



Consiglio Nazionale delle Ricerche
IAMC – Istituto per l’Ambiente Marino Costiero
Sede Oristano

RAPPORTO TECNICO di PROGETTO

SIGLA - Sistema Integrato per il Monitoraggio e Gestione di Lagune ed Ambiente, sotto-azione CARLA

Parte I : CARatterizzazione chimico-fisica e di qualità delle acque della LAGuna di Cabras e del Golfo di Oristano

**Paolo Magni, Giovanni Fenzi, Serena Como, Fabio Antognarelli,
Andrea Satta e Angelo Perilli**



Anno 2008 – Ultima revisione 2017

IAMC – CNR Sezione di Oristano

Località Sa Mardini Torregrade Oristano

INDICE

<u>SOMMARIO.....</u>	<u>2</u>
<u>VALUTAZIONE PRELIMINARE VARIABILITÀ CHIMICO-FISICHE DELLA COLONNA D'ACQUA</u>	<u>3</u>
INTRODUZIONE.....	3
OSSERVAZIONI SULLO STATO TROFICO DELLA LAGUNA DI CABRAS DA DATI STORICI.....	4
<u>CAP 1 - VARIABILITÀ SPAZIO-TEMPORALE DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE E CHIMICO-FISICHE</u>	<u>13</u>
INTRODUZIONE.....	13
MATERIALE E METODI	15
RISULTATI	18
LAGUNA DI CABRAS	19
GOLFO DI ORISTANO	23
DISCUSSIONE	27
LAGUNA DI CABRAS	27
GOLFO DI ORISTANO	28
<u>CAP. 2 - VARIABILITÀ SPAZIO-TEMPORALE DEI NUTRIENTI, CLOROFILLA-A E SOLIDI SOSPESI</u>	<u>28</u>
INVERNO - LAGUNA DI CABRAS	28
INVERNO - GOLFO DI ORISTANO	36
PRIMAVERA - LAGUNA DI CABRAS.....	36
PRIMAVERA - GOLFO DI ORISTANO	38
ESTATE - LAGUNA DI CABRAS	39
ESTATE - GOLFO DI ORISTANO.....	39
DISCUSSIONE – NUTRIENTI	40
LAGUNA DI CABRAS.....	40
GOLFO DI ORISTANO	46
<u>CAP. 3 - VALUTAZIONE QUALITÀ DELLE ACQUE DELLA LAGUNA.....</u>	<u>48</u>
MODELLO BIOGEOCHIMICO LOICZ	48
MATERIALI E METODI	50
BILANCIO DI ACQUA E DEL SALE	50
BILANCIO DEL FOSFORO	51
BILANCIO DELL'AZOTO	52
STIMA DELLE FUNZIONI GENERALI DELL'ECOSISTEMA	52
DISCUSSIONE	54
QUALITÀ DELLE ACQUE LAGUNA DI CABRAS.....	57
<u>CONCLUSIONI GENERALI.....</u>	<u>59</u>
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>61</u>

SOMMARIO

È stata effettuata una prima caratterizzazione chimica e chimico-fisica della colonna d'acqua nella Laguna di Cabras tramite l'analisi di dati raccolti in precedenti indagini. Tali studi sono stati completati con campionamenti di acqua e misure *in situ* delle variabili idrologiche nella laguna e nel golfo di Oristano. Su questo set di dati sono state effettuate le analisi per individuare le relazioni tra le variabili misurate e per studiare le variabilità stagionali delle caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua.

Lo studio ha permesso la compilazione di un protocollo metodologico di indagine e di monitoraggio dello stato trofico e di salute di ambienti lagunari costieri.

I dati più recenti hanno mostrato come rispetto alle medie storiche, si sia avuto un aumento della temperatura e una diminuzione della salinità. Quest'ultima viene associata ad un limitato scambio tra la laguna ed il mare. I valori di ossigeno e pH non sono indicativi di un elevato stress ambientale, infatti non sono state rilevate condizioni di ipossia o anossia, e valori di pH superiori alla norma.

Tuttavia in precedenti campionamenti nell'estate 2002 sono stati descritti al fondo valori ipossici. Tali valori hanno indicato come la laguna sia periodicamente soggetta a crisi anossiche. Il netto calo di nutrienti rispetto agli anni ottanta-novanta è associato ad una diminuzione degli input d'acqua dolce nel periodo monitorato. Inoltre non è trascurabile l'influenza degli scambi tra sedimento e colonna d'acqua.

In conclusione, dagli studi condotti si può dedurre come nello specifico, nella Laguna di Cabras, lo stato trofico del sistema sia principalmente condizionato dagli input d'acqua dolce, e come questi condizionino anche gli scambi con il golfo. In aggiunta, data la diminuzione degli input di acqua dolce nel periodo monitorato e vista la relazione positiva tra volumi e nutrienti in entrata, il loro abbattimento in entrata tramite depurazione delle acque sembra essere un valido strumento di mitigazione e di recupero.

VALUTAZIONE PRELIMINARE VARIABILITÀ CHIMICO-FISICHE DELLA COLONNA D'ACQUA

INTRODUZIONE

Gli ambienti salmastri costieri presentano caratteristiche idrologiche diverse in base alla particolarità dei collegamenti a mare, e alle acque continentali. Inoltre le modeste profondità della colonna d'acqua, la natura morfologica del bacino e il regime eolico locale condizionano la loro idrodinamica.

Lo studio delle variabili idrologiche della colonna d'acqua consente così di individuare le dinamiche e i rapporti tra questi ambienti di transizione, il mare e gli input d'acqua dolce.

Una corretta indagine delle variabili chimiche e chimico-fisiche permette di avere delle conoscenze ecologiche sullo stato trofico di un bacino idrico, e la condizione di "salute" delle sue acque. Infatti le acque lentiche sono degli ambienti caratterizzati da una elevata produzione primaria, ciò comporta l'accumulo di sostanza organica nelle acque con un incremento del consumo di ossigeno da parte da parte dei batteri.

L'alterazione di questi processi (ipertrofia) può culminare con eventi distrofici ad elevato rischio ambientale.

Lo scopo del presente studio è quello di individuare un andamento spazio-temporale delle variabili chimiche e chimico-fisiche della colonna d'acqua nella Laguna di Cabras e nel Golfo di Oristano.

L'andamento stagionale di alcune variabili come la biomassa fitoplanctonica e i nutrienti disciolti, possono fornire importanti informazioni evidenziando carenze o squilibri dello stato trofico, in relazione alle variazioni climatiche stagionali o alle caratteristiche morfologiche del bacino idrico.

OSSERVAZIONI SULLO STATO TROFICO DELLA LAGUNA DI CABRAS DA DATI STORICI

I primi studi riferiti alla Laguna di Cabras risalgono alla prima metà del secolo scorso con i lavori di Cannicci (1939), e De Angelis (1952) (Sechi, 2001). Questi erano finalizzati alla caratterizzazione degli stagni salmastri in funzione del loro confinamento, e del gradiente di salinità dal mare verso le zone più interne.

Durante gli anni trenta, è stata osservata una riduzione della salinità lungo l'asse nord-sud del bacino con valori minimi di 0,18‰ nel giugno del 1937 massimi nel novembre del 1935 con 10,66‰.

L'ossigeno disciolto presenta valori compresi tra 5,4 e 7,9 mg/l, mentre il pH tra 7,0 e 7,9. Inoltre è stata descritta la presenza di una abbondante vegetazione vicino agli apporti di acqua dolce, dominata da *Myriophyllum* sp. e *Potamogeton* sp., mentre le aree più influenzate dal mare sono caratterizzate da *Chaetomorpha* sp., e da consistenti strutture calcaree del polichete *Ficopomatus enigmaticus*.

Le specie e i generi fitoplanctonici ritrovati nelle date di campionamento sono le seguenti: nel 1934, in condizioni mesoaline: genere *Campylodiscus*, *Chaetoceros*, e la specie *Surirella striatula*; nel 1935, in condizioni mesoaline: genere *Campylodiscus*, specie *Peridinium trochoideum*, *Diplopsalis lenticula*, *Melosira borreri* e *Rhabdonema adriaticum*; nel 1937, in condizioni oligoaline: specie *Botriococcus brunii*, *Chroococcus limneticum* e *Nostoc* sp.

In conclusione Cannicci identifica la Laguna di Cabras come un ambiente oligo-mesoalino “con una notevole monotonia di specie”.

Gli studi condotti negli anni cinquanta invece indicano che “La variazione stagionale di salinità viene considerata poco rilevante” (Sechi, 2001), con un gradiente decrescente lungo l'asse nord-sud della laguna confermando le conclusioni precedenti.

La concentrazione dell'ossigeno è considerata adatta “ad un normale svolgersi dei fenomeni vitali”. Pertanto da queste osservazioni “si può supporre che le condizioni della laguna fossero oligotrofiche con scarsa

presenza di fitoplancton sia qualitativamente che quantitativamente” (Sechi, 2001).

Inoltre i sedimenti sono fangosi e ridotti, con la presenza di poche specie bentoniche come *Hydrobia* sp., *Cardium lamarki*, e *Abra ovata*, e la presenza occasionale di macrofite sommerse, rappresentate principalmente dai generi *Myriophyllum* sp. e *Potamogeton* sp. nelle foci degli immissari, e *Chaetomorfa* nelle aree più influenzate dal mare.

Le prime pubblicazioni scientifiche che consentono di dare delle indicazioni attendibili sullo stato trofico della Laguna di Cabras, risalgono agli anni ottanta (Sechi, 2001).

Il fosforo totale e quello reattivo presentavano concentrazioni comprese tra 5 e 100 e 120 e 300 mg P m⁻³ rispettivamente. L'azoto nitrico e lo ione ammonio sono compresi tra 50 e 100 e 10 e 260 mg N m⁻³ rispettivamente, e ciò è influenzato dai cospicui volumi dei reflui dei centri abitati circostanti.

La clorofilla-a presenta valori molto elevati compresi tra 60 e 110 mg m⁻³. La biomassa vegetale macrofitica non è considerata rilevante, come già affermato dagli studi precedenti. In conclusione il bacino di Cabras viene definito ipertrofico (Sechi, 2001).

Nel 1988 è stato fatto uno studio dettagliato che considera l'andamento delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche (temperatura, conducibilità, pH, trasparenza, O₂, BOD₅, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻) (Sechi, 2001).

Nel periodo compreso tra 1984 e 1986 la laguna è stata monitorata con campionamenti mensili in otto diverse stazioni, lungo il suo asse nord-sud.

Tutti i composti azotati presentano dei valori massimi in inverno e minimi in estate, con maggiori concentrazioni vicino agli apporti d'acqua, e minori verso le zone interne della laguna, in particolare lo ione ammonio e i nitrati (Sechi, 2001).

Inoltre i nitrati sono correlati con la piovosità e la temperatura dell'acqua. Il fosforo totale tende a distribuirsi secondo lo stesso gradiente dei composti azotati (Sechi, 2001).

Dall'osservazione dei dati, si vede come nelle stazioni a sud della laguna, in corrispondenza della foce del Rio Tanui, i valori di P-PO₄³⁻ tendano ad essere più elevati rispetto a quelli delle stazioni più interne della laguna (Sechi, 2001).

Ciò è da mettere in relazione al movimento delle acque che, insieme alla risospensione del sedimento, causano un aumento di P-PO₄³⁻ scambiabile. Infine è da notare come la foce del Rio Tanui abbia in assoluto le concentrazioni più elevate e rappresenti una potenziale fonte di eutrofizzazione della laguna (Sechi, 2001).

L'andamento dei nutrienti disciolti, e gli elevati valori di pH soprattutto nel periodo primaverile, fanno pensare a forti consumi del pool dei carbonati causati dalla forte proliferazione algale (Sechi, 2001).

Le foci degli immissari e i canali di collegamento a mare sono indicate come zone 'potenzialmente pericolose per la fauna ittica' (Sechi, 2001). Vengono inoltre fatte delle osservazioni interessanti sui rapporti azoto/fosforo, indicando l'azoto come elemento limitante (Sechi, 2001). Tale effetto è certamente correlabile all'ortofosfato proveniente dagli equilibri di scambio acqua-sedimento.

Da tali studi pregressi è emerso come, nella Laguna di Cabras, la disponibilità del fosforo risultasse maggiore di quella dell'azoto. Pertanto sussistevano le condizioni per un allarme ambientale (Sechi, 2001).

Successivamente a fine giugno del 1999 una estesa crisi distrofia ha portato ad un collasso ecosistemico della laguna con una totale compromissione del comparto della fauna acquatica.

Uno studio del 2000 ha messo in evidenza la condizione trofica della laguna considerando i principali parametri abiotici, le concentrazioni dei nutrienti disciolti e la clorofilla-a nel periodo compreso tra Giugno 1999-2000, nell'area a nord del bacino e in quella a sud (Sechi, 2001).

I risultati evidenziano andamenti molto oscillanti per il pH e l'ossigeno disciolto. Il primo presenta valori particolarmente bassi (circa 7,5) nei primi giorni di luglio quando la crisi era ancora in atto.

Nei mesi successivi sono state riscontrate fluttuazioni ampie, frequenti e repentine in entrambe le aree monitorate, dove sono state raggiunte e superate le 9 unità. Anche le fluttuazioni dell'ossigeno sono state estremamente variabili, con maggiori oscillazioni nei primi campionamenti.

Successivamente al mese di agosto le percentuali di saturazione dell'ossigeno disciolto sono state sempre maggiori dell'80% con picchi di oltre 150%.

L'azoto ammoniacale è quello che ha mostrato maggiori variazioni tra il periodo corrispondente alla crisi, con i valori massimi (sud: 8515 mg N m⁻³, nord: 6086 mg N m⁻³), e quello seguente, caratterizzato da concentrazioni inferiori sino al mese di agosto, progressivamente più basse nei mesi successivi con valori inferiori ai 50 mg N m⁻³. I nitrati presentano un andamento con concentrazioni inferiori ai 10 mg N m⁻³.

Il fosforo totale ha mostrato concentrazioni quasi sempre superiori ai 200 mg P m⁻³, con massimi in corrispondenza dei campionamenti riferiti alla moria. Si ha un andamento decrescente sino al periodo autunnale, con un successivo aumento nel periodo invernale (717 mg N m⁻³) che tende a regredire in quello primaverile ed estivo.

L'area a nord della laguna presenta valori sempre superiori a quelli dell'area sud. La clorofilla-a presenta le maggiori concentrazioni nei mesi di giugno e luglio. In conclusione nel periodo di studio, la laguna può essere considerata in una condizione di ipertrofia (Sechi, 2001).

La densità fitoplanctonica ha avuto i suoi massimi nei periodi successivi alla moria raggiungendo 6,7 x 10⁷ cell.l⁻¹ con la dominanza della Cianoficea *Anabaena cf. mucosa* Komarkova-Legnerova ed Eloranta.

Nei periodi successivi sono state riscontrate diverse fasi di sviluppo del fitoplancton, con valori sempre inferiori o prossimi ai 300 x 10⁷ cell.l⁻¹ nell'area sud, ma con picchi in dicembre, maggio, luglio.

Il fitoplancton si è sviluppato con dinamiche nettamente differenti nelle due aree, dovute sia ad alcune significative differenze nella composizione in specie che nel loro sviluppo.

I taxa identificati sono stati 64 con una prevalenza di Dinophyceae. Tra le specie osservate alcune hanno dominato la comunità con elevate densità per brevi periodi, mentre altre sono state meno abbondanti, ma sono state presenti durante tutto il periodo di studio (Sechi, 2001).

Le cause della moria del '99 sono state indicate in seguito ad una campagna di misura, effettuata immediatamente dopo l'evento distrofico. In questo studio si evidenzia come l'elevato inquinamento organico dei sedimenti sia alla base dell'estesa moria. Infatti la morte degli organismi presenti sul fondo e nella colonna d'acqua è principalmente dovuta alle condizioni di anossia, e alle immissioni di idrogeno solforato dai sedimenti alla colonna d'acqua (IMC, 1999).

