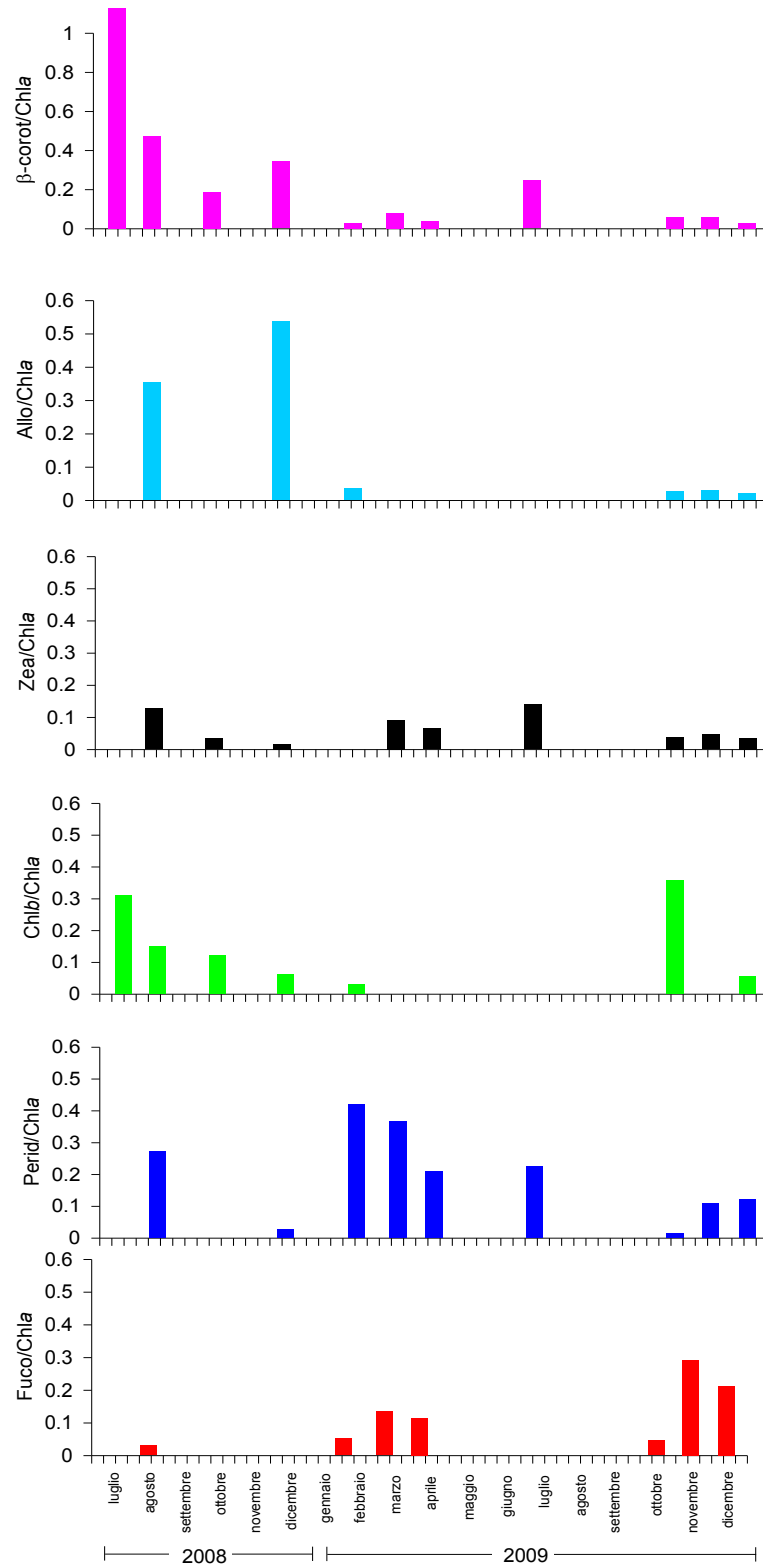


Fig.35 - Staz.4. Andamento temporale dei pigmenti indicatori tassonomici: Fuco/Chl *a* (Diatomee); Peri/Chl *a* (Dinoflagellati); Chl *b*/Chl *a* (Cloroficee); Zea/Chl *a* (Cianobatteri); Allo/Chl *a* (Criptoficee); β-carotene/Chl *a* (*Dunaliella salina* e/o fotoprotezione).

Il popolamento fitoplanctonico della Staz. 4 è caratterizzato dalla presenza di zeaxantina (**Cianobatteri**), fucoxantina (**Diatomee**) e peridinina (**Dinoflagellati**). La Chl *b* (**Cloroficee**) è presente con un andamento decrescente sino a febbraio 2009, successivamente scompare per ricomparire con la massima concentrazione, a settembre 2009 (4,13  $\mu\text{g/l}$ ); l'alloxantina (**Criptomicee**), ha il picco di concentrazione a novembre 2008 (17,46  $\mu\text{g/l}$ ); il  $\beta$ -carotene è presente durante tutto l'intervallo di campionamento con una concentrazione media pari a 0,22  $\mu\text{g/l}$ . e mostra il massimo a luglio 2008 (1,12  $\mu\text{g/l}$ ) (Fig.35).

La peridinina e la fucoxantina hanno un andamento simile sino a gennaio 2009, con una predominanza della peridinina sulla fucoxantina; da settembre 2009 in poi si ha invece una predominanza della fucoxantina sulla peridinina.

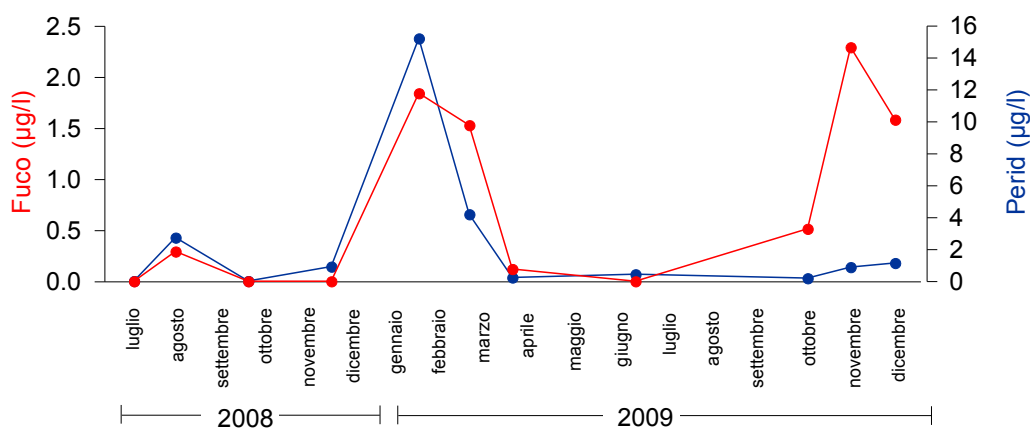


Fig. 36 - Staz. 4. Andamento temporale delle concentrazioni di fucoxantina e peridinina.

Il  $\beta$ -carotene ha un andamento correlato con quello della biomassa fitoplanctonica totale, fatta eccezione del campionamento di gennaio 2009 e del campionamento di luglio 2008. In questo ultimo campionamento, il rapporto  $\beta$ -carotene/ Chl *a* è di 1,12.



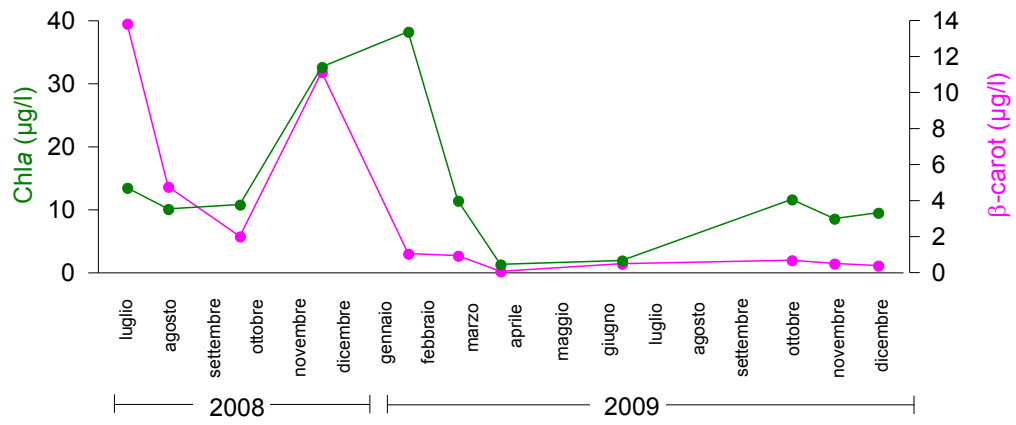


Fig. 37 - Staz.4. Andamento della concentrazione di  $\beta$ -carotene e di Chl *a* totale.

## 4.2 Cicli circadiani

### a. Primo ciclo - 26/05/2010

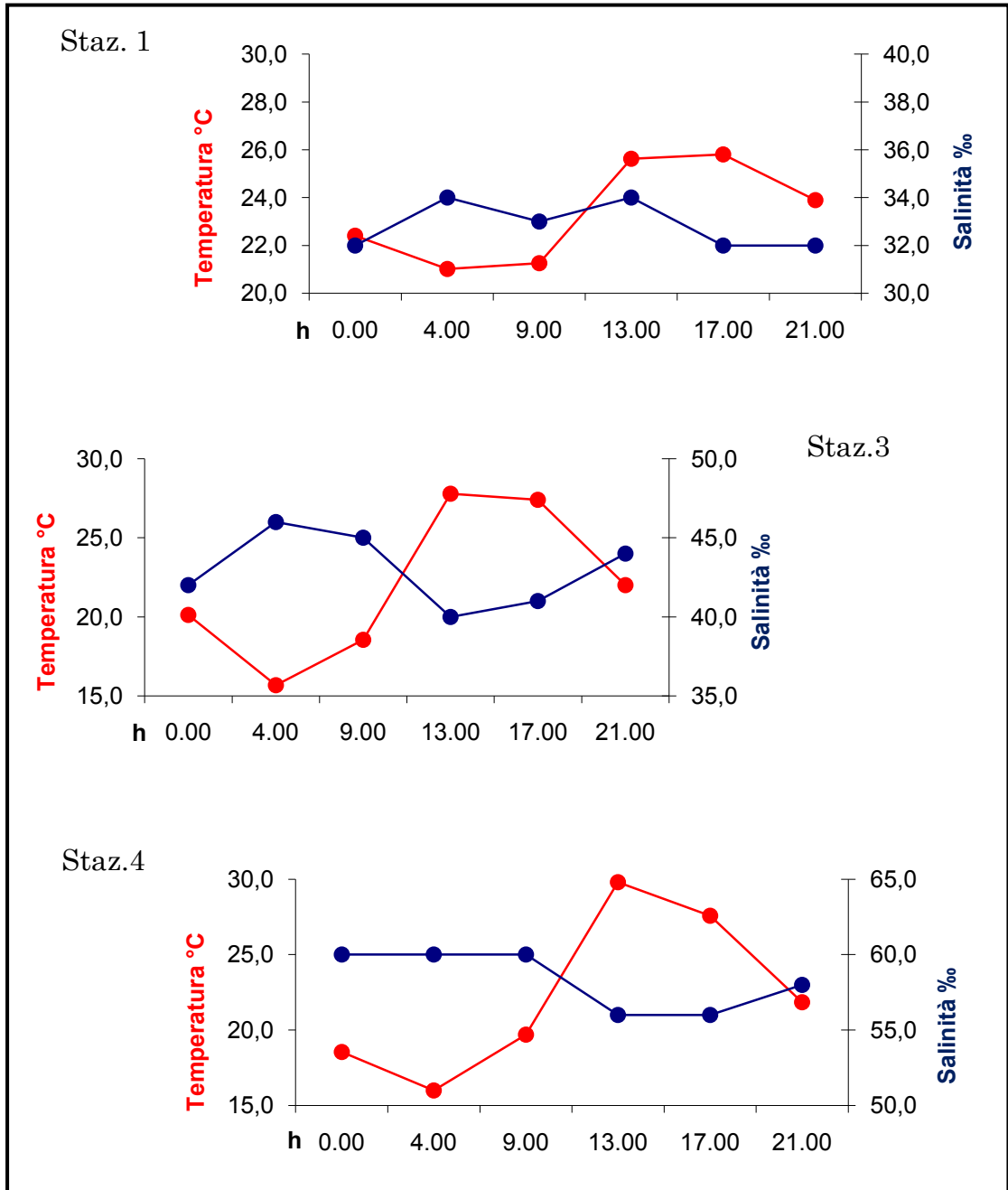


Fig.38 - Andamento della temperatura e della salinità.

La Fig.38 riporta l'andamento di temperatura e salinità.

Le variazioni di salinità mostrano variazioni significative, sebbene non possano intervenire variazioni altrettanto significative nei processi di evaporazione e diluizione; ciò suggerisce che spostamenti d'acqua tra i vari settori di ciascuna vasca possano essere gli agenti causali, considerata sia la variabilità della direzione e dell'intensità del vento che la suscettibilità dei corpi laminari nei riguardi della sua azione. La temperatura dell'acqua segue fedelmente il ritmo circadiano di quello dell'aria.

La Fig.39 illustra i valori percentuali medi delle frazioni dimensionali per ciascuna frazione. Si nota nella Staz. 1 la prevalenza della taglia nanoplanctonica così come nella Staz. 3; nella Staz. 4 si ha il prevalere della taglia microplanctonica, seguita dalla nano-; la percentuale della frazione pico- molto ridotta, si mantiene costante.

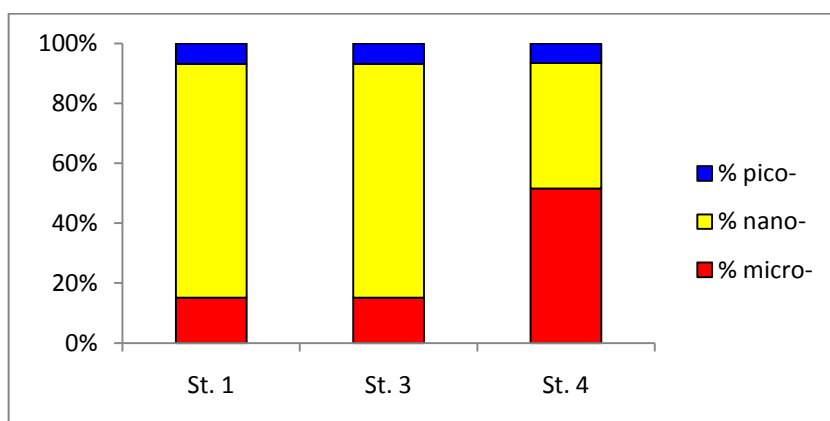


Fig.39 - Valori percentuali medi delle tre frazioni dimensionali.

La Fig.40 mostra l'andamento della percentuale del rapporto dei pigmenti fotoprotettori sul totale dei pigmenti nelle tre stazioni di campionamento. Si nota come vi è un sensibile aumento di questi nelle Staz. 1 e nella Staz. 3 nelle ore di maggiore intensità luminosa, mentre nella Staz. 4 questa variazione è meno sentita.

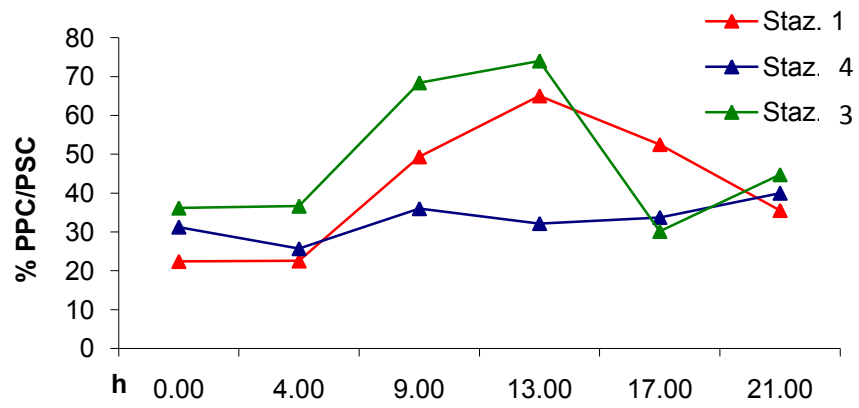


Fig.40 - Andamento della percentuale del rapporto dei pigmenti fotoprotettori (PPC= PhotoProtective Carotenoids) sui pigmenti totali (PSC=PhotoSynthetic Carotenoids).

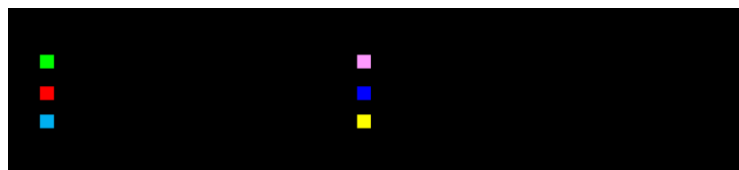
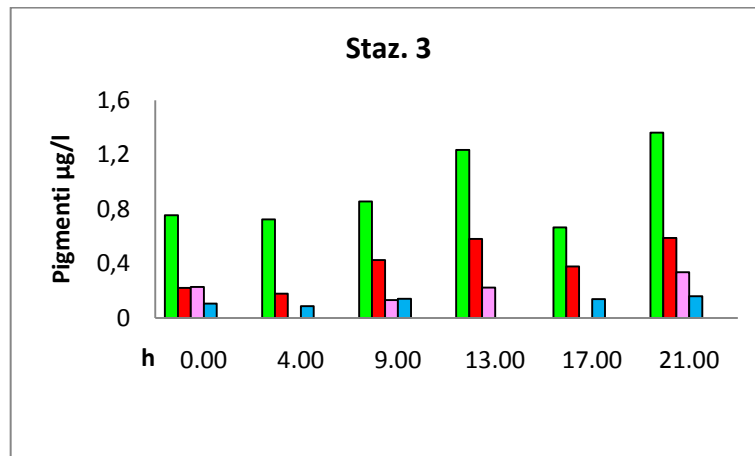
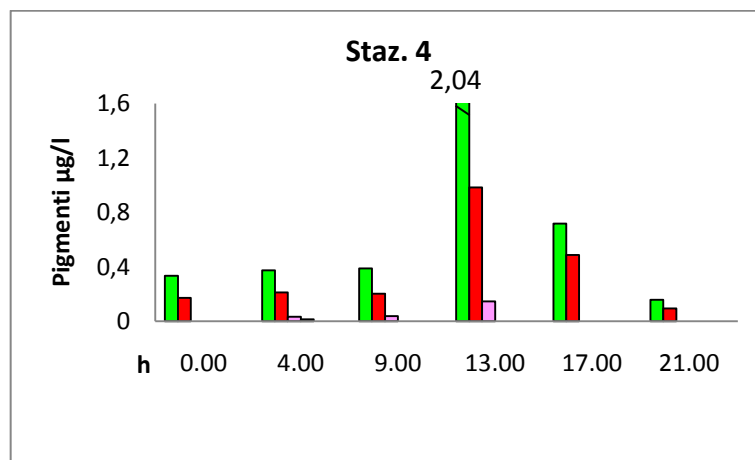
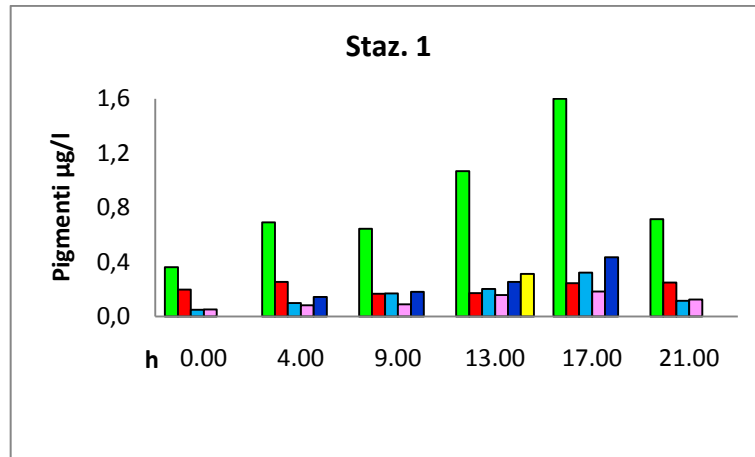


Fig.41 - Andamento dei pigmenti indicatori tassonomici.