Negli anni 2000-2001 sono state realizzate campagne di monitoraggio riferita alla misura dei dati idrologici della colonna d'acqua, dei nutrienti disciolti e in forma particellata, dei solidi sospesi, della clorofilla-a, e del BOD₅.

Nel periodo 2000-2001, è stata condotta una campagna di campionamento preliminare nella Laguna di Cabras per valutare le caratteristiche chimiche della colonna d'acqua.

In tabella 1 sono riportati i principali valori della variabili idrologiche e chimiche della colonna d'acqua oltre alle condizioni generali meteomarine rilevate durante la campagna preliminare di campionamento 2000-2001 svolta nella Laguna di Cabras.

STUDIO IDRODINAMICO E BIOCHIMICO DELLA LAGUNA DI CABRAS (nutrienti espressi µg/L, solidi sospesi e BOD5 in mg/l)																
Data	stat.	T(°C)	S(psu)	O2(mg/L)	O2(%)	pH	Conduc.	BOD5	N-NO3	N-NO2	N-NH4	P-reat.	N-part.	P-part.	chl-a	Sol.Sos.
11/23/2000	nord	14.6	15.7	7.4	n.d.	8.4	n.d.	2.3	263.31	2.03	n.d.	108.12	n.d.	4266.0	20.94	n.d.
11/23/2000	centro	14	22.6	9.8	n.d.	8.64	n.d.	5.0	78.65	1.61	n.d.	69.14	n.d.	11960.0	26.52	n.d.
11/23/2000	sud	14.6	23.9	9.4	n.d.	8.5	n.d.	5.3	102.04	1.61	n.d.	102.71	n.d.	6366.0	11.17	n.d.
11/23/2000	S.M.	15.9	27.5	6.9	n.d.	8.54	n.d.	4.5	8.74	1.97	n.d.	67.43	n.d.	7134.0	30.71	n.d.
12/5/2000	nord	14.9	19.4	7.46	74	8.96	n.d.	2.9	106.22	1.25	2.02	11.10	112484.0	14532.0	57.23	688
12/5/2000	centro	15	20.7	7.4	73	9.03	n.d.	3.3	0.00	1.73	4.79	0.00	136132.0	14968.0	26.54	532
12/5/2000	sud	14.9	20.9	7.39	73	9.06	n.d.	4.2	0.00	4.06	4.79	1.71	121916.0	15536.0	26.54	480
12/5/2000	S.M.	16.1	25.7	6.2	63	8.68	n.d.	2.2	0.00	1.61	0.00	17.92	85380.0	7464.0	25.14	652
1/22/2001	nord	12	6.9	6.83	62.4	8.84	12.31 mS/cm	2.7	160	33.6	5.53	1.97	n.d.	7820.0	127.77	228
1/22/2001	centro	11.6	8.1	6.41	58.5	8.94	14.32mS/cm	2.5	217.98	30.2	4.24	1.41	117357	6796.0	148.65	220
1/22/2001	sud	11.7	8.8	6.49	59.3	8.51	15.31mS/cm	2.8	94.9	31.8	20.69	1.69	159529	8801.9	150.97	308
1/22/2001	S.M.	14	21	5.3	51.6	8.55	34.1mS/cm	1.8	104.19	26.8	0.00	9.39	120574	6293.1	93.00	376
07/02/01 buone condizioni meteo: sole e leggero vento da sud																
2/7/2001	nord	14.0	3.8	9.31	90.3	9.09	5.75 mS/cm	n.d.	284.69	17.60	3.75	1.97	140364	7756.6	146.33	116
2/7/2001	centro	13.9	6.3	10.39	101.5	9.52	5.52mS/cm	n.d.	0	0.95	16.82	1.97	134241	7129.3	174.07	252

2/7/2001	sud	14.4	6.8	10.6	104.1	9.60	8.5mS7cm	n.d	1.17	0.95	6.62	1.97	93790	7422.0	144.00	336
2/7/2001	S.M.marea uscente	15.4	9.8	10.5	104	9.41	6.22mS7cm	n.d	0	0.89	0.88	1.69	120380	7526.6	141.63	216
12/4/01 presenza di vento di maestrale ed onde																
4/12/2001	nord	15.7	7.4	7.6	n.d.	8.3	n.d.	3.02	0	1.29	14.54	26.98	100337	4692	30.26	484
4/12/2001	centro	16	8.6	7.2	n.d.	7.6	n.d.	2.125	40.81	23.89	92.20	8.43	32552	3832	69.84	356
4/12/2001	sud	15.2	8.7	7	n.d.	7.3	n.d.	1.62	58.95	35.28	125.87	9.55	30633	1683	23.28	264
4/12/2001	S.M marea uscente	16	23.7	7.6	n.d.	7.9	n.d.	1.72	46.40	34.83	28.16	31.01	18646	1260	23.28	732
27/04/1 presenza di nubi, no vento. Nei giorni antecedenti al campionamento ci sono stati alcuni giorni di sole: probabile bloom algale																
4/27/2001	Nord	18.1	8.1	7.29	80	8.6	n.d.	4.85	0	0	23.145	0	29613	1460.2	25.57	n.d
4/27/2001	Centro	18.1	10	7.61	79.9	n.d.	n.d.	4.44	0	0	13.594	0	66236	n.d.	12.80	n.d
4/27/2001	Sud	18	11.5	7.65	80.8	8.4	n.d.	4.42	0	0	6.161	0	51509	348.24	22.10	n.d
4/27/2001	S.M marea uscente	18.1	30.2	6.87	73.2	7.95	n.d.	2.49	3.08	0	2.5411	0	20005	0	15.12	n.d
data	stat.	T(°C)	S(psu)	O2(mg/L)	O2(%)	pH	Conduc.	BOD5	N-NO3	N-NO2	N-NH4	P-reat.	N-part.	P-part.	chl-a	Sol.Sos.
6/5/2001	Nord	23.6	10.2	8.28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	n.d.	1.7	n.d.	14.33	n.d.	n.d.	39.49	n.d
6/5/2001	Centro	23.8	13	8.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	n.d.	1.0	n.d.	2.25	n.d.	n.d.	20.93	n.d
6/5/2001	Sud	24.2	13.8	8.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	n.d.	1.0	n.d.	5.76	n.d.	n.d.	25.58	n.d
6/5/2001	S.M.	23.4	33.3	n.d	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	n.d.	1.0	n.d.	23.04	n.d.	n.d.	9.31	n.d
vento inesistente caldo torrido																

Nord	25	15.8	6.52	79.3	n.d.	n.d.	3.33	n.d.	3.2	21.39	24.40	25850	2279	2.33	424	
Centro	25.7	18.8	7.42	91.2	n.d.	n.d.	4.1	n.d.	2.9	14.01	0.28	22083	1730	2.33	724	
Sud	25.1	20.4	7.75	92.9	n.d.	n.d.	3.72	n.d.	4.2	18.62	0.00	20466	1221	0.00	660	
S.M.	26	37.5	8.06	102.1	n.d.	n.d.	3	n.d.	0.8	4.33	1.42	11788	1501	6.98	1120	
tempo buono senza vento																
Nord	26.7	21.4	5.05	62.5	n.d.	n.d.	4.22	n.d.	3.94	17.70	79.86	42203	3040	97.41	520	
Centro	26.3	24	7.5	96	n.d.	n.d.	5.48	n.d.	2.06	8.02	66.79	58694	6605	164.25	568	
Sud	26.9	25.8	8.11	100	n.d.	n.d.	7.73	n.d.	1.89	8.94	70.48	58798	8541	285.68	632	
S.M.	26.5	38	4.94	49.2	n.d.	n.d.	1.5	n.d.	1.37	1.56	0.00	20598	1849	31.39	960	

Tabella 1. Valori della variabili idrologiche e biogeochimiche della colonna d'acqua relativi alla campagna preliminare di campionamento 2000-2001 svolta nella Laguna di Cabras.

Le informazioni emerse dalle attività pregresse sui trend di trasporto dei sedimenti e dalle analisi biochimiche richieste mettono in evidenza che:

- (i) l'idrodinamismo ed in particolare l'azione del vento sulle masse d'acqua sono le principale forzanti nel trasporto, risospensione e deposizione dei sedimenti;
- (ii) c'è una stretta relazione tra sedimenti e colonna d'acqua;
- (iii) il tasso di sedimentazione è strettamente legato alle caratteristiche idrodinamiche della Laguna di Cabras;

Dai risultati ottenuti, la laguna permane in una condizione di ipertrofia con valori particolarmente elevati di nutrienti disciolti e della biomassa fitoplanctonica.

I risultati del campionamento preliminare 2000-2001 hanno evidenziato una corrispondenza tra le basse concentrazioni di fosfato e il picco di clorofilla-a nella colonna d'acqua nei mesi invernali, e più alti valori di fosfato in autunno.

E' stata inoltre evidenziata una stretta correlazione (simile andamento temporale) tra il fosforo totale (TP) nella colonna d'acqua e quello dei sedimenti, suggerendo un rilascio dai sedimenti verso la colonna d'acqua.

Sulla base dei risultati raggiunti nel periodo 2000 2001, sono state realizzate campagne di misura nel 2003 nella sola Laguna di Cabras e programmate per il 2006-2007 delle campagne di misura stagionali, quest'ultime realizzate sia nella Laguna di Cabras che nel Golfo di Oristano. Vista la stretta correlazione del fosforo totale (TP) nella colonna con quello dei sedimenti, nella campagne 2006-2007 nella colonna d'acqua tale variabile non è stata indagata.

CAP 1 - VARIABILITÀ SPAZIO-TEMPORALE DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE E CHIMICO-FISICHE

INTRODUZIONE

Tra l'estate 2002 e il periodo invernale 2003, sono state realizzate campagne di misura periodiche stagionali nella sola Laguna di Cabras mentre tra l'autunno 2006 e l'estate 2007, sono stati realizzati analoghi campionamenti stagionali sia nella Laguna che nel Golfo di Oristano.

In entrambi i periodi, le stazioni di campionamento sono state scelte nei principali affluenti alla Laguna di Cabras, all'interno della laguna stessa. Nel solo periodo 2006-2007, è stata effettuata una campagna di misura nel Golfo di Oristano, nella sola zona antistante alla laguna.

Per Laguna di Cabras, Sulla base della superficie della laguna, delle sue caratteristiche morfologiche ed idrodinamiche, sono state considerate quattro aree di campionamento rappresentanti due bacini: Bacino centro-Nord (area nord (C06), area centro-nord (C12)) e Bacino centro-Sud (area centro-sud (C26) e area sud (C31). Sono stati inoltre monitorati i due principali affluenti della laguna nei seguenti punti: il Canale Rio Mare Foghe all'altezza del ponte di Riola Sardo ad una distanza di circa un chilometro dalla foce (MF) e il Canale Rio Tanui alla foce dello stesso canale (RT).

La stazione a mare, nel Golfo di Oristano, è stata selezionata in quanto doveva avere caratteristiche di oligotrofità tipica degli ambienti marini. Per questo motivo è stato scelto un punto distante circa 1,5 miglia dallo sbocco a mare della laguna (GL) (figura 1).

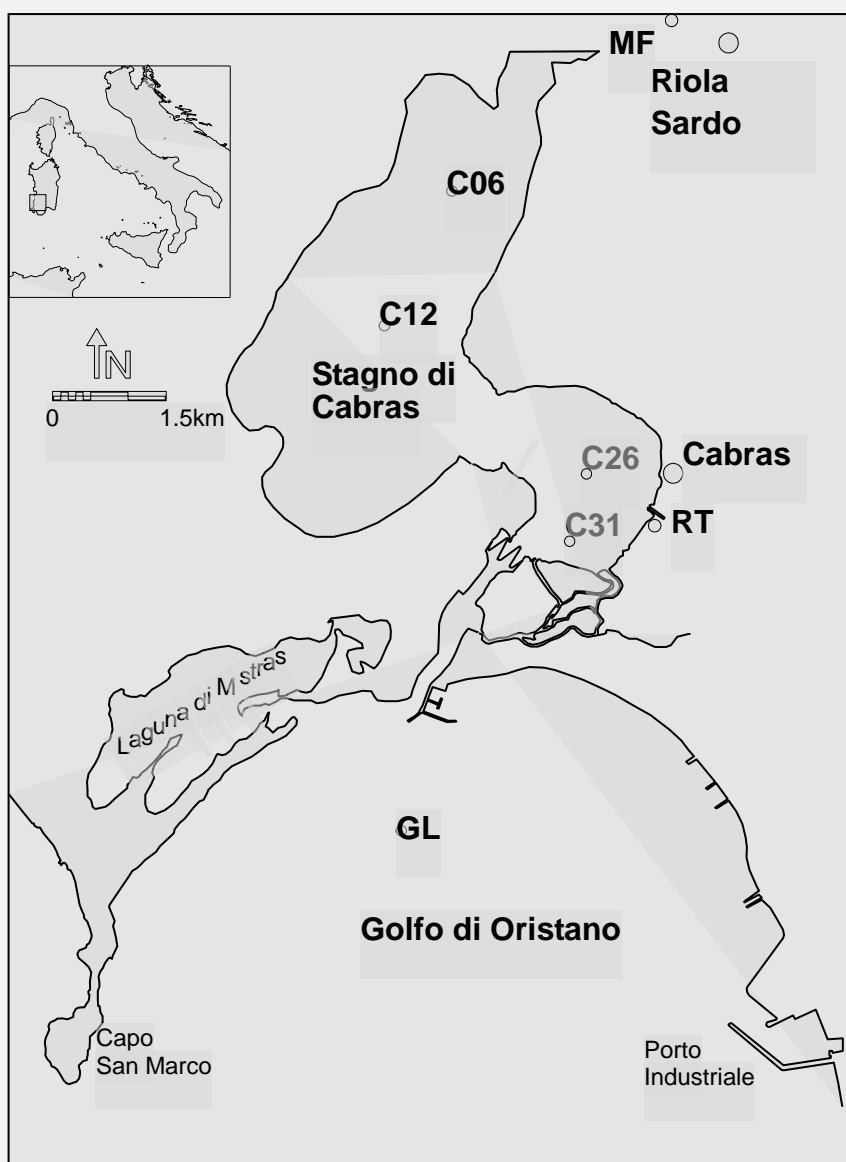


Figura 1. Area di studio

MATERIALE E METODI

I campionamenti delle area sono state effettuati con frequenza quindicinale tra luglio 2002 e dicembre 2003, nella sola Laguna di Cabras, e tra novembre 2006 e agosto 2007 per laguna e golfo. Le operazioni in campo sono avvenute tra le 9:30 e le 11:30 del mattino.

Si è campionato in questo intervallo di tempo per garantire una corretta comparazione dei dati tra aree e campionamenti diverse. In ogni stazione di campionamento sono state eseguite le seguenti misure e prelievi per le variabili idrologiche tramite l'utilizzo di una sonda multi-parametrica (HYDROLAB Mod. Data Sonde 4a).

Sono stati misurati i valori di Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Salinità (psu), O_2 (mg/l, %), e Torpidità (NTU). I valori del pH sono stati attenuti con una sonda da campo (CRISON pHmeter 507). Sono stati eseguiti dei profili verticali della colonna d'acqua di Temperatura, Salinità, Ossigeno, e Torbidità.

In ogni area sono stati prelevati quattro campioni d'acqua con l'utilizzo della bottiglia Niskin (2 in superficie, 2 sul fondo). I campioni sono stati conservati in bottiglie scure di polietilene (2L), e mantenute al buio in un ambiente di $\sim 4^{\circ}\text{C}$ sino all'arrivo in laboratorio (entro le due ore dal prelievo).

In laboratorio i campioni sono stati suddivisi in sottocampioni e trattati in maniera diversa. Per le misurazioni di NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , sono stati filtrati 250 ml di acqua con filtri Whatman GF/F (porosità $0,45\ \mu\text{m}$), e successivamente analizzato il campione con l'autoanalyser Systea μCHEM MP4 in accordo con i metodi Bethelot e Strickland&Parson (1972). Per la determinazione della Sostanza Organica (SO) e i Solidi Sospesi (SS), è stato utilizzato il materiale filtrato per l'analisi dei nutrienti in accordo con IRSA-CNR (2003).

Laguna – Golfo	2006		2007											
	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Nutrienti di sciolti ^A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Particellato	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
BOD5														

NOTA ^A	Variabili misurate	
Nut. Disciolti	NH ₄ ⁺	X
Nut. Disciolti	NO ₃ ⁻	X
Nut. Disciolti	NO ₂ ⁻	X
Nut. Disciolti	PO ₄ ³⁻	X
Particolato	POC	*
Particolato	TC	X
Particolato	PON	*
Particolato	TPN	*
Particolato	POP	*
Particolato	TPP	*
Particolato	Chl-a	X
Particolato	Feo.	X
Particolato	SS	X

Tabella 2a. Tabella riassuntiva delle campagne di campionamento per le variabili chimiche svolte nella laguna e nel golfo. * Variabili idrologiche non misurate nella colonna d'acqua.

(a) Laguna	2002						2003												/	2006		2007											
	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	9-12			
Temperatura (°C)	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Salinità (psu)	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
O ₂ (mg/l,%)	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
pH				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Torpidità (NTU)																			/				X	X	X	X	X	X					
(b) Golfo	2002						2003												/	2006		2007											
Variabili	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	9-12			
Temperatura (°C)																			/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Salinità (psu)																			/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
O ₂ (mg/l,%)																			/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
pH																			/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Torpidità (NTU)																			/				X	X	X	X	X	X					

Tabella 2b. Tabella riassuntiva delle campagne di campionamento per variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua svolte (a) nella laguna e (b) nel golfo negli anni 2002 200,3 e 2006 2007

Per clorofilla-a, feopigmenti, 150 – 500 ml a seconda della torpidità dell'acqua sono stati filtrati con filtri Whatman GF/F (porosità 0,45 µm). Dal filtro così ottenuto si è proceduto all'estrazione dei pigmenti in acetone al 90%, mantenendo il campione ad una temperatura di 4 °C per un periodo non superiore alle 24h.

Successivamente il campione è stato analizzato allo spettrofotometro a doppio raggio (JASCO V-530) in accordo con Morabito (1997).

Sulla base dei risultati ottenuti negli studi pregressi sono state realizzate campagne di misura in periodi diversi negli anni 2002-2003 nella sola laguna e replicate le misure nel 2006-2007 nelle stesse stazioni della Laguna di Cabras con in aggiunta una ulteriore stazione di riferimento nel Golfo di Oristano.

RISULTATI

Una descrizione delle campagne di campionamento per le variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua svolte (a) nella laguna e (b) nel golfo negli anni 2002 2003 e 2006 2007 è riportata in tabella 2.

Una descrizione delle date di campionamento e delle variabili chimico-biologiche misurate nella campagna di campionamento 2006-2007 è riportata nelle tabella 2.

I valori medi della temperatura e della salinità (figura 2, 3, 4, 5) nelle campagne di misura del 2002-2003 nella laguna di Cabras confrontati con le medie storiche riferite al periodo 1985-2000 (Uras et al., 2001).

Nelle figure 6, 7 vengono riportati i profili verticali delle variabili chimico-fisiche nella Lagna di Cabras nelle aree di campionamento in estate 2007 e inverno 2007 confrontati con le medie storiche riferite al periodo 1985-2000 (Uras et al., 2001).

LAGUNA DI CABRAS

ESTATE

Nelle date di campionamento relative alla estate 2002, i valori di saturazione di ossigeno sul fondo sono vicini al 40% in tutte le stazioni di campionamento tranne la C12. In particolare nelle due stazioni localizzate più a sud della laguna sono stati registrati valori di saturazione di ossigeno sul fondo prossimi alla anossia (figura 2).

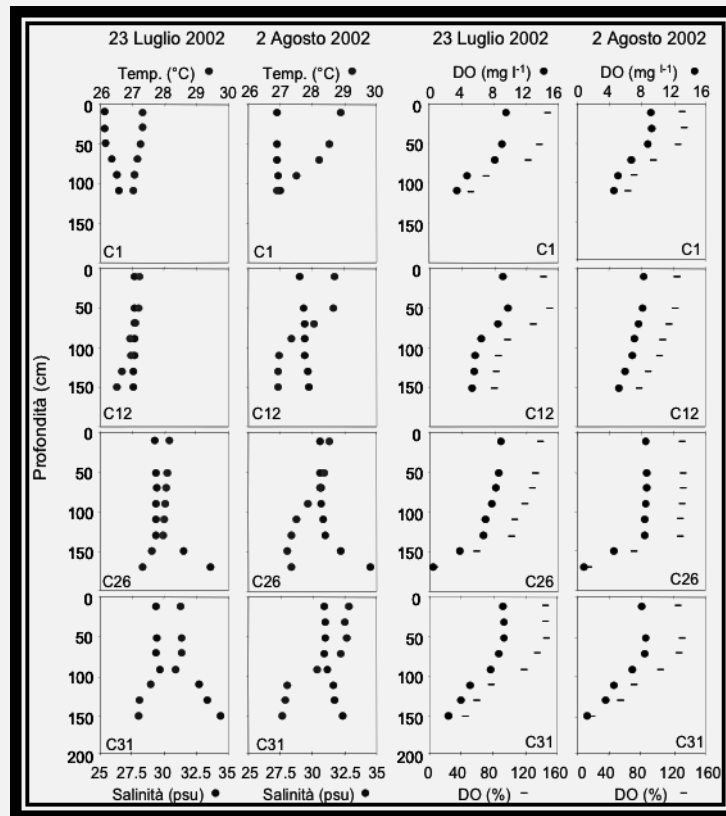


Figura 2. Profili verticali variabili chimico-fisiche Laguna di Cabras - Estate 2002

Nella estate (agosto 2003), i valori di saturazione di ossigeno sul fondo non raggiungono mai i livelli minimi registrati nella estate 2002 (figura 3). La stessa situazione si presenta anche per settembre 2003.

La temperatura ($26,48 \pm 1,17$ °C) e salinità ($14,34 \pm 2,90$ psu) sono molto diversi dalle medie storiche. Infatti la temperatura è superiore di circa 2 °C, mentre la salinità è inferiore di quasi 8 psu. Infine i valori medi del pH sono: $8,31 \pm 0,08$.

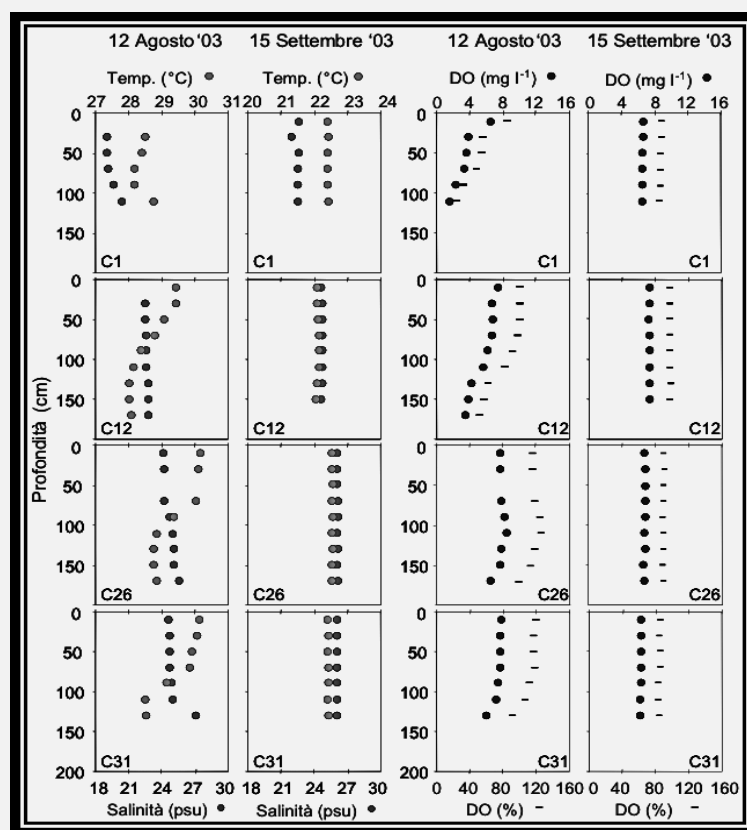


Figura 3. Profili verticali variabili chimico-fisiche Laguna di Cabras - estate- 2003

La Laguna di Cabras è un ambiente poco profondo pertanto la temperatura e la salinità sono fortemente dipendenti dai flussi di calore all'interfaccia aria-acqua. Tali flussi di calore hanno una variabilità stagionale ed interannuale. In particolare in estate le variazioni di calore entrante possono generare variabilità significative di Temperatura e Salinità. Pertanto tali differenze potrebbero essere dovute alle condizioni di

irraggiamento dell'estate 2002 e più in generale ai diversi forzanti atmosferici.

INVERNO

Nell'inverno 2003 le temperature della colonna d'acqua sono basse per il periodo, inferiori ai 10°C. Il valore di $(8,95 \pm 1,14 \text{ } ^\circ\text{C})$ è comunque comparabile con quelle delle medie storiche. Anche la salinità è inferiore di circa ~ 2 psu rispetto alle medie storiche (figura 4).

Questo farebbe supporre sia dovuto ad acqua dolce nella laguna dovuto a condizioni meteomarine avverse con periodo prolungato di piogge.

Il 10 Gennaio 2003, I valori di ossigeno si mantengono costanti sul primo metro (circa 9 mg/l) per diminuire (sino a circa 4 mg/l) con la profondità ma senza raggiungere valori di ipossia (figura 4).

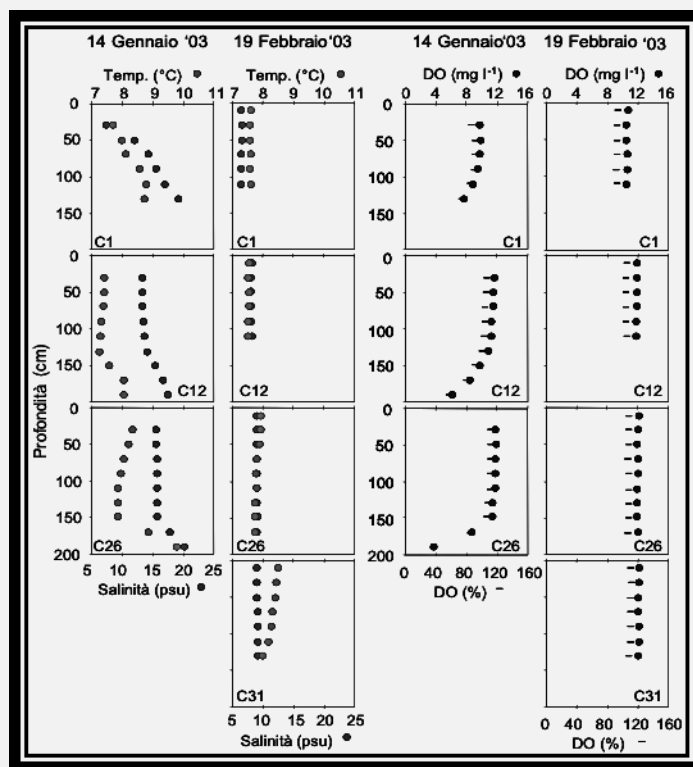


Figura 4. Profili verticali delle variabili chimico-fisiche nelle aree di campionamento della Laguna di Cabras in inverno 2003 (Gennaio - Febbraio)

Il 10 Febbraio 2003 I valori dell'ossigeno ($10,35 \pm 2,01$ (mg/l)), mantengono livelli di saturazione costanti, probabilmente dovuti a un rimescolamento delle acque dovute ad un forte vento, e non si registrano fenomeni di ipossia o anossia (figura 4).

Nell'inverno 2006-2007 le temperature ($12,98 \pm 1,75$ °C) sono superiori di ~ 2 °C, mentre la salinità ($14,67 \pm 2,60$ psu) è minore di ~ 2 psu rispetto alle medie storiche (figura 6).

I valori dell'ossigeno mantengono livelli di saturazione costanti su tutta la colonna e non si registrano fenomeni di ipossia o anossia (figura 6).

Il pH ($8,37 \pm 0,39$) è più basso rispetto all'inverno del 2001, in relazione ad una evidente diminuzione della biomassa fitoplanctonica (Appendice -1).

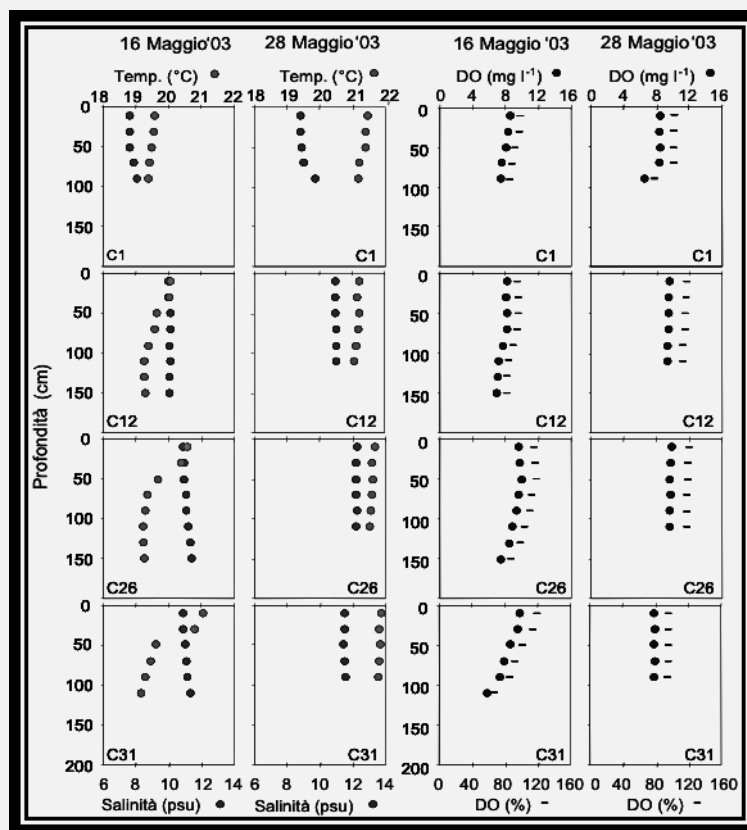


Figura 5. Profili verticali variabili chimico-fisiche Laguna di Cabras - Primavera 2003

PRIMAVERA

Nel maggio 2003 le temperature variano da 19 °C nelle stazioni a nord a valori superiori ai 21 nella zona sud. Non mostrano differenze rilevanti tra il 16 e il 28 maggio 2003.

L'ossigeno è costante su tutta la colonna e mantiene valori medi di saturazione superiori al 40% sul fondo e approssimativamente vicini al 80 % in superficie e nel resto della colonna d'acqua (figura 5)

Le temperature ($16,39 \pm 3,70$ °C) sono superiori di ~ 1 °C e la salinità ($9,48 \pm 1,75$ psu) inferiore di ~ 4 psu rispetto alle medie storiche riferite al periodo 1985-2000 (figura 69).

L'ossigeno, ($8,75 \pm 1,42$ mg/l) e ($9,52 \pm 12,50$ %), mantiene valori medi di saturazione inferiori al 100% (figura 6) mentre quelli del pH ($8,24 \pm 0,13$) non sono particolarmente elevati, ciò è indicativo di una condizione ambientale non influenzata da forti proliferazioni algali.

GOLFO DI ORISTANO

Nelle figure 6, 7 vengono riportati i profili verticali delle variabili chimico-fisiche nella Laguna di Cabras, nelle aree di campionamento in estate 2007 e inverno 2007, e, nel Golfo di Oristano, in figura 8. I dati sono stati confrontati con le medie storiche riferite al periodo 1985-2000 (Uras et al., 2001).