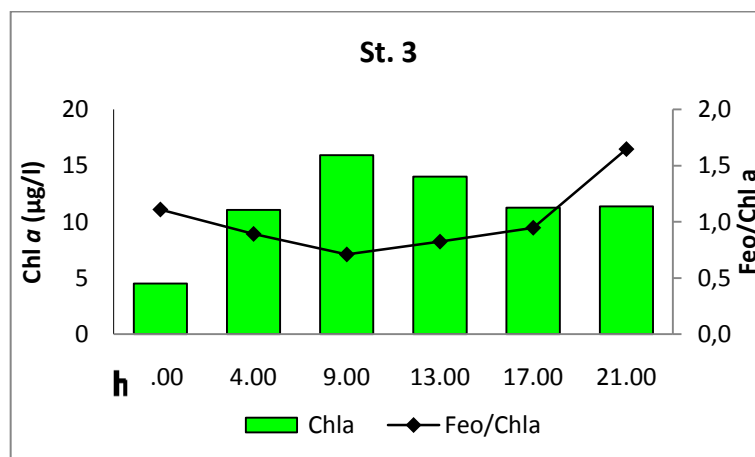
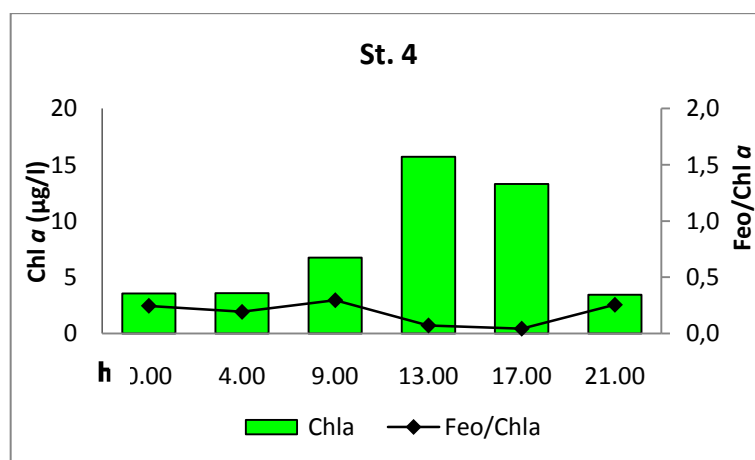
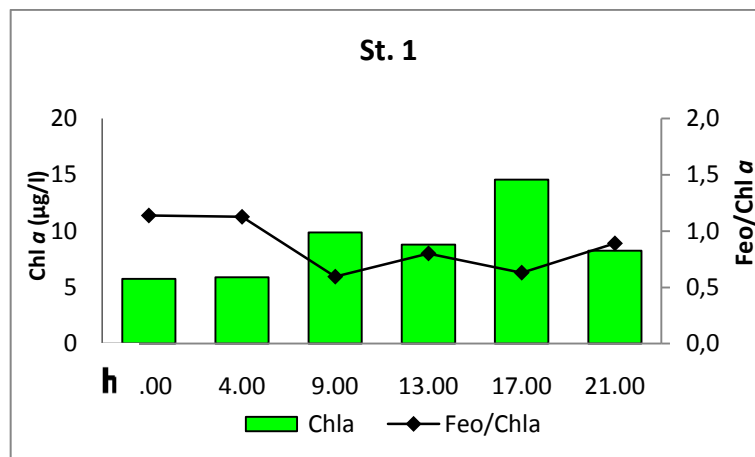


Fig.42 - Andamento della Chl  $\alpha$  totale e del rapporto Feopigmenti/Chl  $\alpha$ .

b. Secondo ciclo - 12/07/2010

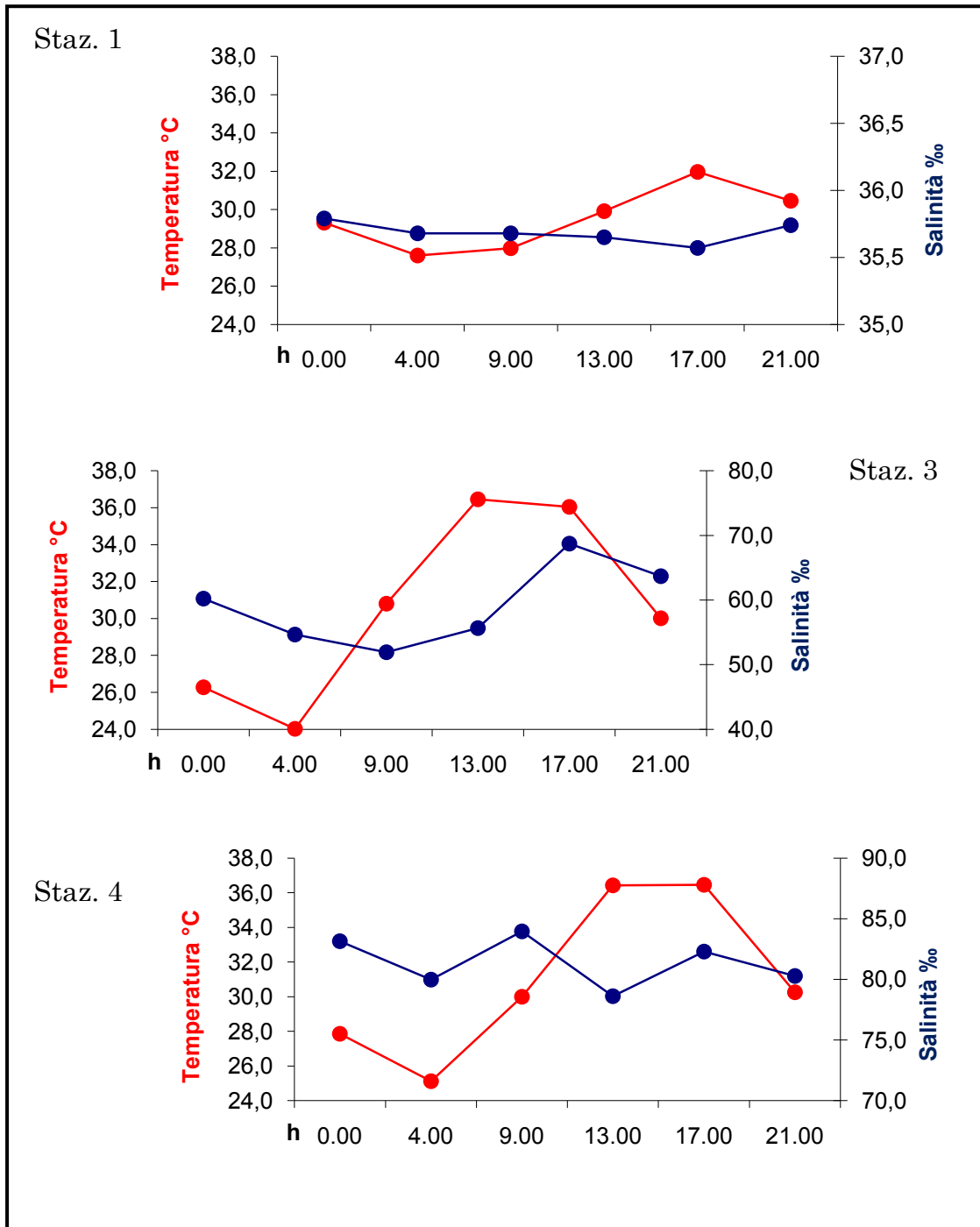


Fig.43 - Andamento della temperatura e della salinità.

La Fig.43 mostra l'andamento della temperatura e della salinità.

Le variazioni di temperatura e salinità in questo secondo ciclo hanno andamento analogo a quelle del primo. Le differenze tra i valori notturni e diurni sono però più marcate in conseguenza della stagione più avanzata. Per le variazioni di salinità, valgono le considerazioni già esposte per il primo ciclo.

La Fig.44 illustra i valori percentuali medi delle frazioni dimensionali. Nelle Staz. 1 e 4 si ha la prevalenza del microplancton mentre nella 3 prevale il nanoplancton. La pico- ha valori simili nelle Staz. 1 e 3 mentre mostra un leggero incremento nella Staz. 4

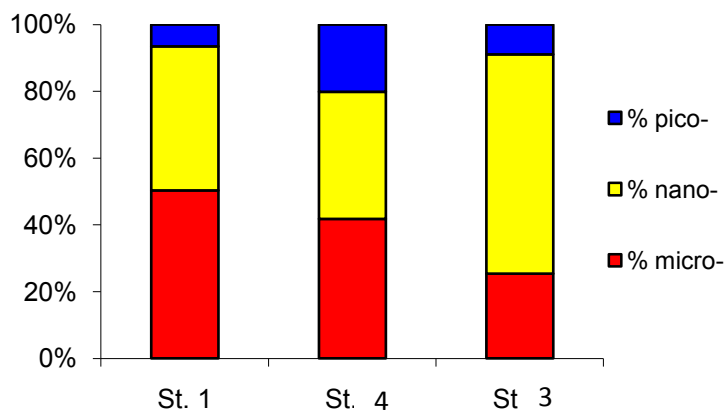


Fig. 44 - Valori percentuali medi delle tre frazioni dimensionali.

La Fig.45 riporta l'andamento della percentuale del rapporto dei pigmenti fotoprotettori sul totale dei pigmenti nelle tre stazioni di campionamento. Si nota come vi sia un sensibile aumento della percentuale nelle Staz. 1 e nella Staz. 3 nelle ore di maggiore intensità luminosa, con picco massimo alle 17.00, mentre la Staz. 4 mostra un andamento assai variabile.



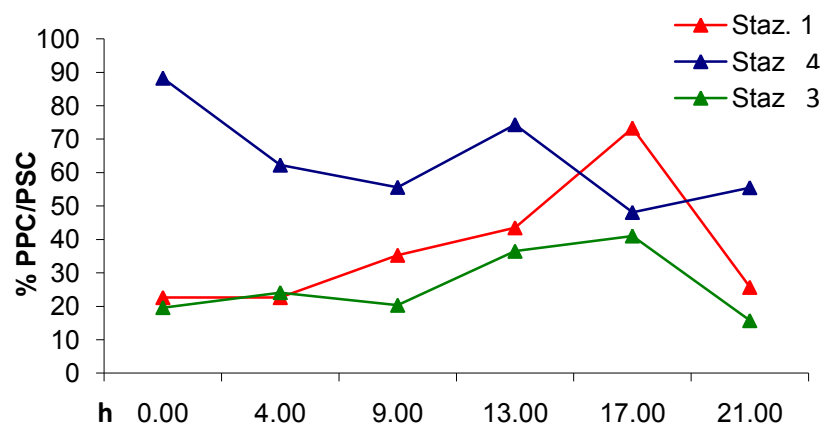


Fig.45 - Andamento della percentuale del rapporto dei pigmenti fotoprotettori (PPC=PhotoProtective Carotenoids) sui pigmenti totali (PSC=PhotoSynthetic Carotenoids).