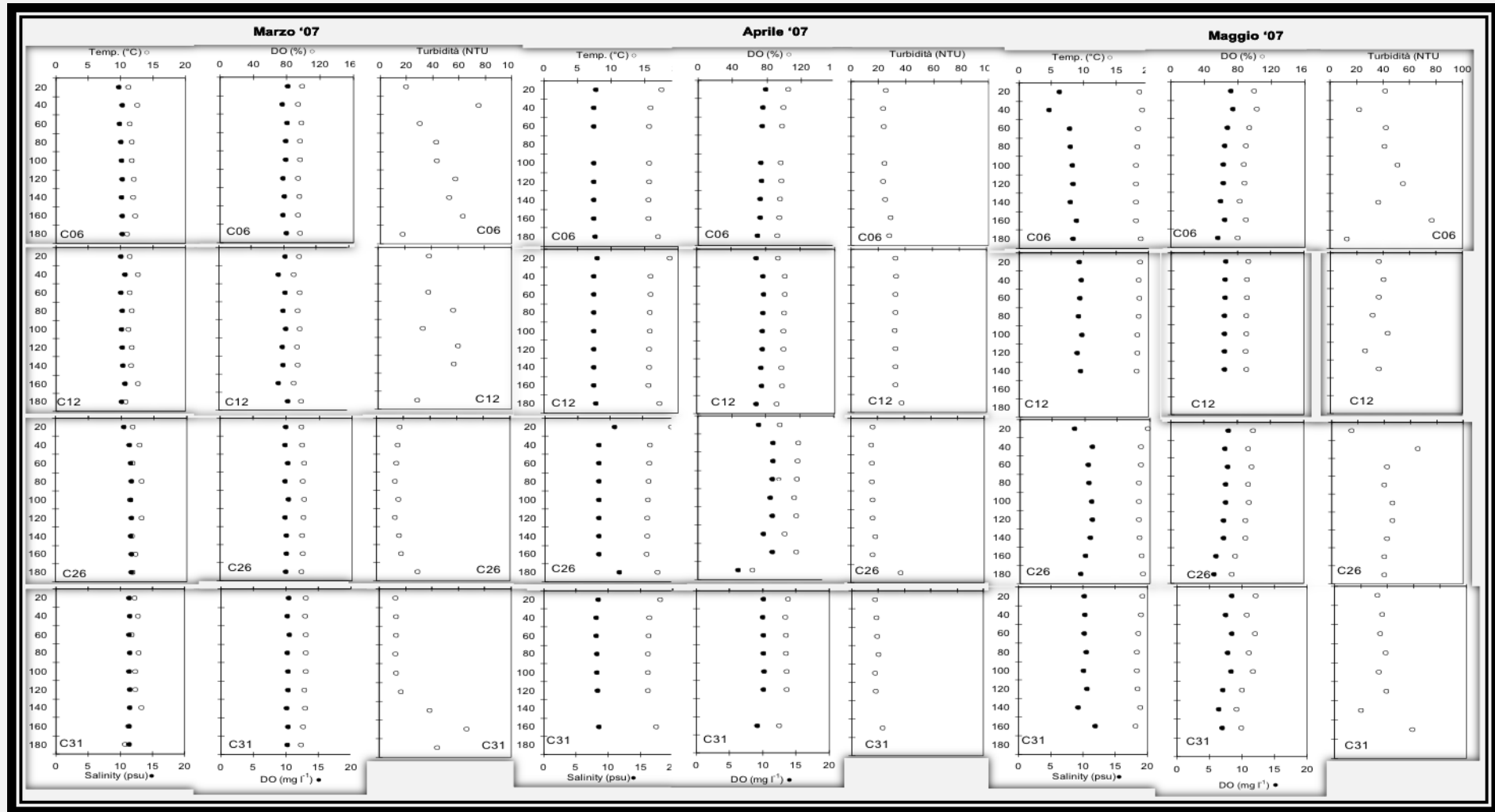


Figura 6. Profili verticali delle variabili chimico-fisiche nella laguna di Cabras nelle aree di campionamento in primavera 2007

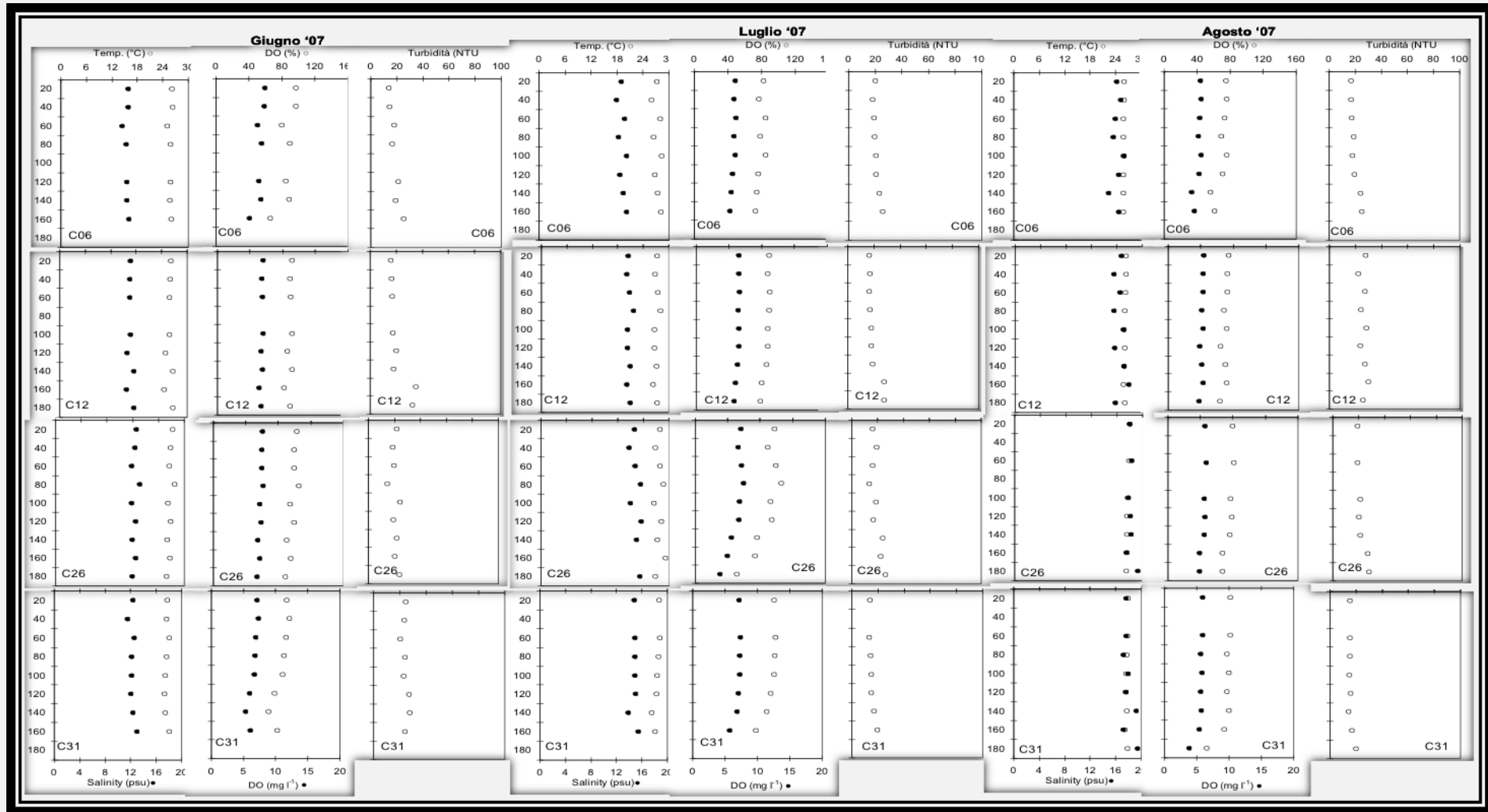


Figura 7. Profili verticali delle variabili chimico-fisiche nella laguna di Cabras nelle aree di campionamento in estate 2007

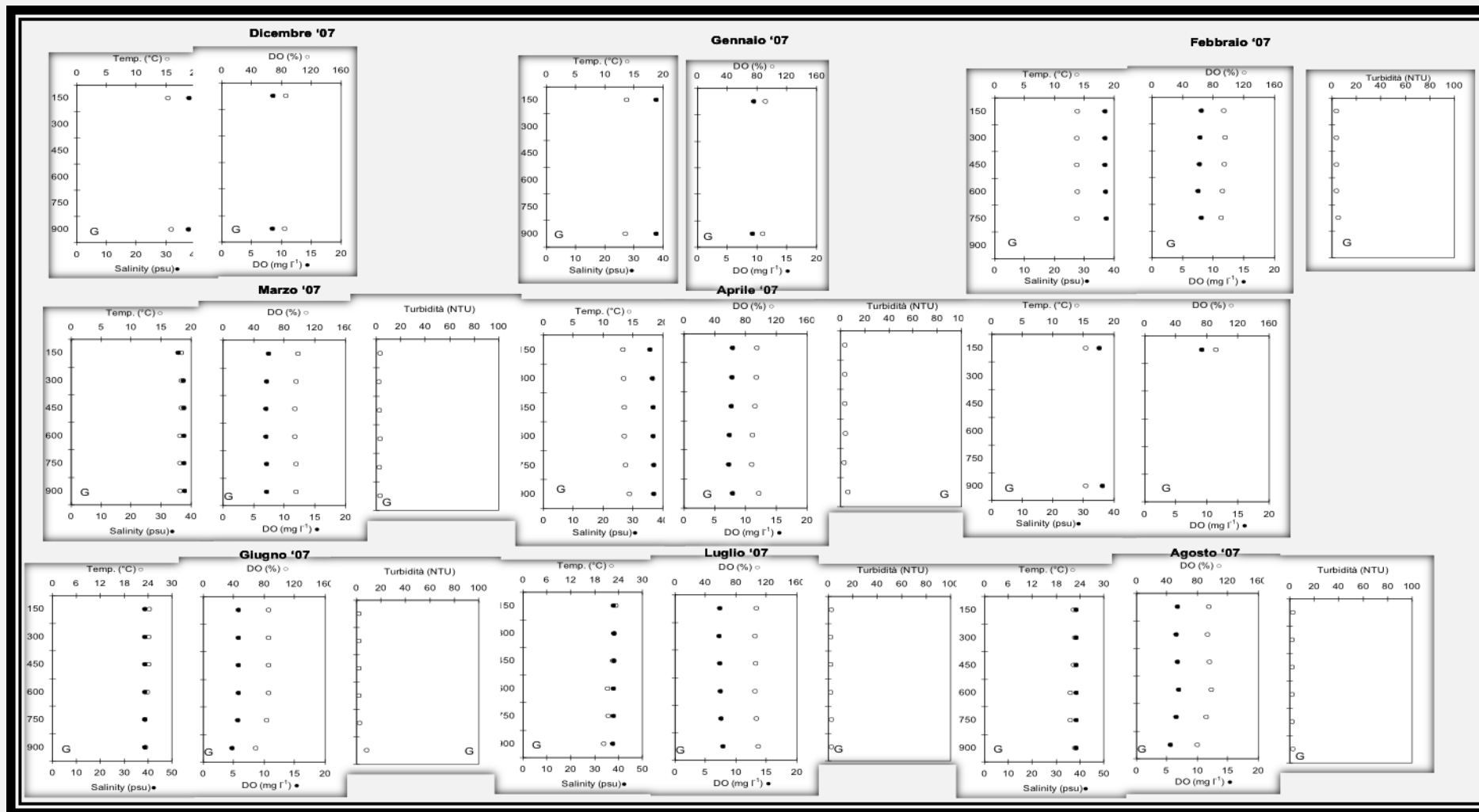


Figura 8. Profili verticali delle variabili chimico-fisiche nel Golfo di Oristano, riferite all'inverno, primavera, e estate 2007.

INVERNO - GOLFO DI ORISTANO

Le temperature hanno un valore medio di $14,65 \pm 1,71$ °C, la salinità di $37,42 \pm 0,35$ psu, l'ossigeno disciolto di $8,48 \pm 0,74$ mg/l ($85,99 \pm 6,00$ %), ed il pH di $8,11 \pm 0,30$ (figura 8).

PRIMAVERA - GOLFO DI ORISTANO

Le temperature hanno un valore medio di $16,06 \pm 2,20$ °C, la salinità di $37,13 \pm 1,39$ psu, l'ossigeno disciolto di $6,82 \pm 1,85$ mg/l ($89,08 \pm 10,21$ %), ed il pH di $8,05 \pm 0,10$.

ESTATE - GOLFO DI ORISTANO

Le temperature hanno un valore medio di $22,32 \pm 1,86$ °C, la salinità di $38,09 \pm 0,34$ psu, l'ossigeno disciolto di $6,58 \pm 1,23$ mg/l ($95,12 \pm 16,6$ %) e il pH di $8,16 \pm 0,05$ (figura 8).

DISCUSSIONE

LAGUNA DI CABRAS

Dal confronto si evidenzia una maggiore temperatura e una minore salinità rispetto alle medie storiche, con le differenze maggiori in estate. La variazione della salinità può essere messa in relazione ad uno limitato scambio tra il mare e la laguna, che raggiunge il suo massimo nella stagione estiva.

Nelle stagioni monitorate, l'ossigeno non indica mai delle condizioni di ipossia o anossia nelle aree monitorate. Tuttavia i valori sono stati presi sempre in un intervallo di tempo che va dalle 9:30 e le 11:30 del mattino, quando cioè l'attività fotosintetica degli autotrofi tende ad aumentare e ad annullare la richiesta di ossigeno per la attività respiratorie dell'intero sistema.

E' possibile infatti che valori ipossici e anossici si riscontrino sul fondo durante la notte. I livelli di saturazione tendono a diminuire

progressivamente dall'inverno all'estate. I valori di pH sono maggiori in inverno in relazione ad un aumento della biomassa fitoplanctonica.

GOLFO DI ORISTANO

Le variabili chimico-fisiche sono in accordo con un ambiente marino costiero. Non si hanno stratificazioni evidenti della colonna d'acqua in relazione alla sua scarsa profondità.

La temperatura e la salinità seguono un andamento crescente dall'inverno all'estate in linea con le medie stagionali.

I valori dell'ossigeno e del pH non hanno oscillazioni dei valori medi rilevanti, ciò è indicativo di un ambiente stabile e un basso arricchimento organico.

CAP. 2 - VARIABILITÀ SPAZIO-TEMPORALE DEI NUTRIENTI, CLOROFILLA-a E SOLIDI SOSPESI

Nelle figura da 9 a 16 vengono riportati i valori medi rilevati in superficie e sul fondo delle principali variabili chimico-biologiche nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

INVERNO - LAGUNA DI CABRAS

La concentrazione media del DIN è di $3,91 \pm 3,28 \mu\text{mol/l}$ (NH_4^+ : $3,12 \pm 2,70 \mu\text{mol/l}$, NO_3^- : $0,61 \pm 0,63 \mu\text{mol/l}$, NO_2^- : $0,18 \pm 0,15 \mu\text{mol/l}$). I valori medi del PO_4^{3-} sono: $0,11 \pm 0,07 \mu\text{mol/l}$ (figure 9-10-11-12).

I valori medi del DIN/DIP sono di $46,00 \pm 37,99$ (figura 13).

Non si hanno stratificazioni della colonna d'acqua, e le singole variabili seguono un andamento descritto nelle figure 9-10-11-12-13.