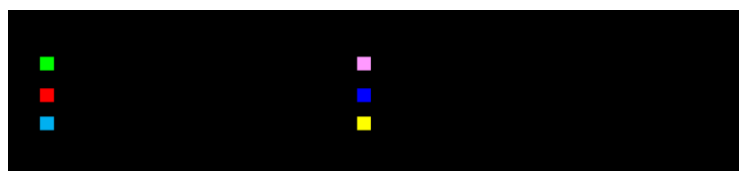
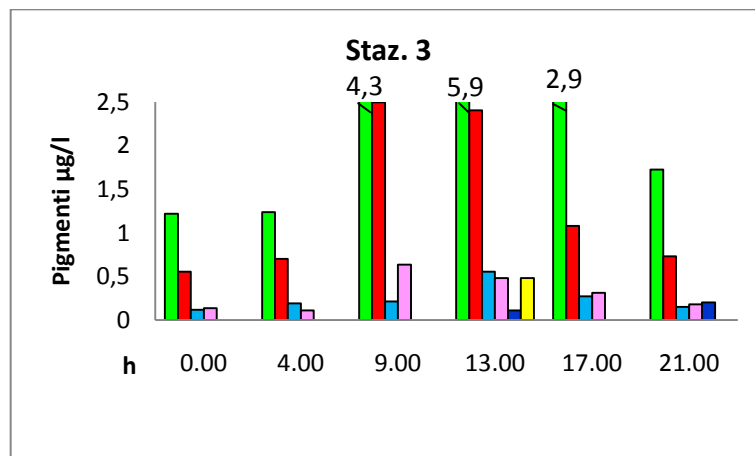
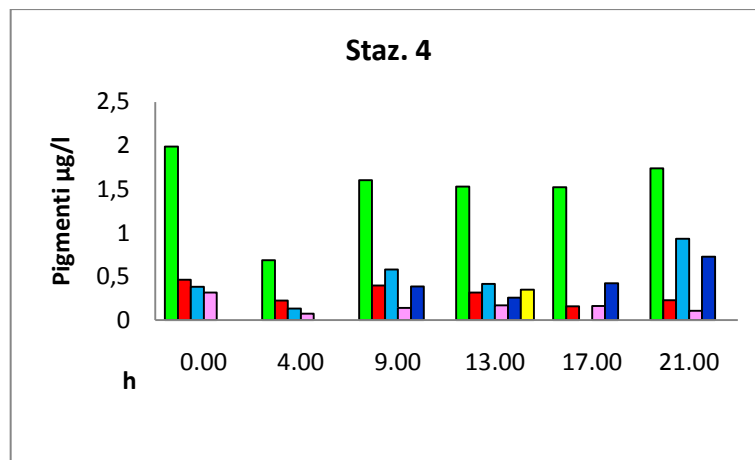
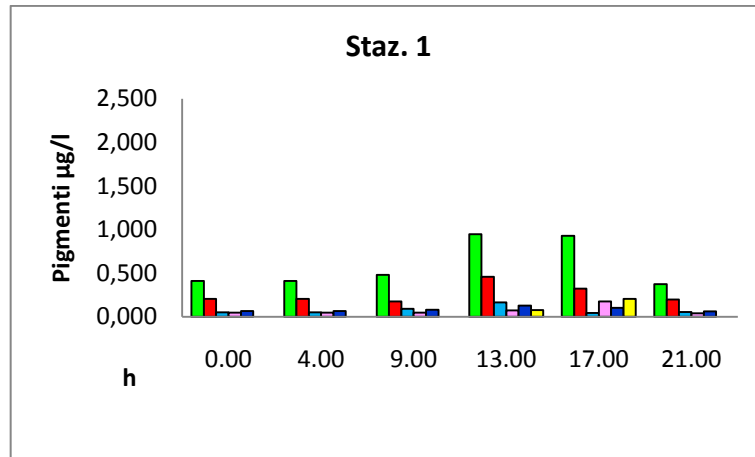


Fig.46 - Andamento dei pigmenti indicatori tassonomici.

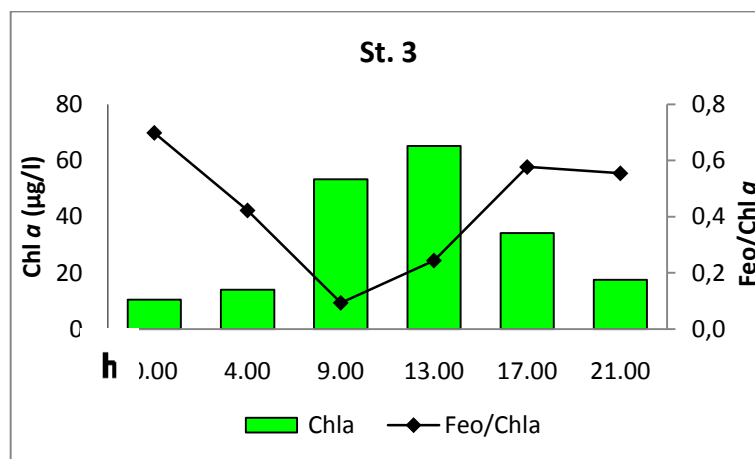
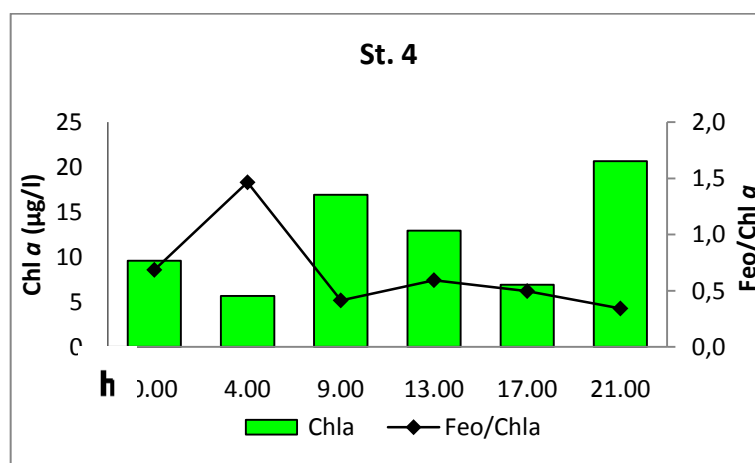
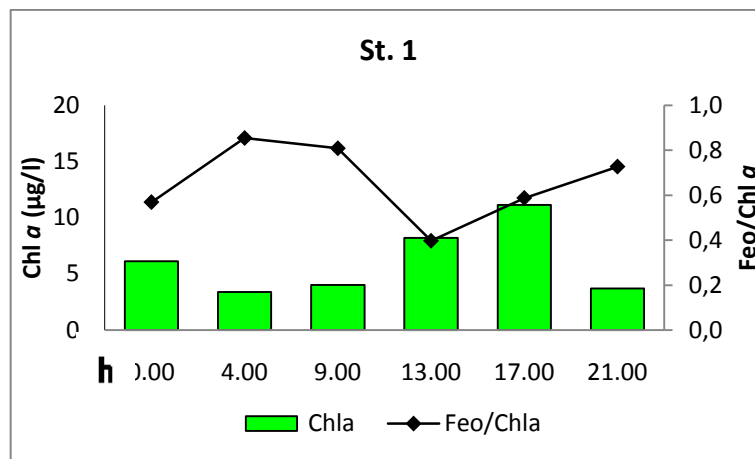


Fig.47 - Andamento della Chl a totale e del rapporto Feopigmenti/Chl a.

## Capitolo V

### Discussioni

Le saline costituiscono ambienti sovrasalati caratterizzati da un elevatissimo grado di confinamento indotto dall'uomo ai fini della produzione di sale. In natura, solo alcuni ambienti marginali, come ad esempio le pozze di scogliera, raggiungono livelli altrettanto elevati di esasperazione dei parametri ambientali.

Accanto alle caratteristiche ambientali derivate dal confinamento, le saline sono caratterizzate da un gradiente crescente di salinità, a partire da quello dell'acqua di mare fino a livelli di sovrasaturazione che inducono alla precipitazione dei sali disciolti.

Sistemi con queste caratteristiche sono caratterizzati da popolamenti particolari che, in termini di struttura delle comunità e dei processi di produzione dei vari livelli trofici, hanno dinamiche che riflettono in maniera macroscopica e diretta l'effetto delle forzanti ambientali su scale spazio-temporali che non hanno parallelo in altri ambienti acquatici di transizione.

Questo fa delle saline ambienti che offrono opportunità uniche per studiare, in condizioni quasi sperimentali, problemi di base dell'ecologia acquatica. L'estensione relativamente limitata delle saline limita, a sua volta, il numero e le scale della variabilità ambientale e biologica (Estarra *et al.*, 2004). La produzione effettuata dalla componente primaria delle loro comunità determina in larga misura le proprietà del sistema (Oren, 2009).

Le comunità fitoplanctoniche analizzate in questo lavoro derivano da campionamenti superficiali, giacché la laminari età delle acque del sistema, dello spessore addirittura di pochi centimetri nelle aree

periferiche lungo le vasche, fa sì che la limitatissima colonna d'acqua sia sempre completamente rimescolata. Il campione può quindi essere considerato una buona rappresentazione dei comparti biotico e abiotico del sistema.

## **A. I cicli stagionali**

### **1- I parametri ambientali**

L'andamento della temperatura e della salinità che, assieme al vento, determinano il processo di salinificazione industriale rappresentano anche i parametri attraverso cui è possibile leggere il grado di confinamento di ciascuna vasca e l'intensità dell'interfacciamento con le forzanti ambientali. Questo è, in larga misura, limitato agli scambi con il mare e con l'atmosfera. Le Fig.11 e 31 relative rispettivamente alla vasca immediatamente adiacente al canale di comunicazione con il mare e a quella in posizione terminale rispetto al gradiente salino, mostrano come salinità e temperatura ripropongono in maniera fedele e marcata la loro dipendenza dall'andamento della temperatura dell'aria nel ciclo stagionale. Questa dipendenza è anche chiara e rilevante su scala giornaliera (Fig.43).

L'ambiente di salina da noi studiato, ormai sottratto agli interventi di gestione produttiva, risente anche dell'importanza di apporti dolci legati ad eventi meteorici di rilevante entità e di occasionali immissioni artificiali di acque dolci.

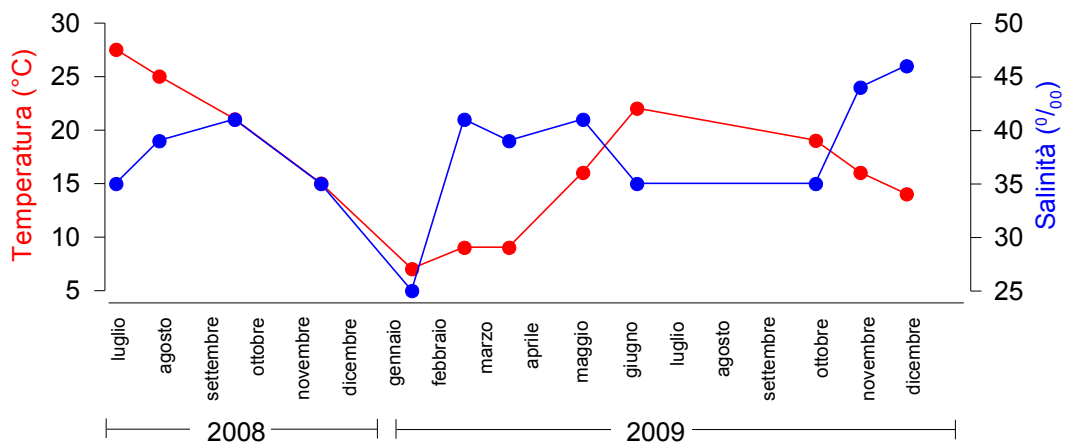


Fig.11 - Staz.1. Andamento della temperatura e della salinità.

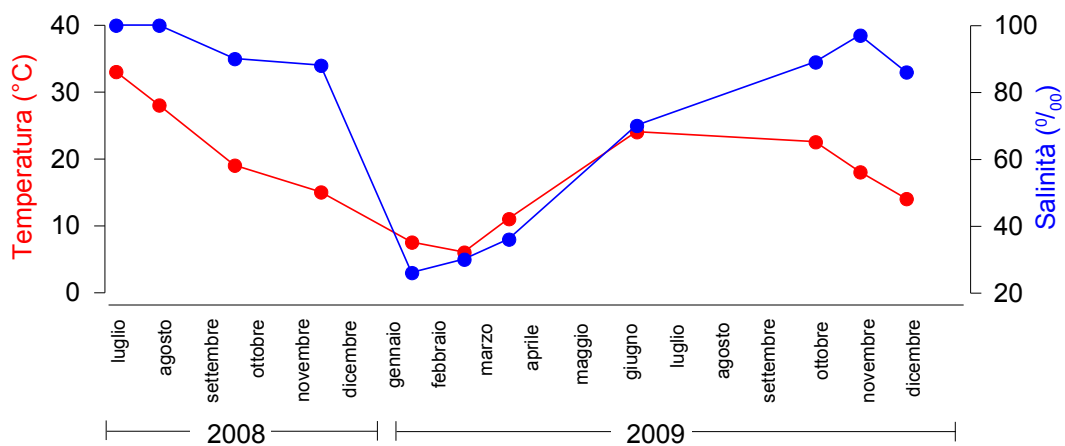


Fig.31 - Staz. 4. Andamento della temperatura e della salinità.

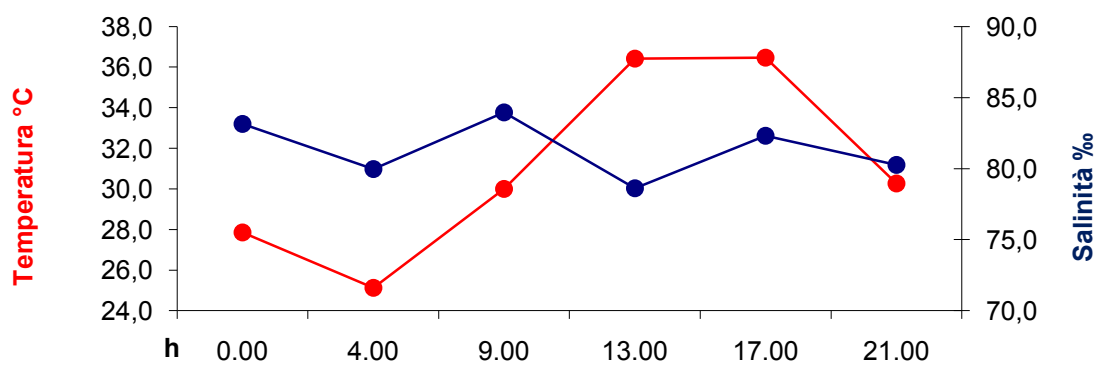


Fig.43 – Staz. 4. Andamento della temperatura e della salinità nel ciclo circadiano del 12/07/2010.

L'andamento stagionale della salinità mette in evidenza come essa risenta nel periodo tardo autunnale-invernale a cavallo dei cicli 2008-2009, di precipitazioni particolarmente abbondanti che hanno diluito significativamente la salinità fino a livelli di quasi completa dolcificazione.

## 2- Il fitoplancton

I dati presenti in letteratura sulla composizione e dinamica stagionale mostrano come queste siano state finora studiate per brevi intervalli temporali (Estrada *et al.*, 2004; Dolapsakis *et al.*, 2005; Evagelopoulos *et al.*, 2007) o per cicli stagionali scanditi ad intervalli molto più ampi (Ayadi *et al.*, 2004) di quelli presentati in questo lavoro. La maggior parte degli Autori mette in evidenza una spiccata correlazione tra salinità e struttura e successione delle comunità fitoplanctoniche. Ad esempio, Estrada *et al.* (2004) e Williams (1998) considerano la salinità come uno dei fattori responsabili della struttura delle comunità, come era generalmente assunto a priori per il passato. In effetti però sono diversi i fattori correlati con la salinità, ciò che rende spesso difficile distinguere gli effetti di questi ultimi da quelli diretti della salinità.

I nostri dati, basati su raggruppamenti tassonomici a livello di classe algale, mostrano densità variabili durante l'intero ciclo annuale. Le Diatomee nella Staz.1 hanno densità crescenti dal periodo invernale a quello estivo. Questo andamento è ancora presente nella Staz. 2, sebbene con abbondanze più ridotte. Il crescente effetto di confinamento si riflette nelle due stazioni successive dove questo gruppo è rappresentato più sporadicamente e con un andamento temporale dissimile rispetto a quello delle due stazioni precedenti: vi si osserva un picco a gennaio 2009 ed un altro a giugno 2009, per poi decrescere nell'autunno-inverno successivo. Nella Staz.4 il gruppo è presente solo nei periodi invernale e primaverile con densità ridotte.

Le Diatomee quindi si caratterizzano per andamenti temporalmente non consistenti nei due anni successivi e per una presenza limitata al solo periodo invernale-primaverile nella stazione a più alto confinamento. Questo andamento sembrerebbe legato ad una influenza diretta della salinità che eserciterebbe un effetto limitante crescente lungo il gradiente che interessa le prime tre vasche; nella Staz. 4 la presenza del gruppo, limitata ai mesi tardo autunnali-invernali, è legata a salinità notevolmente più basse, prodotte da esondazioni di acqua dolce dal canale circondariale. L'andamento appena descritto è confermato solo in parte da osservazioni di altri Autori. Ancora una volta, il variare del contesto ecologico su piccole scale spaziali e temporali, attribuibile ad estensioni molto variabili dell'area dei diversi impianti studiati, dalle condizioni climatiche generali dei siti e dai protocolli delle pratiche gestionali nelle saline attive, impedisce un raffronto diretto tra i sistemi, in particolare con un sistema non più produttivo, quale le Saline di Tarquinia.

I Dinoflagellati mostrano una dinamica generalmente inversa rispetto a quello delle Diatomee (Fig.22 e Fig.48), confermando l'osservazione di Ayadi *et al.*(2004) per le Saline di Sfax entro un intervallo di salinità simile a quello qui considerato.

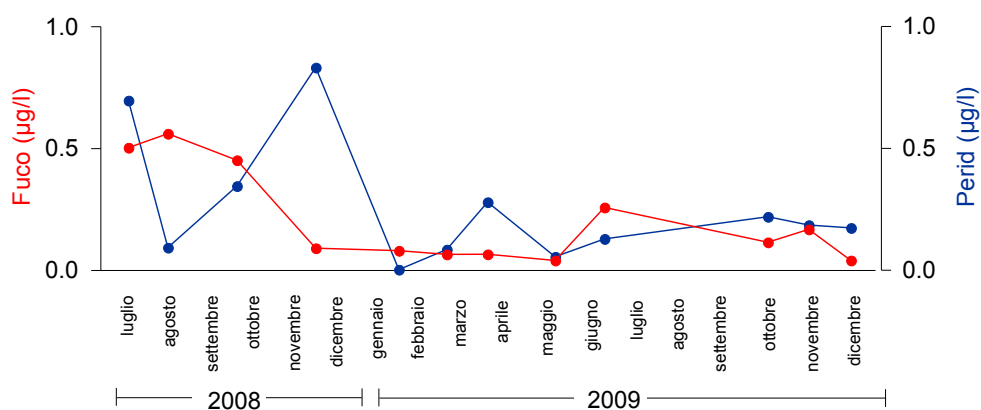


Fig.22 - Staz. 2. Andamento temporale delle concentrazioni di fucoxantina e peridininina.



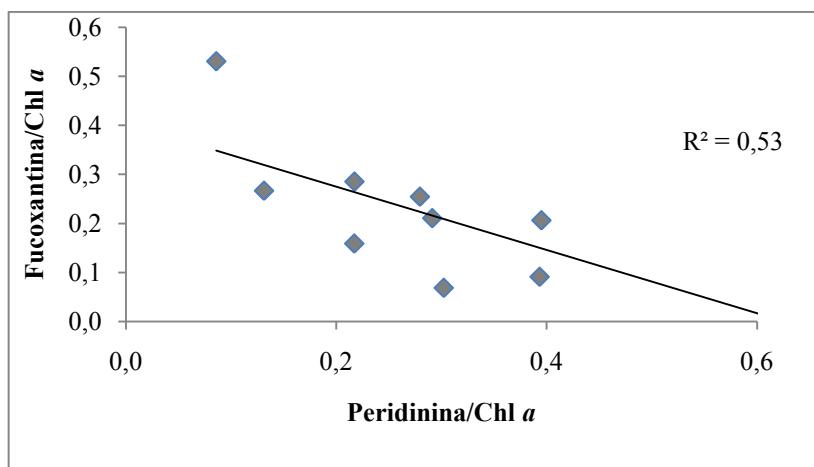


Fig.48 - Staz. 2. Correlazione tra fucoxantina e peridininina.

Le Cloroficee hanno presenze ed abbondanze diversificate nei due cicli annuali. Mostrano concentrazioni simili in settembre 2008 e febbraio 2009 solo nella Staz. 1, e analogamente solo in febbraio e marzo 2009 nella Staz. 2. Invece, nella Staz. 3 e soprattutto nella Staz. 4, questo gruppo mostra una distribuzione temporale più ampia e con abbondanze più elevate nei periodi caratterizzati da elevati valori della salinità. Ciò è riconducibile alle forti concentrazioni di *Dunaliella*, evidenziate dall'elevatissimo rapporto  $\beta$ -carotene/Chl *a* osservato nell'estate 2008, per la Staz. 4, e inoltre nell'autunno 2009 nella Staz. 3. Valori proporzionali al rapporto  $\beta$ -carotene/Chl *a* da noi osservato sono riportati da Estrada *et al.* (2004) per una salina attiva della costa catalana, con valori di salinità notevolmente più elevati (370‰).