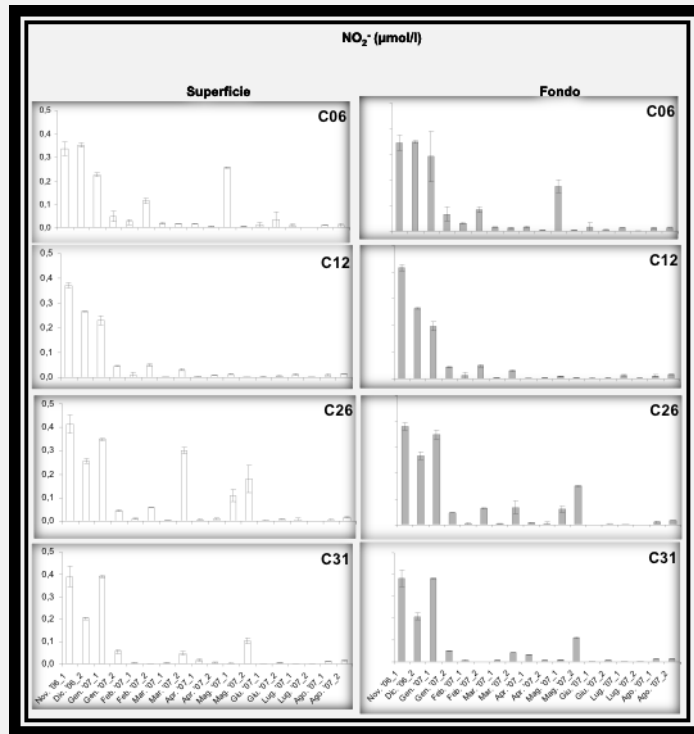


Figura 9. Valori medi di NO_2^- ($\mu\text{mol/l}$) (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

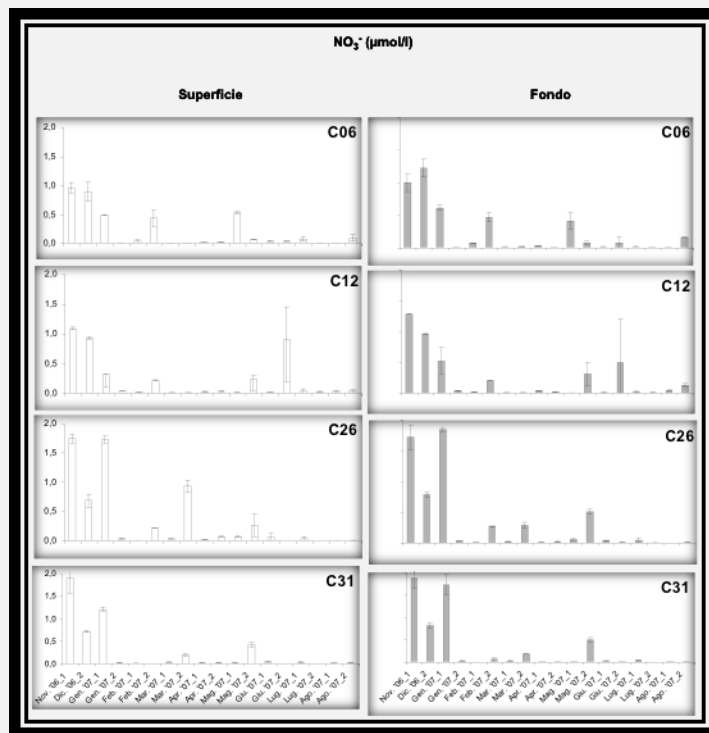


Figura 10. Valori medi di NO_3^- ($\mu\text{mol/l}$) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

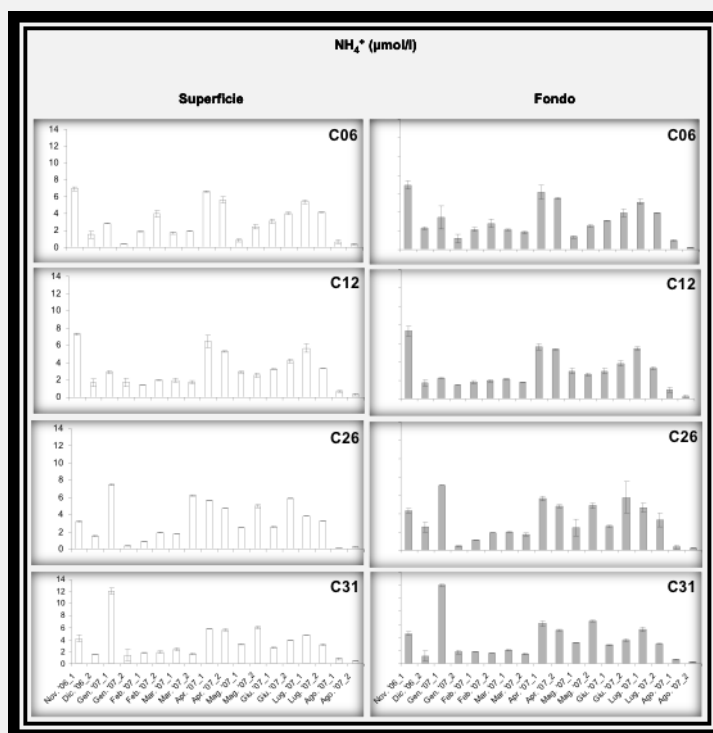


Figura 11. Valori medi di NH_4^+ ($\mu\text{mol/l}$) (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

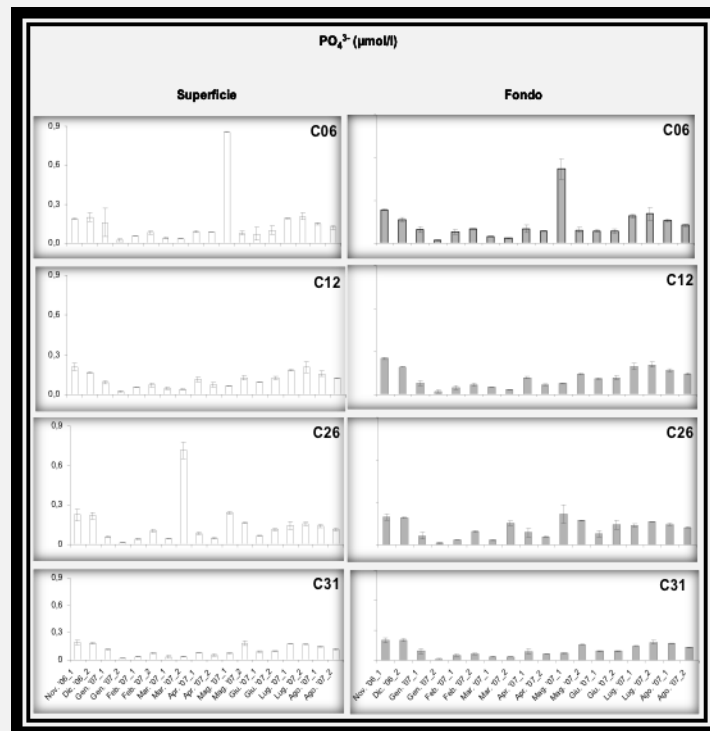


Figura 12. Valori medi di PO_4^{3-} ($\mu\text{mol/l}$) (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

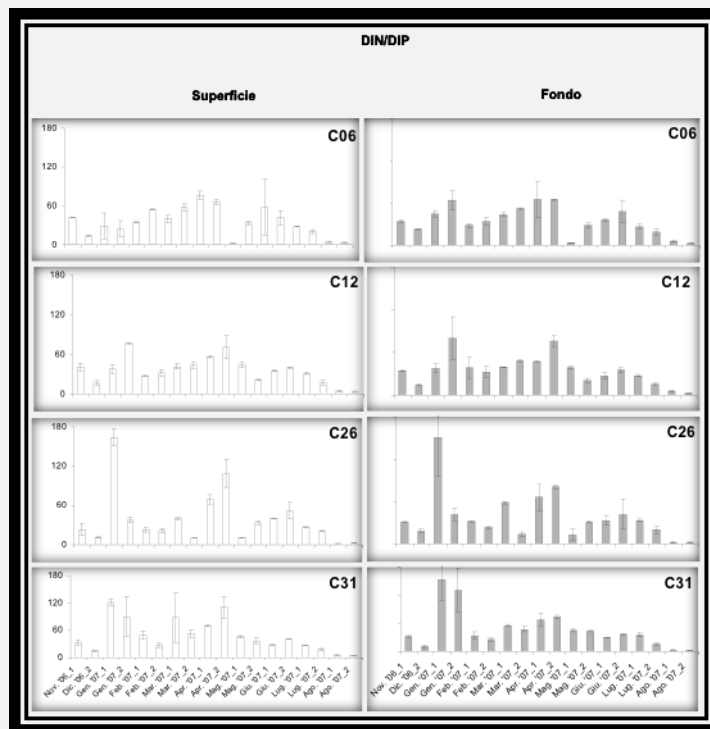


Figura 13. Valori medi di DIN/DIP (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

La clorofilla-a ha il valore medio di $39,68 \pm 26,58 \mu\text{g/l}$ (Feo.: $14,53 \pm 11,46 \mu\text{g/l}$, chl/feo: $4,15 \pm 3,23$).

Non si hanno stratificazioni della colonna d'acqua e nei mesi di gennaio e febbraio sono evidenti dei bloom algali (figura 14-15-16).

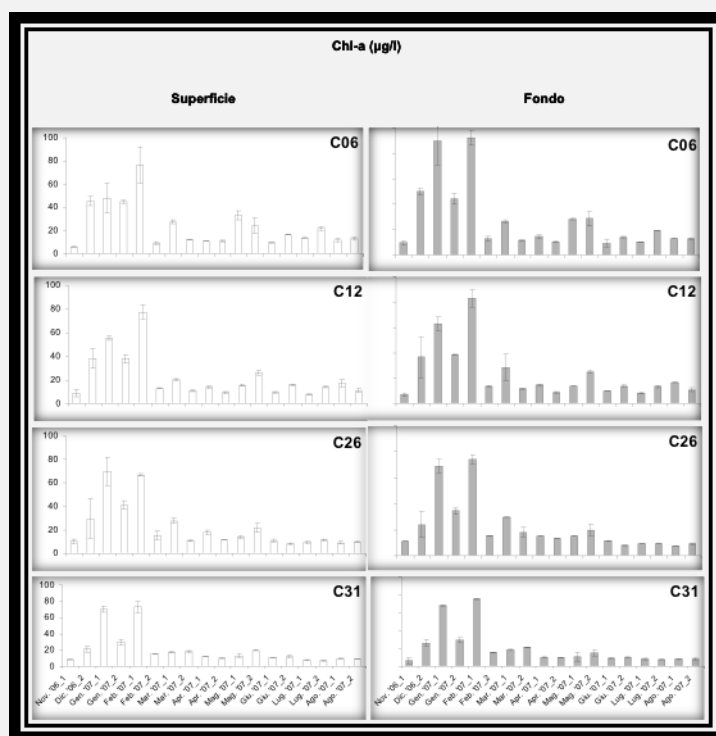


Figura 14. Valori medi di clorofilla-a ($\mu\text{g/l}$) \pm DS (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

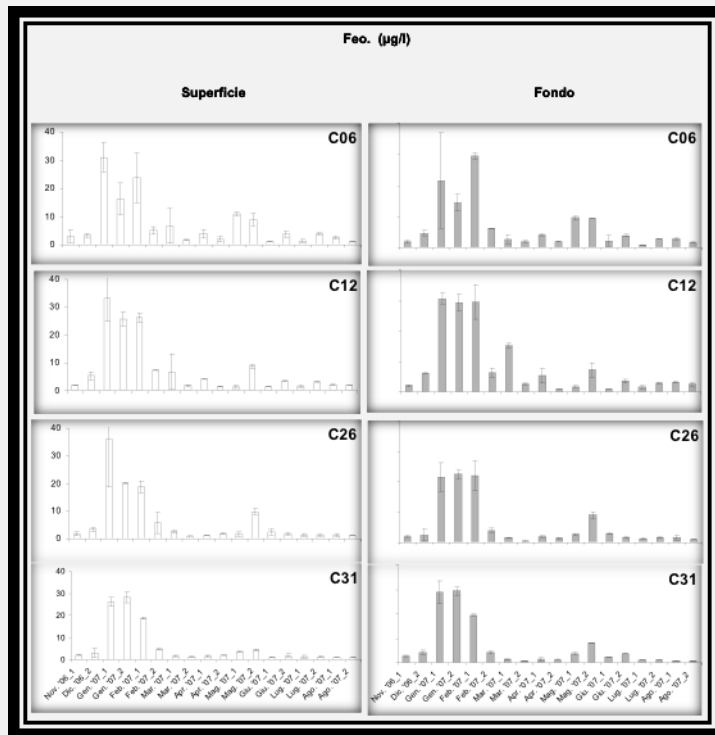


Figura 15. Valori medi di feopigmenti ($\mu\text{g/l}$) (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

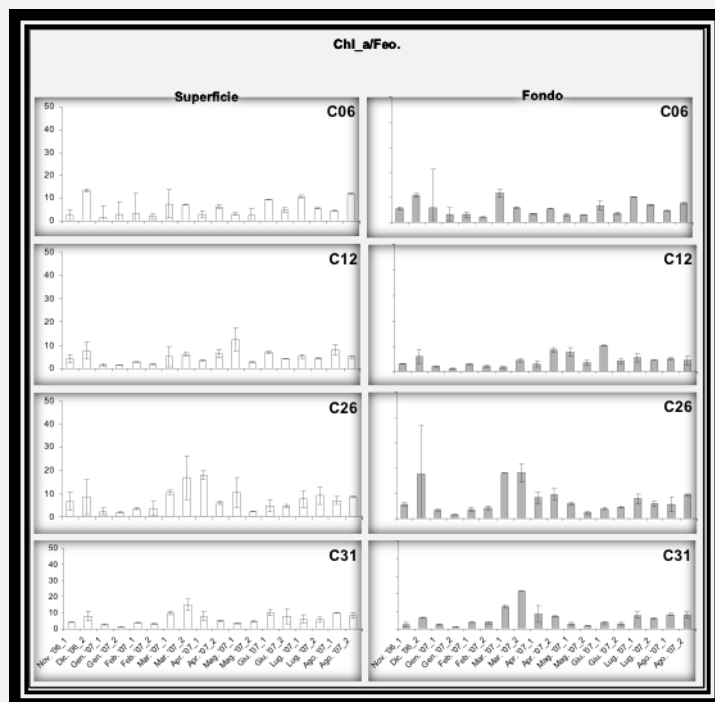


Figura 16. Valori medi di clorofilla-a ($\mu\text{g/l}$) (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

I valori medi della sostanza organica ($10,97 \pm 3,94$ mg/l) e dei solidi sospesi ($33,72 \pm 20,15$ mg/l), sono in linea con quelli attesi da ambienti eutrofici di transizione.

Non si hanno delle evidenti stratificazioni della colonna d'acqua. Il rapporto SO/SS% ha i seguenti valori medi: $38,87 \pm 13,98$. La SO diminuisce a febbraio ed un aumenta nei restanti mesi inversamente all'andamento dei SS (figura 17-18-19).