I Cianobatteri, sono riportati in letteratura come componente essenziale dei popolamenti di salina, soprattutto ad elevate salinità (Estrada *et al.*, 2004; Evagelopoulos *et al.*, 2007) e particolarmente abbondanti nelle comunità dei feltri biologici che ricoprono il fondo (Oren, 2009). Le salinità delle Saline di Tarquinia ricadono entro intervalli di variazione molto inferiori e analoghi a quelli considerati da Ayadi *et al.*, (2004). Questo gruppo è presente nelle Staz. 1 e 2 con una distribuzione temporale disomogenea; nelle Staz. 3 e 4 la distribuzione è più continua; in tutte le stazioni le abbondanze si mantengono sempre entro valori

estremamente ridotti. Questo è un aspetto che rafforza la fisionomia ecologica del sito studiato rispetto a quella degli impianti operativi.

Le Criptofitee hanno anche esse un andamento temporale disomogeneo. La loro presenza è limitata per lo più ai mesi estivi in tutte le stazioni, con abbondanze molto maggiori nel ciclo del 2008 rispetto a quello del 2009.

Nella dinamica successionale è significativo il rapporto  $\beta$ -carotene/Chl  $\alpha$ . Come è noto, il  $\beta$ -carotene è un pigmento prodotto in grandissime concentrazioni dalla cloroficea *Dunaliella salina* ma ha anche la funzione di fotoprotettore di tutti i gruppi tassonomici. Le elevatissime concentrazioni di  $\beta$ -carotene nelle Stazioni più confinate, la 3 e la 4, indica appunto l'elevatissima abbondanza di *Dunaliella*, mentre i valori molto minori delle Staz. 1 e 2 indicano la sua funzione di pigmento foto protettivo.

La Tab. V riassume l'andamento della diversità lungo il gradiente salino espressa attraverso l'indice di dominanza di Berger.

Tab. V – Indice di Berger applicato alle stazioni di campionamento.

Stazione 1	0.6±0.2
Stazione 2	0.5±0.2
Stazione 3	0.5±0.1
Stazione 4	0.7±0.3

La stazione a più alto grado di confinamento (Staz. 4) e quella a maggiore vivificazione marina (Staz. 1) mostrano una bassa diversità di pigmenti, quindi di raggruppamenti tassonomici. Nella Staz. 4 il popolamento è infatti caratterizzato per il 70% da un unico pigmento, il  $\beta$ -carotene, indicatore di *Dunaliella*; nella Staz. 1, il 60% del popolamento è costituito da fucoxantina, le Diatomee sono quindi il raggruppamento dominante. La due stazioni sono, seppur per motivi ecologi differenti, due

ambienti estremi della salina, dove per i discontinui apporti marini, da un lato (Staz. 1), e per l'elevato grado di confinamento dall'altro (Staz.4), il popolamento è in prevalenza costituito da un numero ridottissimo di taxa algali, quelli cioè maggiormente adattati a vivere in ambienti dove le forzanti ambientali esercitano una maggiore azione selettiva.

Nelle Staz. 2 e 3, l'indice di Berger è più basso, indicando una maggiore diversità chemotassonomica. Non è presente un pigmento dominante, ma per quanto riguarda la Staz. 2 si alternano Dinoflagellati (peridinina) e Diatomee (fucoxantina), Criptoficee (alloxantina); nella Staz. 4 si alternano invece Dinoflagellati (peridinina), Criptoficee (alloxantina), Diatomee (fucoxantina), Cianobatteri (Zeaxantina) e *Dunaliella* (Chl *b* e  $\beta$ -carotene).

Le figure (49-52) che seguono ripropongono in maniera sintetica la successione stagionale delle comunità fitoplanctoniche in ciascuna stazione del transetto.

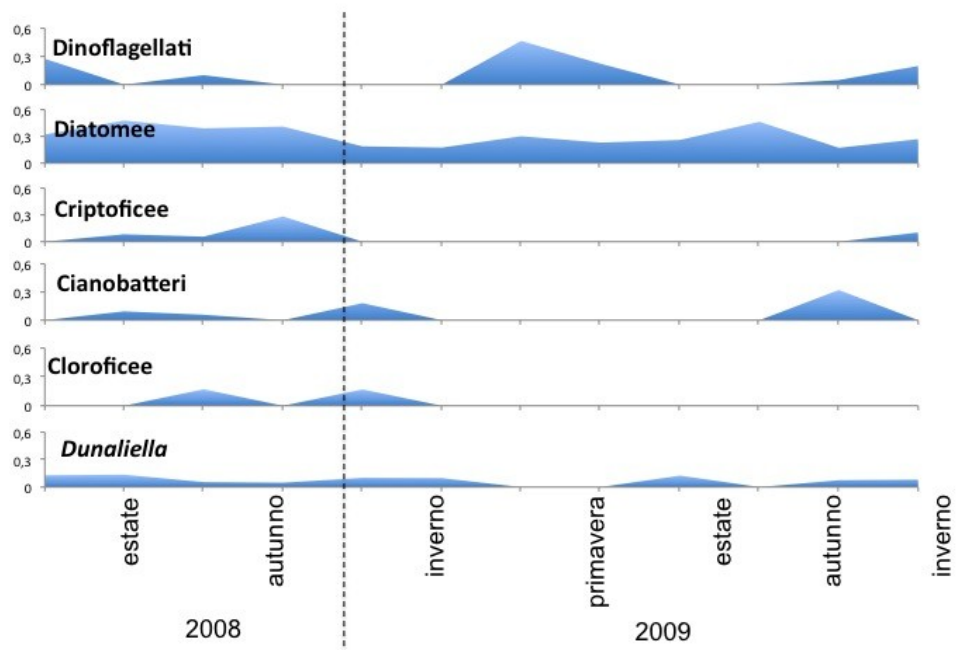


Fig. 49. Andamento temporale dei gruppi tassonomici nella Staz. 1

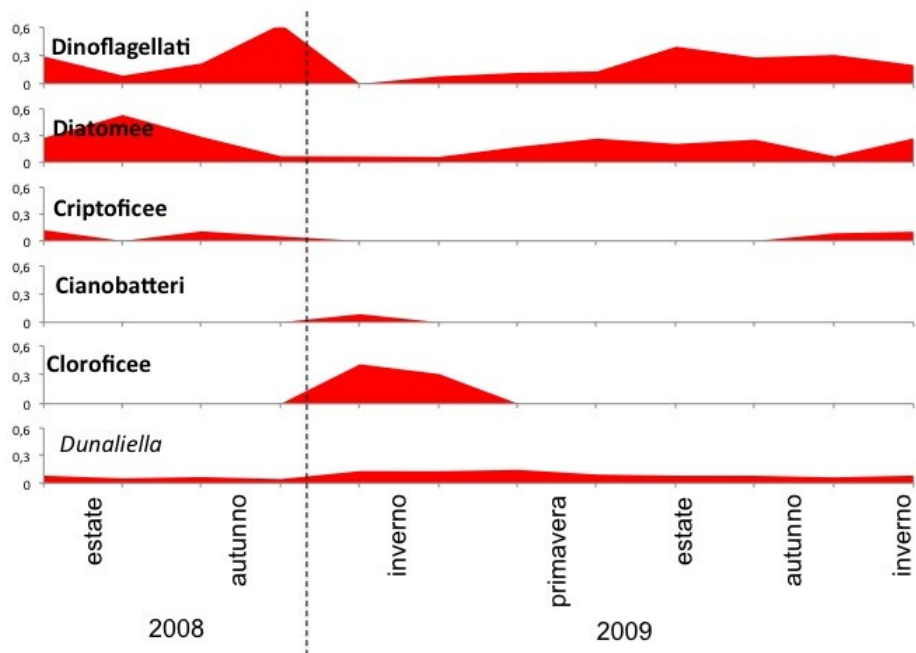


Fig. 50. Andamento temporale dei gruppi tassonomici nella Staz. 2

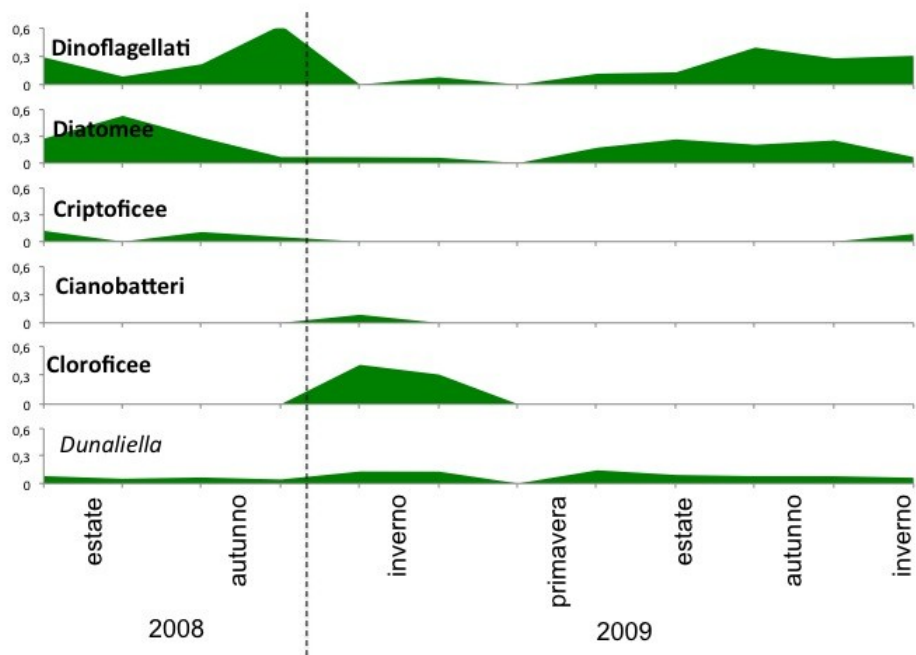


Fig. 51. Andamento temporale dei gruppi tassonomici nella Staz. 3

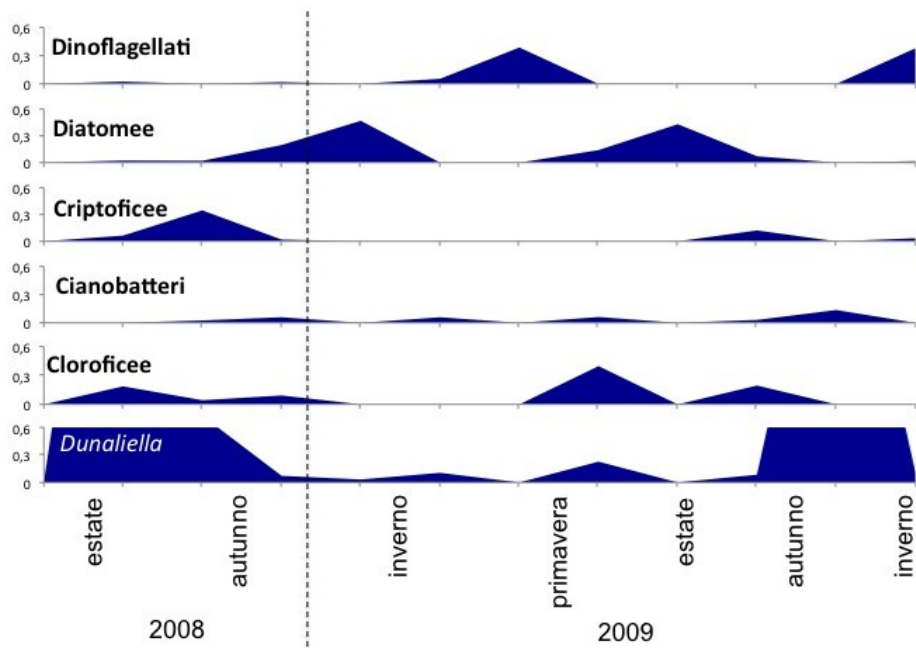


Fig. 52. Andamento temporale dei gruppi tassonomici nella Staz. 4

### 3. La struttura dimensionale

E' ormai consolidata la conoscenza circa l'importanza della distribuzione per frazioni dimensionali delle comunità biologiche. La dimensione degli organismi è infatti un parametro chiave per determinare il percorso dei processi di produzione lungo le catene trofiche e di conseguenza determinare la struttura delle reti trofiche.

Nelle Saline di Tarquinia il popolamento fitoplanctonico ricade in misura preponderante entro le dimensioni nano- (20-2) e pico- (<2), questo è evidente in maniera particolare nelle stazioni più interne del transetto (Fig.3 e Fig. 4).

Tab. VI –Medie e deviazioni standard dei valori percentuale delle frazioni dimensionali.

	% micro-	% nano-	% pico-
Stazione 1	19 ± 16	47 ± 16	34 ± 16
Stazione 2	32 ± 20	37 ± 14	31 ± 18
Stazione 3	54 ± 25	54 ± 25	36 ± 28
Stazione 4	12 ± 9	65 ± 23	22 ± 20

La rete trofica è quindi essenzialmente basata sulle frazioni più piccole. Il loro consumo non è quindi affidato al classico consumatore che caratterizza gli estremi del *range* di salinità, il fillopode *Artemia salina* ma è probabilmente sfruttato da ciliati che, con specie diverse per intervalli diversi di salinità, sfruttano la produzione delle frazioni più piccole della comunità fitoplanctonica (Elloumi *et al.*, 2006).

#### 4. La biomassa fitoplanctonica

I dati in letteratura concordano nel considerare la produzione delle saline in rapporto diretto con la salinità (Pedrós-Alió *et al.*, 2000; Estrada *et al.*, 2004; Oren, 2009; Ayadi *et al.*, 2004), tuttavia i suoi picchi massimi si osservano entro intervalli diversi del range di salinità. Infatti, Pedrós-Alió *et al.* (2000) e Estrada *et al.* (2004) riportano due picchi, uno a salinità intorno al 40‰ e l'altro a valori notevolmente maggiori, attorno ai 250‰. Quest'ultimo evidentemente a carico di un popolamento quasi esclusivamente caratterizzato da *Dunaliella*. Joint *et al.*, (2002) per le Saline di Alicante riportano per il mese di maggio biomasse di 4 mg/l nelle prime vasche alimentate da acqua di mare, che raddoppiano a salinità comprese entro 54 -100 ‰ per poi diminuire marcatamente con il crescere della salinità e per aumentare nuovamente nei bacini di cristallizzazione. Nelle Saline di Tarquinia i massimi di biomassa totale (Chl *a*) si attestano attorno a valori di circa 50 µg/l nella Staz. 3 in novembre 2009 e nella Staz. 4 in novembre 2008. Si tratta di valori notevolmente maggiori rispetto a quelli riportati in letteratura per bacini di salinità notevolmente maggiori. Queste osservazioni ci riportano a confermare che la salinità elevata nelle saline gestite rappresenta anche il gradiente di confinamento del sistema, mentre negli impianti dismessi come Tarquinia il gradiente di confinamento non è tanto riproposto dal livello della salinità quanto da un limitatissimo ricambio dell'acqua. In tutti e due i casi ciò che guida la dinamica e i livelli dei processi produttivi è in definitiva il grado di interfacciamento dei due tipi di sistemi. Nei primi i sistemi gestiti, l'interfacciamento con il sistema mare e con il sistema aria è governato da un idraulica gestita nel secondo caso l'interfacciamento è governato per lo più a dinamiche naturali.

## **B. I cicli nictemerali**

I due cicli nictemerali condotti nella stagione estiva 2010 hanno avuto lo scopo di verificare le dinamiche spazio-temporali del popolamento a scale più ridotte di quello stagionale.

In questi cicli si è potuto verificare quanto ritmo notte e giorno potesse influenzare le strutture ed i processi del popolamento fitoplanctonico. Ovviamente la luce è il fattore determinante, ma nel periodo estivo ed in ambienti così laminari come quelli degli ambienti così considerati la temperatura è uno dei fattori che certamente si sommano a quello principale. Dal'altra parte la letteratura ecofisiologica sul fitoplancton è per lo più basata su popolamenti notevolmente diversi da quelli di salina, e seppure talvolta anch'essi confinati, mai ad un livello raggiunto dai sistemi iperalini. Si pensi ad esempio ai molti problemi ancora aperti sulle esigenze fisiologiche e quindi sul conseguente ruolo ecologico della componente cianobatterica che è riportata come determinante sia in ambienti apertamente marini e oligotrofici che in ambienti confinati eutrofici come quelli descritti nella letteratura precedentemente citata.

Un'analisi dettagliata dell'andamento circadiano di ciascun parametro ambientale e di ciascuno degli aspetti strutturali e funzionali della componente fitoplanctonica so al di là dello scopo del lavoro. Ci si sofferma invece su qualche esempio che restituisca l'entità del mutamento degli stessi.

La biomassa totale fitoplanctonica può variare fino a quattro nel passaggio dal periodo diurno a quello notturno, con massimi sempre verificati nel periodo notturno (Fig.42).

L'assetto comunitario subisce anch'esso spostamenti significativi nel contributo sia delle diverse componenti tassonomiche (Fig.41) che delle frazioni dimensionali e delle loro biomasse (Fig.44). Notevole è anche la differenza nelle dinamiche che caratterizzano le singole vasche.



Queste dinamiche, se da un lato sottolineano dinamiche circadiane dei processi di produzione e consumo, dall'altro risentono sicuramente, almeno all'interno della singola vasca, di fattori di carattere fisico. In questo senso, si sottolinea la funzione del vento nel determinare distribuzioni spaziali influenzate dalla sua direzione ed intensità, che si riflettono in maniera mutevole sulle condizioni del punto di prelievo dei campioni. Si pensi, ad esempio al variare della posizione delle tipiche "schiume" di salina ed all'accumulo preferenziale delle uova di *Artemia salina*, ben noto ai raccoglitori di questo materiale a fini di acquacoltura e di acquariofilia.

Le dinamiche sopra delineate mettono in evidenza come in ambienti laminari e fortemente confinati le dinamiche ecologiche assumano andamenti di scala pronunciati ed evidenti. Questo, fra l'altro, conferma ancora una volta, come sottolinea Oren (2009), quanto lo studio di questi sistemi possa contribuire ad accrescere le conoscenze di base dei sistemi acquatici in generale.

## Capitolo VI

### Conclusioni

Le saline, siano esse in funzione o dismesse, rappresentano sistemi di elevata produzione biologica concentrata in aree limitate che sostengono elevate concentrazioni di popolazioni di specie al vertice delle loro reti trofiche. In particolare ci si riferisce alle comunità ornitiche che trovano nelle saline sufficienti risorse alimentari per sostenere l'enorme dispendio di energie legato alle migrazioni. Queste risorse sono inoltre disponibili lungo quasi tutto l'arco stagionale.

La rete trofica delle saline si basa su comunità di produttori primari caratterizzate da una diversità strutturale molto ridotta ma di elevate capacità produttive. La produzione biologica è sostenuta da meccanismi di riciclo che prevalgono generalmente negli ambienti di transizione, ma che si accentuano in ambienti estremamente confinati. La letteratura (Elloumi et al., 2006) dimostra come, ad esempio, gli essudati organici prodotti dalle ingenti densità di *Dunalliella salina* supportano un importante processo di trasferimento verso livelli superiori della rete trofica tramite il microbial loop.

La possibilità di leggere le dinamiche di comunità in maniera molto più chiara che in altri sistemi acquatici assai più complessi, nei quali i segnali sono complicati da fenomeni di cross scale, fa degli ambienti di salina siti di elezione per lo studio di strutture e processi basilari per l'ecologia teorica, quali i meccanismi che governano la diversità biologica, il rapporto fra questa e la competizione fra le specie, i processi di riciclo, il rapporto acqua libera-fondo. Uno dei fondatori dell'ecologia teorica, Margalef (1969) ha sottolineato come ogni tentativo di quantificare la diversità deve prendere in considerazione la struttura spaziale e la dinamica temporale dei sistemi. Nelle saline la variabilità di

queste scale è notevolmente ridotta rispetto ad altre di uguale estensione di altri sistemi acquatici.

Le saline dismesse, incidendo sul tipico gradiente salino degli impianti operativi, allarga le opportunità di analisi ecologica, come dimostrato dai cicli condotti nelle Saline di Tarquinia, dove l'occasionale apporto di acque dolci ha fornito l'occasione per arricchire il comportamento di determinati gruppi tassonomici e funzionali nel processo successionale.

## Bibliografia

- Alfinito S., Iberite M., Fumanti B. (1990). The algal microflora of the Salt Works of Tarquinia (Italy). *Hydrobiologia*, 203:137-146.
- Allavena S., & Zapparoli M. (1992a). Gestione e tutela della riserva naturale di popolamento animale Saline di Tarquinia. In: *L'ambiente della Tuscia Laziale*, a cura di Olmi M. e Zapparoli M., 189-192.
- Allavena S., & Zapparoli M. (1992b). Aspetti faunistici della Riserva Naturale di Popolamento Animale Saline di Tarquinia ed aree adiacenti. In: *L'ambiente della Tuscia Laziale*, a cura di Olmi M. e Zapparoli M., 209-216.
- Angeletti D. (2006). Erosione genetica e relazioni genotipo-ambiente nella popolazione delle Saline di Tarquinia di *Aphanius fasciatus* (Teleostea). Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia e Gestione delle Risorse Biologiche, XVIII Ciclo. Università della Tuscia, Viterbo.
- Ayadi H., Abid O., Elleoumi J., Bouain A., Sime-Ngando T. (2004). Structure of the phytoplankton communities in two lagoons of different salinity in the Sfax saltern (Tunisia). *J. Plankton Research*, 26:669-679.
- Artom C. (1905). Osservazioni generali sull'*Artemia salina* Leach delle Saline di Cagliari. *Zool. Anz.* 29:284-291.
- Artom C. (1906). Ricerche sperimentali sul modo di riprodursi dell'*Artemia salina* Linn. di Cagliari. *Biolog. Centralbl.* 26 (1):26-32.
- Bennati L. (1975). *Le saline del Regno di Italia. Notizie sulla produzione e sull'amministrazione del sale.* Tipografia Giacchetti Figlio e C., Prato.