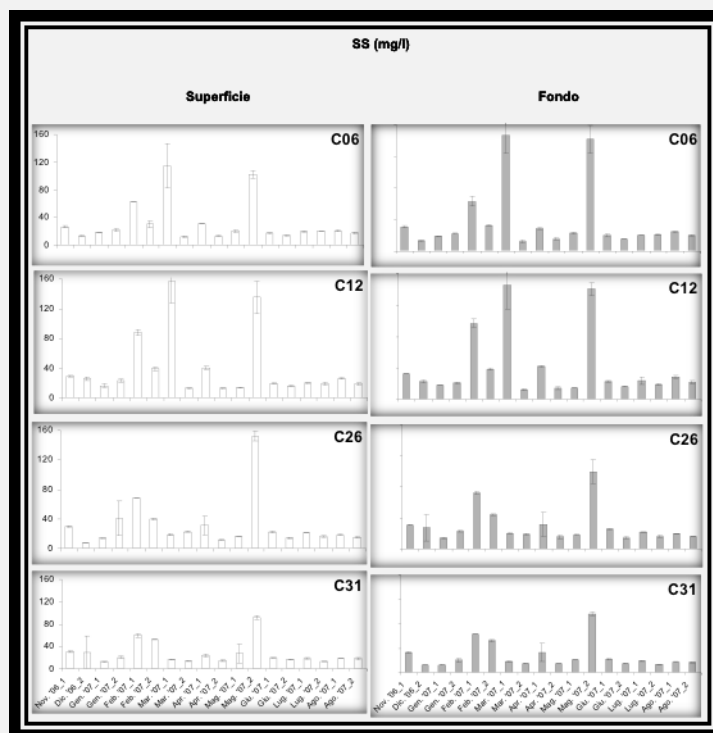


Figura 17. Valori medi di SS (mg/l) (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

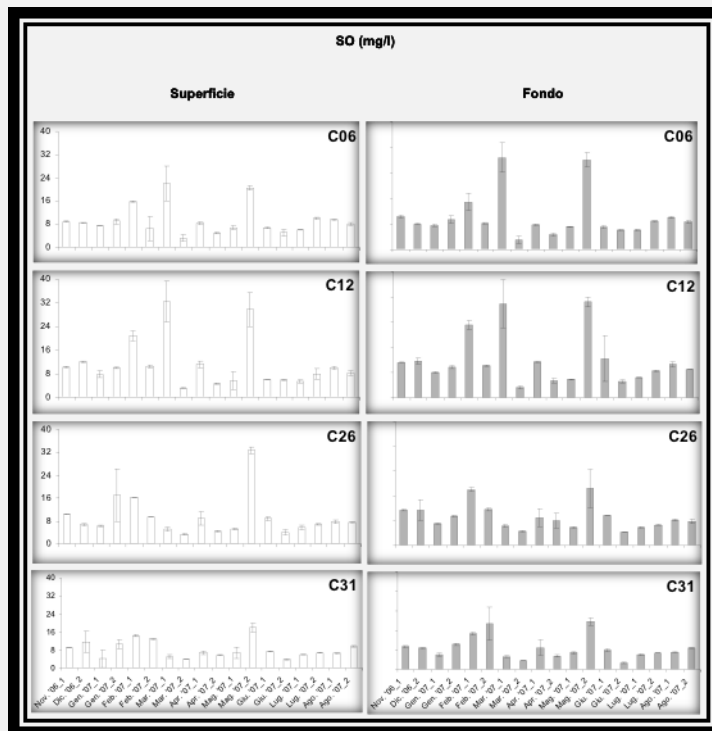


Figura 18. Valori medi di SO (mg/l) (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

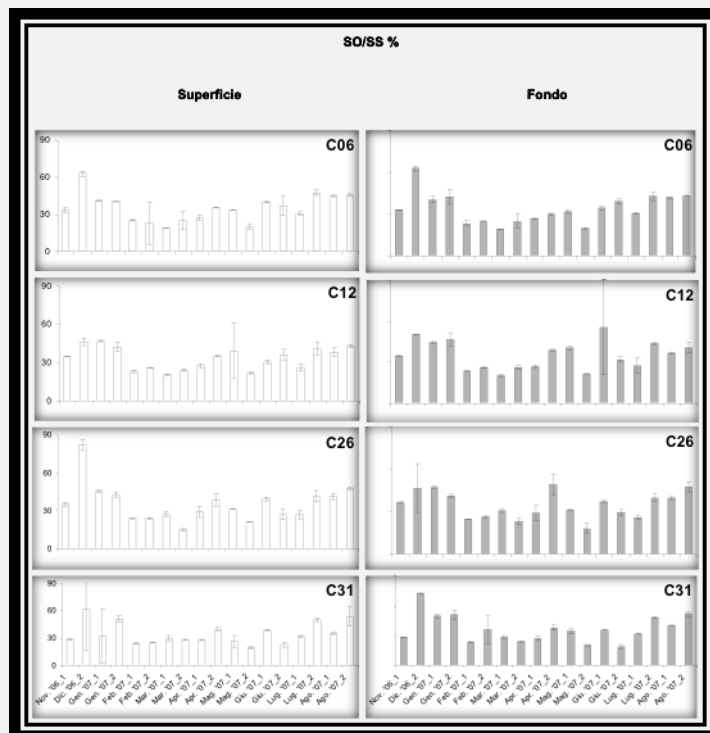


Figura 19. Valori medi del rapporto SO/SS (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai periodi di campionamento nelle diverse aree della Laguna di Cabras (2006-2007)

INVERNO - GOLFO DI ORISTANO

La concentrazione media del DIN è di $0,21 \pm 0,16$ $\mu\text{mol/l}$ (NH_4^+ : $0,16 \pm 0,15$ $\mu\text{mol/l}$, NO_3^- : $0,04 \pm 0,02$ $\mu\text{mol/l}$, NO_2^- : $0,01 \pm 0,01$ $\mu\text{mol/l}$). I valori medi del PO_4^{3-} sono: $0,03 \pm 0,01$ $\mu\text{mol/l}$.

I valori medi del DIN/DIP sono di $11,62 \pm 11,88$. Non si hanno stratificazioni della colonna d'acqua, e le singole variabili seguono un andamento descritto nelle figure 20-21.

La clorofilla-a ha il valore medio di $1,24 \pm 0,50$ $\mu\text{g/l}$ (Feo.: $1,08 \pm 0,18$ $\mu\text{g/l}$, chl/feo: $2,01 \pm 2,35$) (figura 21). I valori medi della sostanza organica sono $4,26 \pm 3,27$ mg/l , i solidi sospesi $13,78 \pm 15,40$ mg/l . Il rapporto SO/SS%: $47,62 \pm 25,37$ (figura 22).

PRIMAVERA - LAGUNA DI CABRAS

La concentrazione media del DIN è di $4,04 \pm 1,96$ $\mu\text{mol/l}$ (NH_4^+ : $3,87 \pm 1,94$ $\mu\text{mol/l}$, NO_3^- : $0,12 \pm 0,19$ $\mu\text{mol/l}$, NO_2^- : $0,04 \pm 0,07$ $\mu\text{mol/l}$). I valori medi del PO_4^{3-} sono: $0,12 \pm 0,16$ $\mu\text{mol/l}$.

I valori medi del DIN/DIP sono di $51,83 \pm 26,19$. Non si hanno stratificazioni della colonna d'acqua, e le singole variabili seguono un andamento descritto nelle figure 9-10-11-12-13.

La clorofilla-a ha il valore medio di $17,40 \pm 0,68$ $\mu\text{g/l}$ (Feo.: $3,95 \pm 3,43$ $\mu\text{g/l}$, chl/feo: $7,28 \pm 4,77$).

Non si hanno stratificazioni della colonna d'acqua, i valori medi sono inferiori rispetto all'inverno (figure 14-15-16). I valori medi della SO sono $10,99 \pm 9,30$ mg/l , mentre quelli di SS sono: $46,87 \pm 48,66$ mg/l .

Per entrambe le variabili, escluso il primo campionamento di marzo e l'ultimo di maggio, non si hanno delle variazioni rilevanti tra i diversi mesi. I valori medi del rapporto SO/SS% sono: $28,18 \pm 7,21$ (figura 17-18-19).

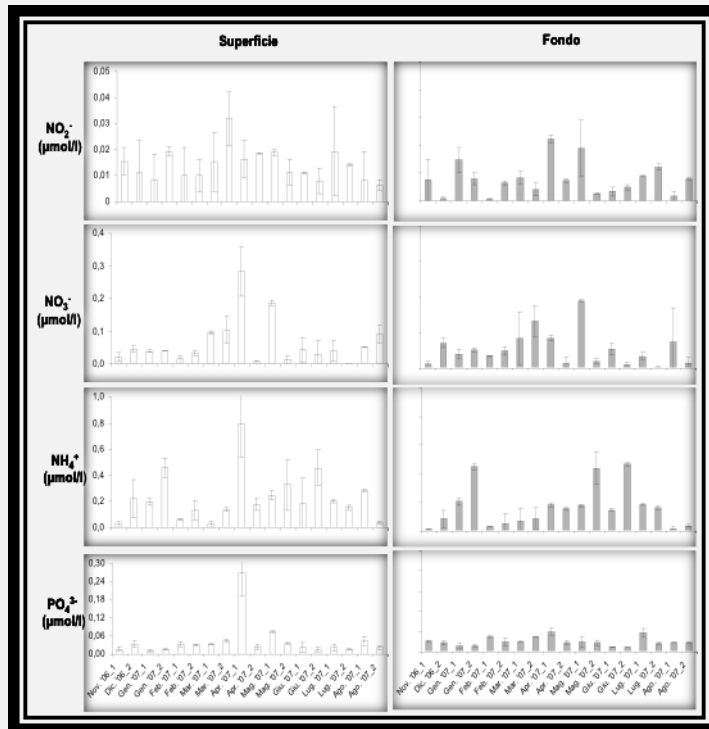


Figura 20. Valori medi NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ($\mu\text{mol/l}$) (\pm DS) (Superficie – Fondo) per diversi periodi di campionamento nelle staz. del Golfo di Oristano (2006-2007)

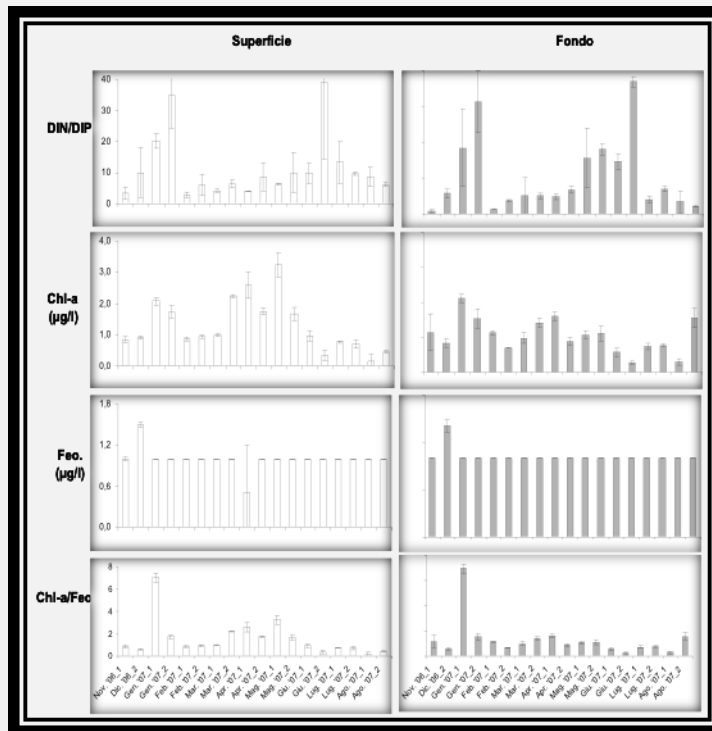


Figura 21. Valori medi di DIN/DIP, Clorofilla-a ($\mu\text{g/l}$), Feopigmenti ($\mu\text{g/l}$), Chl-a/Feo. (\pm DS) (Superficie – Fondo) per diversi periodi di campionamento nel Golfo di Oristano (2006-2007)

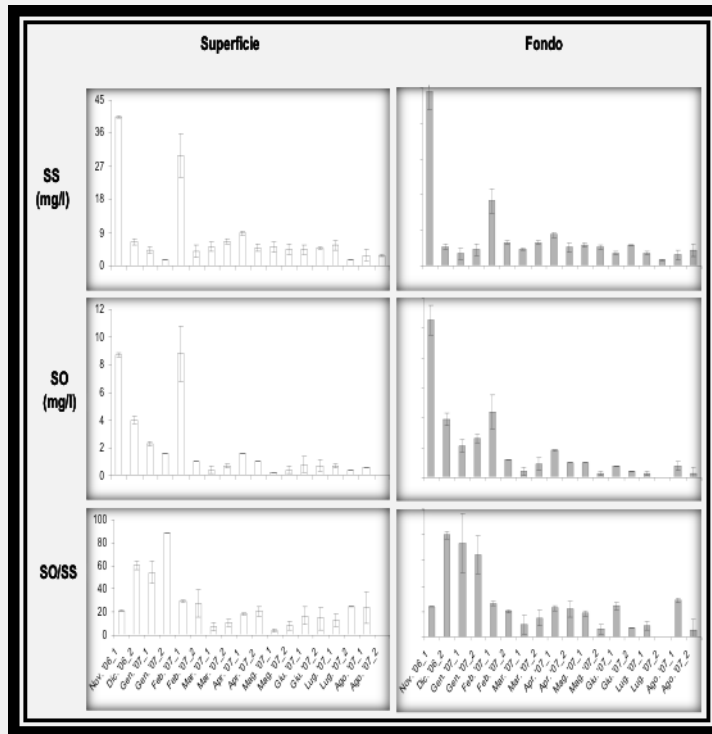


Figura 22. Valori medi di SS (mg/l), SO (mg/l), SO/SS (\pm DS) (Superficie – Fondo) riferite ai diversi periodi di campionamento nel Golfo di Oristano (2006-2007)

PRIMAVERA - GOLFO DI ORISTANO

La concentrazione media del DIN è di $0,36 \pm 0,27 \mu\text{mol/l}$ (NH_4^+ : $0,25 \pm 0,22 \mu\text{mol/l}$, NO_3^- : $0,10 \pm 0,09 \mu\text{mol/l}$, NO_2^- : $0,01 \pm 0,01 \mu\text{mol/l}$). I valori medi del PO_4^{3-} sono: $0,06 \pm 0,07 \mu\text{mol/l}$.

I valori medi del DIN/DIP sono di $8,15 \pm 4,59$. Non si hanno stratificazioni della colonna d'acqua, e le singole variabili seguono un andamento descritto nelle figure 20-21.

La clorofilla-a ha il valore medio di $1,63 \pm 0,73 \mu\text{g/l}$ (Feo.: $1,00 \pm 0,00 \mu\text{g/l}$, chl/feo: $1,63 \pm 0,73$) (figura 21). I valori medi della sostanza organica sono $0,81 \pm 0,51 \text{ mg/l}$, i solidi sospesi $5,70 \pm 1,41 \text{ mg/l}$. Il rapporto SO/SS%: $13,65 \pm 6,73$ (figura 22).

ESTATE - LAGUNA DI CABRAS

La concentrazione media del DIN è di $2,874 \pm 1,86 \mu\text{mol/l}$ (NH_4^+ : $2,80 \pm 1,84 \mu\text{mol/l}$, NO_3^- : $0,06 \pm 0,14 \mu\text{mol/l}$, NO_2^- : $0,01 \pm 0,01 \mu\text{mol/l}$).

I valori medi del PO_4^{3-} sono: $0,14 \pm 0,04 \mu\text{mol/l}$.

I valori medi del DIN/DIP sono di $22,52 \pm 15,89$. Non si hanno stratificazioni della colonna d'acqua, e le singole variabili seguono un andamento descritto nelle figure 9, 10, 11, 12, 13.

La clorofilla-a ha il valore medio di $11,19 \pm 3,29 \mu\text{g/l}$ (Feo.: $2,11 \pm 0,94 \mu\text{g/l}$, chl/feo: $6,61 \pm 2,24$). I valori medi sono inferiori rispetto alle precedenti stagioni, e si osserva una diminuzione delle concentrazioni lungo l'asse nord-sud della laguna (figure 14-15-16).

I valori medi della SO sono $7,32 \pm 1,94 \text{ mg/l}$. Nei mesi di giugno e di luglio si osserva un gradiente decrescente l'ungo l'asse nord-sud della laguna. I valori medi dei SS sono: $19,20 \pm 3,38 \text{ mg/l}$, mentre il rapporto SO/SS% è di $18,05 \pm 8,22$ (figure 17-18-19).

ESTATE - GOLFO DI ORISTANO

La concentrazione media del DIN è di $0,24 \pm 0,14 \mu\text{mol/l}$ (NH_4^+ : $0,19 \pm 0,15 \mu\text{mol/l}$, NO_3^- : $0,04 \pm 0,03 \mu\text{mol/l}$, NO_2^- : $0,01 \pm 0,00 \mu\text{mol/l}$). I valori medi del PO_4^{3-} sono: $0,03 \pm 0,01 \mu\text{mol/l}$.

I valori medi del DIN/DIP sono di $12,98 \pm 12,30$. Non si hanno stratificazioni della colonna d'acqua, e le singole variabili seguono un andamento descritto nelle figure 20-21.

La clorofilla-a ha il valore medio di $0,64 \pm 0,38 \mu\text{g/l}$ (Feo.: $1,00 \pm 0,00 \mu\text{g/l}$, chl/feo: $0,64 \pm 0,38$) (figura 21).

I valori medi della sostanza organica sono $0,48 \pm 0,29 \text{ mg/l}$, i solidi sospesi $3,57 \pm 1,34 \text{ mg/l}$. Il rapporto SO/SS%: $14,03 \pm 9,92$ (figura 22).

DISCUSSIONE – NUTRIENTI

LAGUNA DI CABRAS

Un precedente indagine (1984-1985) riportata in Sechi (2001) indicava la laguna in una condizione ipertrofica e di inquinamento da nitrati con un'elevata concentrazione di nutrienti disciolti.

E' stata inoltre descritta una relazione tra l'aumento delle precipitazioni e degli apporti d'acqua dolce, e aumento dei nutrienti disciolti. I nitrati presenti in elevate concentrazioni alla foce del Canale Mare Foghe diminuivano lungo l'asse nord sud della laguna, evidenziando l'importanza del canale sull'arricchimento di nutrienti ed in particolare per i nitrati.

Nell'inverno monitorato nel presente studio (2006-2007) si ha una consistente diminuzione dell'azoto inorganico disciolto con una rilevante diminuzione dei nitrati e dei nitriti.

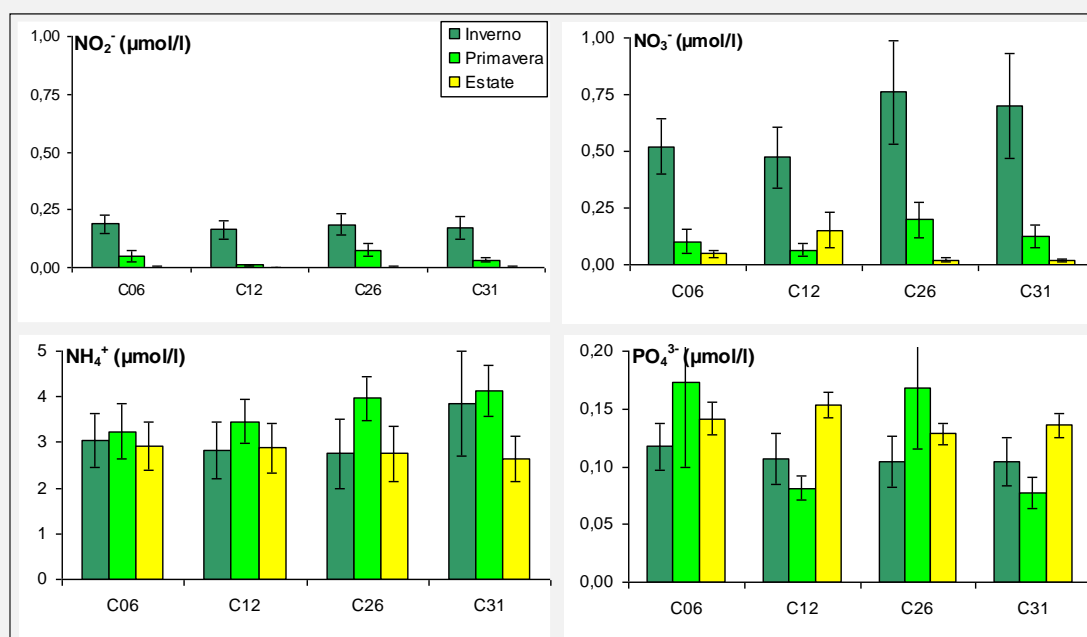


Figura 23. Valori medi di NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ($\mu mol/l$) ($\pm ES$) delle variabili chimiche nelle diverse stagioni e aree monitorate nella Laguna di Cabras

Non si osserva un gradiente decrescente del DIN dalle aree prossime alle foci dei canali verso il centro della laguna, ad indicare una diminuzione dei flussi di nutrienti dagli input d'acqua dolce. Le stesse osservazioni possono essere fatte per il fosforo inorganico disciolto (figura 9-10-11-12).

La condizione ipertrofica descritta da Sechi (2001) riferita al periodo di studio 1984-1985 tende così ad essere ridimensionata nell'inverno 2006-2007 ad una mesotrofica, in relazione alle concentrazioni del DIP ($10,30 \mu g/l$) (Dlgs 152/99), e a quelle del DIN ($99,24 \mu g/l$), queste ultime basse rispetto a quelle attese ($150 \mu g/l$).

Inoltre l'aumento dello ione ammonio e la diminuzione dei nitrati può essere interpretato come una completa azione di degradazione batterica nei processi di nitrificazione.

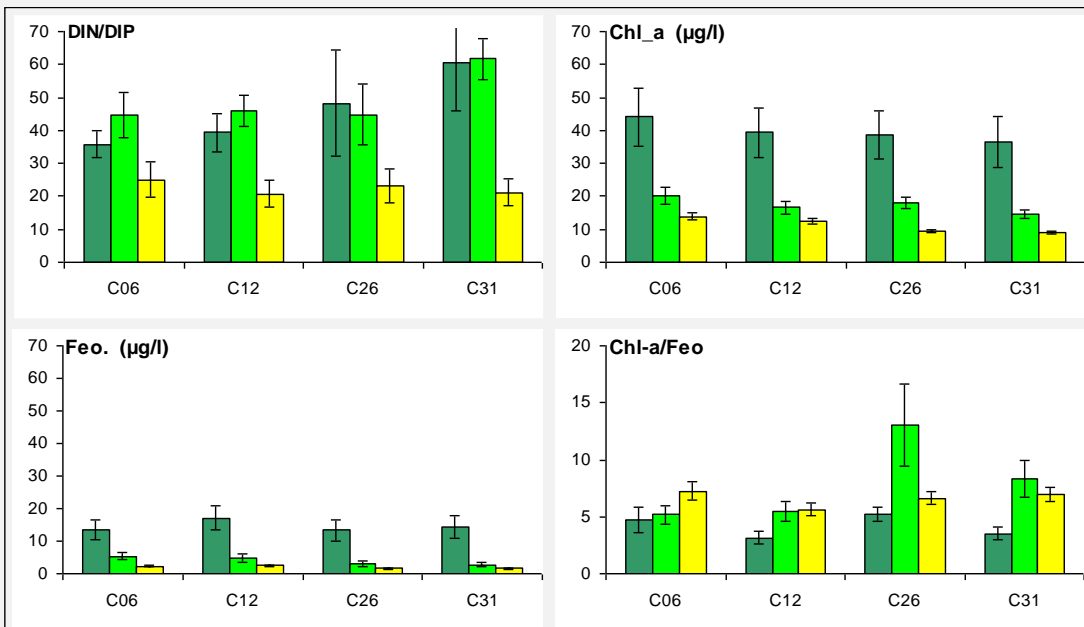


Figura 24. Valori medi di DIN/DIP, Clorofilla-a ($\mu g/l$), Feopigmenti ($\mu g/l$), Chl-a/Feo ($\pm ES$) delle variabili chimiche nelle diverse stagioni e aree monitorate nella Laguna di Cabras

I valori dell'ossigeno e del pH non hanno oscillazioni dei valori medi rilevanti, ciò è indicativo di un ambiente stabile e a basso arricchimento organico.

Un precedente indagine (1984-1985) riportata in Sechi (2001) indicava la laguna in una condizione ipertrofica e di inquinamento da nitrati con un'elevata concentrazione di nutrienti disciolti.

E' stata inoltre descritta una relazione tra l'aumento delle precipitazioni e degli apporti d'acqua dolce, e aumento dei nutrienti disciolti.

Inoltre i nitrati presenti in elevate concentrazioni alla foce del Canale Mare Foghe diminuivano lungo l'asse nord sud della laguna, evidenziando l'importanza del canale sull'arricchimento di nutrienti ed in particolare per i nitrati.

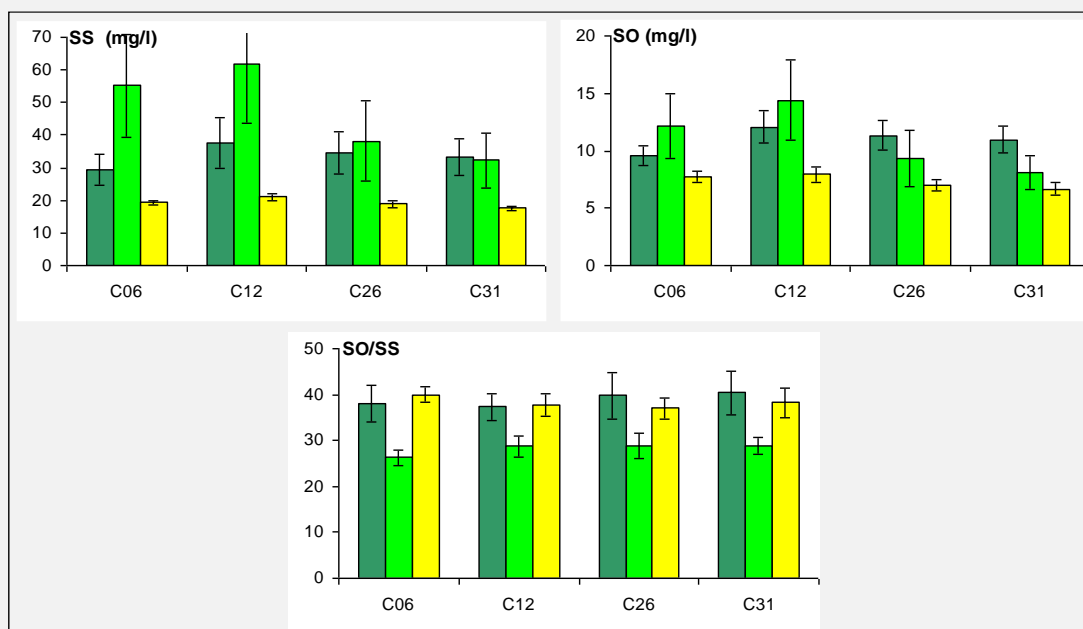


Figura 25. Valori medi di SS (mg/l), SO (mg/l), SO/SS(\pm ES) delle variabili chimiche nelle diverse stagioni e aree monitorate nella Laguna di Cabras

Nell'inverno monitorato nel presente studio (2006-2007) si ha una consistente diminuzione dell'azoto inorganico disciolto con una rilevante diminuzione dei nitrati e dei nitriti.

Questa condizione può essere una conseguenza di una diminuzione del carico di nutrienti provenienti dagli input d'acqua dolce in seguito all'azione dei depuratori urbani in attività a partire dal 2001.

Va però ricordato che solo quattro paesi su diciassette confluenti nel bacino imbrifero della laguna, possiedono un depuratore dei reflui urbani, di conseguenza la loro efficacia è marginale.

Un'altra spiegazione potrebbe essere correlata ad una diminuzione dei flussi d'acqua dolce entranti. Infatti considerando la media invernale (7,8 Mm³) dei volumi in ingresso nella laguna dal 1985-2000, si osserva che l'inverno 1984-1985 presenta valori sopra la media stagionale (9,1 Mm³) con una piovosità annua di 765 mm/a.

Nell'inverno monitorato nel presente studio (2006-2007), la concentrazione di clorofilla-a ($39,68 \pm 4,48 \mu\text{g}/\text{l}$, figura 24) ha valori tipici di un ambiente ipertrofico (Dlgs 152/99), anche se inferiori rispetto a quelli osservati da studi precedenti (Sechi, 2001).

Questo mette in evidenza quanto una diminuzione del carico di nutrienti nella Laguna di Cabras, incida nel determinare delle condizioni distrofiche.

Nella primavera del 1985, la laguna si trovava in una condizione ipertrofica con una forte proliferazione algale (Sechi, 2001).

Lo si deduce da un evidente calo della concentrazione di nutrienti, un aumento del pH, condizioni di sovra-saturazione molto pronunciati con massimi fino a 170% nel Febbraio '85, ma con valori non molto distanti in marzo e dicembre '84 e marzo '86 (Sechi, 2001).

Nella primavera monitorata nel presente studio (2006-2007), si ha un significativo calo della biomassa fitoplanctonica rispetto all'inverno, con assenza di picchi indicanti bloom algali.

Questo andamento è in linea con la concentrazione di nutrienti, che rimane pressoché invariata rispetto all'inverno, e l'andamento delle variabili chimico-fisiche descritte sopra (figura 11 -12 -23).

In questo studio, i nutrienti tendono a distribuirsi in maniera omogenea lungo l'asse nord-sud della laguna, e lungo il profilo della colonna d'acqua (figura 9 -10 -11 -12).

E' interessante notare come nei campionamenti di marzo e maggio 2007, i due immissari inducano nelle aree più vicine alle foci dei picchi di nutrienti nella colonna d'acqua (figura 23 -30b).

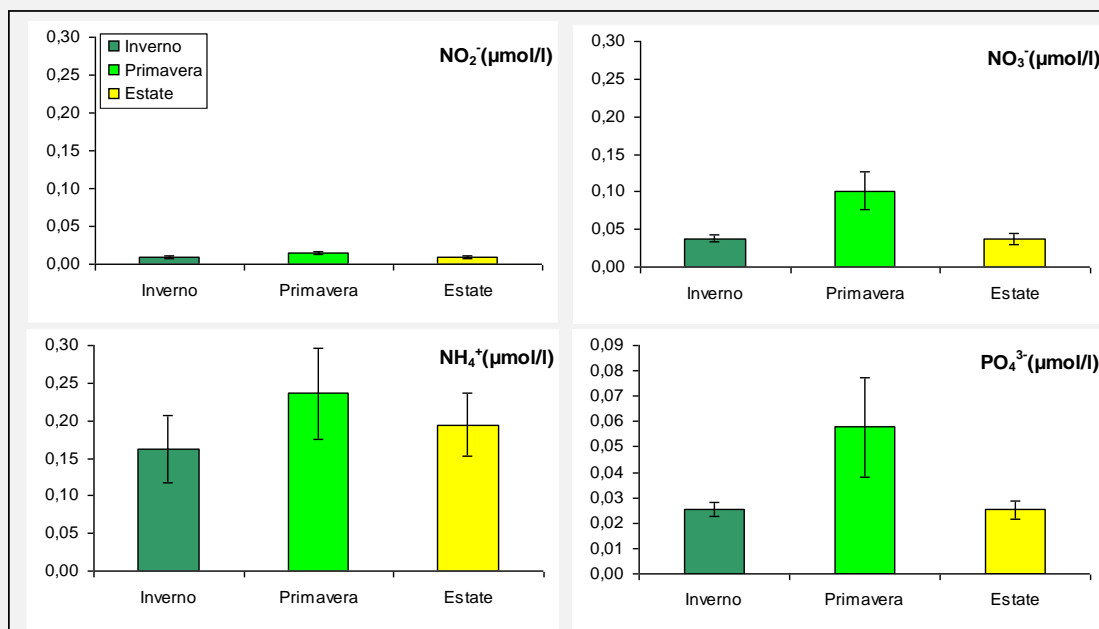


Figura 26. Valori medi di NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} (µmol/l) (\pm ES) delle variabili chimiche nelle diverse stagioni nel Golfo di Oristano (2006-2007)

Risultati simili sono stati descritti in precedenza ma con una frequenza molto maggiore, in relazione a maggiori apporti d'acqua dolce (Sechi, 2001).

Nella estate monitorata nel presente studio (2006-2007), ad una diminuzione degli apporti d'acqua dolce corrisponde una diminuzione della concentrazione del DIN nella laguna (figura 23), mentre la concentrazione del DIP tende ad essere leggermente superiore alla stagione primaverile ed invernale (13,27 $\mu\text{g/l}$).