- Bianchi C. N. (1988). Tipologia ecologica delle lagune costiere italiane. In: Carrada G.C., Cicogna F., Fresi E., (Ed.s) 1988. *Le lagune costiere: ricerca e gestione*. CLEM., Massa Lubrense (Napoli), 58-66.
- Bouzillé J.B., Kernéis E., Bonis A., Touzard B. (2001). Vegetation and ecological gradients in abandoned salt pans in western France. *J. Vegetation Science*, 12: 269-278.
- Britton G. (1995). Structure and properties of carotenoids in relation to function. *FASEB J.*, 9:1551-1558.
- Carrada G.C., Cicogna F., Fresi E. Ed.s (1988). *Le lagune costiere: ricerca e gestione*. CLEM., Massa Lubrense (Napoli), 35-55.
- Davis J.S. (1993). Biological management for problem solving and biological concepts for a new generation of solar saltworks. *Seventh Symposium of Salt*, 1:611-616.
- Davis J.S. (1999). Solar Saltworks. An Environmentally Friendly Industry. *Proceedings of Post-Conference Symposium "Saltworks: Preserving Saline Coastal Ecosystems"*, Greece, Settembre 1999.
- Davis J.S. (2000). Structure, function and management of the biological system for seasonal solar saltworks. *Global Nest: The Int. J.*, 2 (3):217-226.
- Davis J.S. (2006). Biological and physical management information for commercial solar saltworks. *Proceedings 1<sup>st</sup> International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks (CEISSA 06)*, Santorini Island, Greece, October 2006.
- Dolapsakis N.P., Tafas T., Abatzopoulos T.J., Ziller S., Economou-Amilli A. (2005). Abundance and growth response of microalgae at Megalon Embolon solar saltworks in northern Greece: An aquaculture prospect. *J. Applied Phycology*, 17:39-49.

- Dussart B. (1977). *Encyclopédie de l'écologie, le present en question*. Larousse, Paris.
- Elloumi J., Carrias J., Ayadi H., Sime-Ngando T., Boukhris M., Bouain A. (2006). Composition and distribution of planktonic ciliates from ponds of different salinity in the solar saltwork of Sfax, Tunisia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 67:21-29.
- Estrada M., Henriksen P., Gasol J.M., Casamayor E.O., Pedros-Aliò C. (2004). Diversity of planktonic photoautotrophic microorganisms along a salinity gradient as depicted by microscopy, flow cytometry, pigment analysis and DNA-based methods. *FEMS Microbiology Ecology*, 49:281-293.
- Evangelopoulos A., Spyarakos E., Koutsoubas D. (2007). The biological system of the lower salinity ponds in Kalloni Saltworks (NE. Aegean Sea, Greece): phytoplankton and macrobenthic invertebrates. *Transitional Waters Bulletin*, 3:23-25.
- Guelorget, O., Perthuisot, J.-P. (1983). Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques du confinement. *Travaux Laboratoire Geologie l'École Normale Supérieure*, Paris.
- Herbst D.B. (2006). Salinity controls on trophic interactions among invertebrates and algae of solar evaporation ponds in the Mojave Desert and relation to shorebird foraging and selenium risk. *Wetlands*, 26 (2):475-485.
- Herrmann A.G., Knake D., Schneider J., Peters H. (1973). Geochemistry of modern seawater and brines from salt pans: main components and bromine distribution. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 40:1-24.
- Iberite M., (1992). La vegetazione macrofittica e algale della Riserva Naturale di Popolamento animale Salina di Tarquinia. In: *L'*

*ambiente nella Tuscia Laziale*, a cura di Olmi M. e Zapparoli M., 203-207.

Joint I., Henriksen P., Garde K. Riemann B. (2002). Primary production, nutrient assimilation and microzooplankton grazing along a hypersaline gradient. *FEMS Microbiol Ecol.*, 39:245-257.

Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C., Wright S.W. Ed.s (1997). *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. Monographs on Oceanographic Methodology, Unesco Publishing, Paris.

Kiener, A. (1978). *Ecologie et Physiologie des Eaux Saumâtres*. Masson, Paris.

Korovessis N.A., Lekkas T.D. (2000). *Solar saltworks production process evolution–wetland function*. Post-Conference Symposium *Proceedings 6th Conference on Environmental Science and Technology*. Pythagorion, Samos, (Greece) 1st September 1999, GlobalNEST.

Krumbein W. E., (1985). Applied and economic aspects of Sabkha systems. Genesis of salt, ore and hydrocarbon deposits and biotechnology. In: *Hypersaline Ecosystems The Gavish Sabkha*, Friedman G.M., Krumbein W. E. (Eds.), Springer Verlag, Berlin.

Labbé A. (1921). Sur les modifications adaptatives de *Dunaliella salina* Dunal. *C. R. Acad. Sci.* 172:1074-1076.

Lanzuisi E. (2008). L'avifauna di una zona umida mediterranea, le Saline di Tarquinia, in relazione ai parametri ambientali: indicazioni gestionali., Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia e Gestione delle Risorse Biologiche, XX Ciclo. Università della Tuscia, Viterbo.

Linan-Cabello M. A., Paniagua-Michel J., Hopkins P. M. (2002). Bioactive roles of carotenoids and retinoids in crustaceans. *Aquacult. Nutr.* 8:299-309.

- Litchfield C.D., Oren A. (2001). Polar lipids and pigments as biomarkers for the study of the microbial community structure of solar salterns. *Hydrobiologia*, 466:81-89.
- Litchfield C.D. (1991). Red: the magic color for solar salt production. In: Hocquet J.-C., Palme R. (Ed.s), *Das Salz in der Rechts-und Handelsgeschichte*. Berenkamp, Schwaz.
- Mantoura R. F. C., Repeta D. J. (1997). Calibration methods for HPLC. In: Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C., Wright S.W. Ed.s (1997). *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. Monographs on Oceanographic Methodology, Unesco Publishing, Paris.
- Margalef R. (1969). Diversity and stability: a practical proposal ecological a model of interdependence. Diversity and stability in ecological systems. *Brookhaven Symp. Biol.* 22: 25-37.
- Nascetti G., Scardi M., Fresi E., Cimmaruta R., Bondanelli P., Gatti S., Blasi S., Serrano S., Meschini L., Plastina N., Valiante M., Vinci D. (1998). Caratterizzazione ecologica delle Saline di Tarquinia al fine di un loro recupero e per lo sviluppo dell'acquacoltura. *Biol. Mar. Medit.*, 5 (3):1365-1374.
- Ong A.S.H., Tee E.S. (1992). Natural sources of carotenoids from plants and oils. *Methods Enzymol.* 213:142-167.
- Oren A., Rodriguez-Valera F. (2001). The distribution of halophilic Bacteria to the red coloration of saltern crystallizer ponds. *FEMS Microbiology Ecology* 36:123-130.
- Oren A. (2005). A hundred years of *Dunaliella* research:1905–2005. *Saline Systems* 1:2.



- Oren A. (2009). Saltern evaporation ponds as model systems for the study of primary production process under hypersaline conditions. *Aquatic Microbial Ecology*, 56:193-204.
- Oren A., Dubinsky Z. (1994). On the red coloration of saltern crystallizer ponds. II. Additional evidence for the contribution of halobacterial pigments. *Int. J. Salt Lake Res.* 3:9-13.
- Pavlova P., Markova K., Tanev S., Davis J. S. (1998). Observations on a solar saltworks near Burgas, Bulgaria. *Int. J. Salt Lake Res.* 7:357-368.
- Pedros-Aliò C., Calderòn-Paz J.I., MacLean M.H., Medina G., Marrasè C. Gasol J.M., Guixa-Boixereu N. (2000). The microbial food web along salinity gradients. *FEMS Microbiology Ecology*, 32:143-155.
- Perriss S.J., Laybourn Parry J. (1997). Microbial communities in the saline lakes of the Vestfold Hills (Eastern Antarctica). *Polar Biology*, 18:135-144.
- Pfander H. (1992). Carotenoids: An overview. *Methods Enzymol.* 213:3-13.
- Picard J. (1985). Milieux extremes et benthos méditerranéen. *Rapp. Comm. Int. Mer.Medit.*, 29 (5):213-214.
- Remane A., Schlieper C. (1971). *Biology of Brakish Waters*. Die Binnangewässer, XXV. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchandlung, Stuttgart.
- Sadoul N., Walnsley J., Charpentier B. (1998). *Salinas and Nature Conservation of Mediterranean Wetlands*, N° 9, Tour du Valat, Arles (France).
- Sammy N. (1983). Biological systems in north-western Australian solar salt fields. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Symp. Salt*, 1:207-215. The Salt Institute, Alexandria, Virginia.

- Stefani R. (1960). L'*Artemia salina* partenogenetica a Cagliari. *Rivista di Biologia*, 53:463-490.
- Stefani R. (1962). Sull'ecologia di *Artemia salina* nelle saline di S. Gilla di Cagliari. *Boll. Zool.*, 29 (2):409-415.
- Takekawa J.Y., Miles A.K., Schoellhamer D.H., Athearn N.D., Saiki M.K., Duffy W.D., Kleinschmidt S., Shellenbarger G.G., Jannusch C.A. (2006). Trophic structure and avian communities across a salinity gradient in evaporation ponds of the San Francisco Bay estuary. *Hydrobiologia* 567:307-327.
- Thiery A., Puente L. (2002). Crustacean assemblage and environmental characteristics of a man-made solar saltwork in southern France, with emphasis on anostracan (Branchiopoda) population dynamics. *Hydrobiologia* 486:191-200.
- Toumi N., Ayadi H., Abid O., Carrias J.F., Sime-Ngando T., Boukhris M., Bouain A., (2005). Zooplankton distribution in four ponds of different salinity: a seasonal study in the solar salterns of Sfax (Tunisia). *Hydrobiologia* 534:1-9.
- Vidussi F., Claustre H., Bustillos-Guzmán J., Cailliau C., Marty J. (1986). Determination of chlorophylls and carotenoids of marine phytoplankton: separation of chlorophyll a from divinylchlorophyll a and zeaxanthin from lutein. *J. Plankton Research*, 18:2377-2382.
- Walmsley J.G. (1999). The ecological importance of Mediterranean salinas. *Proceedings of the Post-Conference Symposium Saltworks: Preserving Saline Coastal Ecosystems-Global NEST*, 11-30.