L'andamento del DIP potrebbe essere associato all'interscambio sedimenti-colonna d'acqua. La biomassa fitoplanctonica diminuisce rispetto alla primavera, e non si osservano dei bloom algali (figura 24).

Osservando l'andamento del rapporto DIN/DIP si ha un valore medio di $22,52 \pm 3,65$. Però nel mese di agosto si ha un forte calo con il valore minimo di $1,55 \pm 0,21$ (figura 13), tipico di una condizione fortemente distrofica.

Come si è visto dai risultati, questa situazione non è direttamente correlata ad elevate concentrazioni di biomassa fitoplanctonica (figura 14).

Considerando la natura del ciclo dell'azoto, controllato esclusivamente da microrganismi, e quello del fosforo, di natura sedimentaria, il forte calo del DIN può essere giustificato da un

GOLFO DI ORISTANO

Le variabili chimico-fisiche sono in accordo con un ambiente marino costiero. Non si hanno stratificazioni evidenti della colonna d'acqua in relazione alla sua scarsa profondità. La temperatura e la salinità seguono un andamento crescente dall'inverno all'estate in linea con le medie stagionali.

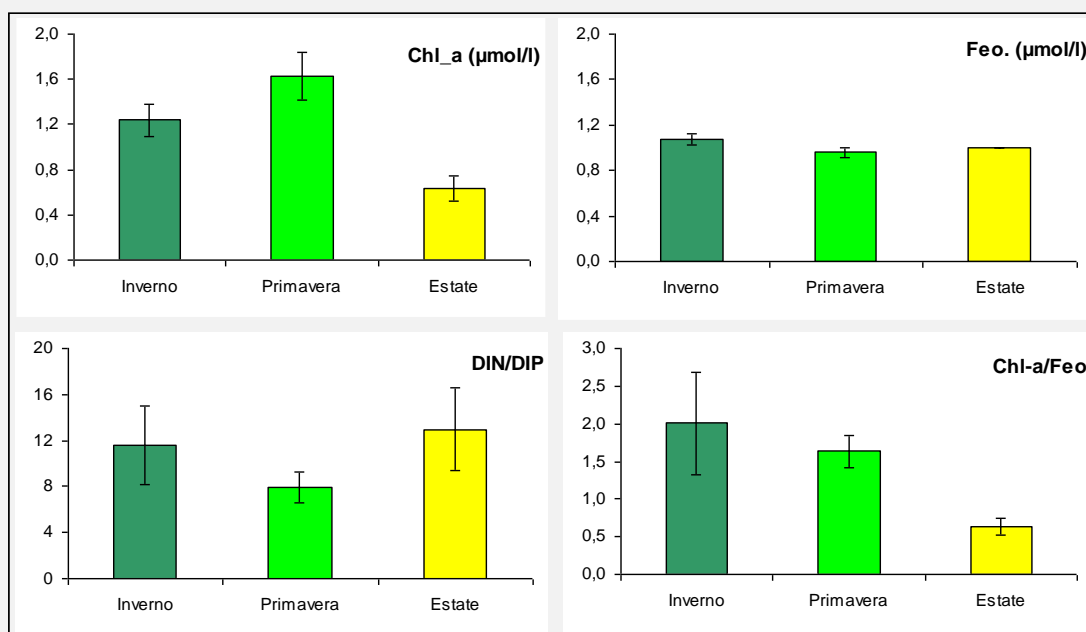


Figura 27. Valori medi di DIN/DIP, Clorofilla-a ($\mu\text{g/l}$), Feopigmenti ($\mu\text{g/l}$), Chl-a/Feo (\pm ES) delle variabili chimiche nelle diverse stagioni nel Golfo di Oristano (2006-2007)

In base ai valori medi del DIP e della clorofilla-a, il Golfo di Oristano può essere considerato un ambiente marino costiero oligotrofico (Dlgs 152/99).

La produzione di biomassa fitoplanctonica è maggiore in primavera così come la concentrazione di nutrienti disciolti. In inverno l'aumento della SO e dei SS potrebbe essere correlato all'aumento del flusso delle acque continentali. Non si hanno evidenti stratificazioni della colonna d'acqua in relazione alla sua scarsa profondità.

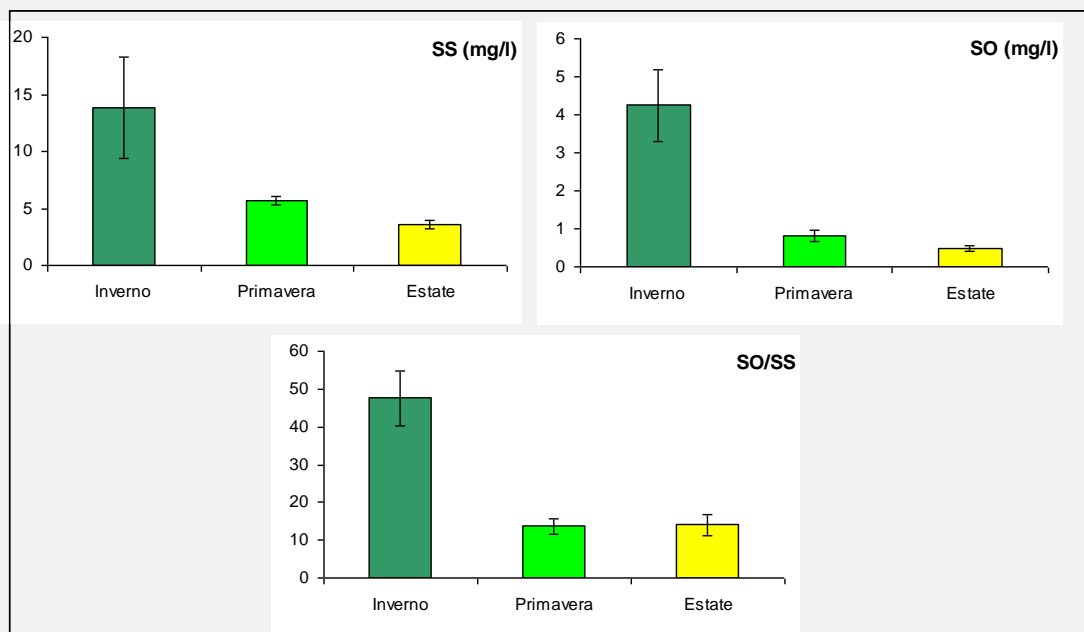


Figura 28. Valori medi di SS (mg/l), SO (mg/l), SO/SS (\pm ES) delle variabili chimiche nelle diverse stagioni nel Golfo di Oristano (2006-2007)

CAP. 3 - VALUTAZIONE QUALITÀ DELLE ACQUE DELLA LAGUNA

Il Mediterraneo è un mare chiuso soggetto e consistenti cambiamenti in relazione alla pressione antropica. Molti corsi d'acqua dolce sono punti di raccolta di reflui urbani e rappresentano una sorgente di elevato carico di inquinanti e contaminanti. Gli ecosistemi costieri e lagunari, in relazione ad una varietà di flussi in ingresso e in uscita, sono particolarmente influenzati da cambiamenti di natura umana e naturale (Dupra et al., 2000).

A tal proposito l'applicazione di modelli ecologici riveste un ruolo importante nella comprensione delle dinamiche che regolano questi ambienti, al fine di garantire uno sfruttamento e una gestione sostenibile (Dupra et al., 2000; Giordani et al., 2002).

Lo scopo del presente studio è quello di applicare il Modello biogeochimico LOICZ nella Laguna di Cabras, con l'intento di identificare il suo stato trofico e le dinamiche che lo caratterizzano.

MODELLO BIOGEOCHIMICO LOICZ

Il modello biogeochimico LOICZ (Land-Ocean Interactions In The Coastal Zone, <http://data.ecology.su.se/MNODE/index.htm>) è un classico modello ecologico basato sui bilanci di massa. Un bilancio di massa (figura 29) descrive i tassi con cui un materiale raggiunge (input), lascia (output) e modifica la sua presenza (storage) all'interno di un sistema. Alcune sostanze possono subire trasformazioni interne che portano a rilasci o accumuli netti nel sistema. Queste trasformazioni sono definite sorgenti (sources) o perdite (sinks) interne del sistema.

Il comportamento di materiali che non subiscono queste trasformazioni come acqua e sale viene definito conservativo. Viceversa quello di materiali come C, N e P che all'interno dell'ecosistema subiscono numerose e complesse trasformazioni viene definito non conservativo.

Il bilancio di massa di una sostanza è quindi rappresentato dalla seguente equazione:

$$\frac{dM}{dt} = \sum(\text{input}) - \sum(\text{output}) + \sum(\text{sources} - \text{sinks})$$

dove dM/dt è lo storage, $\Sigma(\text{input})$ e $\Sigma(\text{output})$ sono le somme delle entrate e delle uscite di materiale e $\Sigma(\text{source-sinks})$ rappresentano le trasformazioni interne al sistema.

Tra le varie assunzioni applicabili al modello, quattro sono particolarmente forti e caratterizzanti il modello:

Il sistema è in stato stazionario.

I bilanci di massa da acqua e sale sono utilizzati per stimare i flussi e gli scambi d'acqua.

I comportamenti non conservativi dei nutrienti sono utilizzati per stimare "flussi biogeochimici dell'ecosistema".

I flussi non conservativi di fosforo inorganico disciolto (DIP) sono ritenuti proporzionali al metabolismo netto dell'ecosistema (NEM) che è la differenza tra produzione primaria e respirazione (p-r).

Le differenze tra i flussi di azoto inorganico disciolto osservati e quelli attesi dai flussi di DIP e dal rapporto CNP dei principali produttori primari, sono il risultato di processi microbici come azotofissazione e denitrificazione (G. Giordani, et al., 2002).

MATERIALI E METODI

Il modello LOICZ è stato calcolato mensilmente in ogni stagione, con l'utilizzo di un foglio di calcolo formato Excel secondo il seguente schema (tabella 5):

BILANCIO DI ACQUA E DEL SALE

Foglio di calcolo per l'applicazione del Modello biogeochimico LOICZ agli ambienti costieri																
MODELLO ONE-BOX - ONE LAYER																
Nome:	Laguna di Cabras						legenda colori:									
Posizione geografica:	Sardegna Occidentale						valori inseriti									
Latitudine e longitudine:	39°57'N 08°29'E						valori calcolati									
Principali produttori primari:	Fitoplancton															
Periodo investigato:	2006/2007															
Area della laguna:	23 Km ²															
Profondità media:	1,6 m															
Volume calcolato	36800000 m ³															
Water budget																
		V _Q	V _G	V _P	V _O	V _E	V _R									
periodo	giorni	10 ³ m ³ d ⁻¹	10 ³ m ³ d ⁻¹	10 ³ m ³ d ⁻¹	10 ³ m ³ d ⁻¹	10 ³ m ³ d ⁻¹	10 ³ m ³ d ⁻¹									
dec	31	285,89	0,00	81,61	0,00	11,73	-355,8									
jan	31	253,83	0,00	33,39	0,00	16,10	-271,1									
feb	28	237,28	0,00	53,39	0,00	34,16	-256,5									
Inverno	90	259,72	0,00	56,22	0,00	20,21	-295,7									
Salt budget																
		S _Q	S _G	S _O	S _{sys}	S _{sea}	S _R	V _X	τ							
periodo	giorni	psu	psu	psu	psu	psu	psu	10 ³ m ³ d ⁻¹	d							
dec	31	0,00	0,00	0,00	17,54	37,74	27,64	486,8	44							
jan	31	0,00	0,00	0,00	13,86	37,40	25,63	295,1	65							
feb	28	0,00	0,00	0,00	12,61	37,14	24,88	260,2	71							
Inverno	90	0,00	0,00	0,00	14,74	37,42	26,09	350	57							
Phosphorus budget																
		DIP _O	DIP _G	DIP _{Patm}	DIP _O	DIP _{sys}	DIP _{sea}	DIP _R	V _G DIP _O	V _G DIP _G	V _{atm} DIP _{Patm}	V _G DIP _O	V _G DIP _R	V _X DIP _X	ΔDIP	ΔDIP
periodo	giorni	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mmol m ⁻² d ⁻¹
dec	31	1,40	0,00	0,00	0,00	0,20	0,03	0,11	401	0	0	0	-39	-84	-278	-0,012
jan	31	1,62	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	411	0	0	0	-3	0	-408	-0,018
feb	28	1,04	0,00	0,00	0,00	0,09	0,03	0,06	246	0	0	0	-15	-13	-218	-0,009
Inverno	90	1,36	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03	0,06	356	0	0	0	-19	-33	-304	-0,013
Nitrogen budget																
		DIN _O	DIN _G	DIN _{atm}	DIN _O	DIN _{sys}	DIN _{sea}	DIN _R	V _G DIN _O	V _G DIN _G	V _{atm} DIN _{atm}	V _G DIN _O	V _G DIN _R	V _X DIN _X	ΔDIN	ΔDIN
periodo	giorni	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mmol m ⁻³	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mol d ⁻¹	mmol m ⁻² d ⁻¹
dec	31	24,31	0,00	46,00	0,00	5,18	0,13	2,66	6951	0	3754	0	-946	-2457	-7302	-0,32
jan	31	40,41	0,00	46,00	0,00	4,42	0,38	2,40	10257	0	1536	0	-651	-1191	-9951	-0,43
feb	28	15,63	0,00	46,00	0,00	2,12	0,11	1,12	3708	0	2456	0	-287	-523	-5354	-0,23
Inverno	90	27,15	0,00	46,00	0,00	3,97	0,21	2,09	7081	0	2586	0	-639	-1419	-7608	-0,33
Relazioni stechiometriche																
		Rapporto CNP dei produttori primari			NEM			ΔDIN _{exp}		(Nfix-denit)						
periodo	giorni	C	N	P	mmol m ⁻² d ⁻¹			mmol m ⁻² d ⁻¹		mmol m ⁻² d ⁻¹						
dec	31	106	16	1	1,30			-0,19		-0,13						
jan	31	106	16	1	1,90			-0,29		-0,14						
feb	28	106	16	1	1,00			-0,14		-0,09						
Inverno	90	media			1,41			-0,21		-0,12						

Tabella 5. Esempio di foglio di calcolo formato Excel per il calcolo LOICZ.

In inverno, i volumi residui in uscita (VR) e i volumi scambiati con il mare (VX) non sono elevati e la laguna presenta dei tempi di

residenza medi di poco inferiori ai due mesi. In primavera, i volumi residui in uscita e i volumi scambiati con il mare sono minori rispetto all'inverno, con tempi di residenza superiori ai cinque mesi. In estate, si ha un netto calo degli input d'acqua dolce e un aumento dell'evaporazione, con VR positivo indicante un ingresso d'acqua marina nella laguna.

Il VX essendo negativo non può essere considerato attendibile. I valori errati del modello in questa stagione sono giustificati da una incongruenza nel gradiente di salinità tra la laguna e il mare (tabella 6).

BILANCIO DEL FOSFORO

Le concentrazioni del DIP negli input d'acqua dolce sono maggiori in primavera e in estate. Nella laguna si ha una diminuzione di un ordine di grandezza rispetto agli input, e a sua volta un'ulteriore diminuzione tra la laguna ed il mare (tabella 7). VRDIPR e VXDIPX sono sempre negativi e bassi indicanti una fuoriuscita di fosforo dal sistema e bassi interscambi tra la laguna e il mare. I valori negativi del Δ DIP indicano una condizione di sink del sistema (tabella 8).

Bilancio dell'acqua e del sale							
		V_Q	V_P	V_E	V_R	V_X	τ
Stagione	giorni	$10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	$10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	$10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	$10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	$10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	d
Inverno	90	259,72	56,22	20,21	-295,73	350,27	57,00
Primavera	92	135,44	48,75	60,94	-123,26	106,63	160,00
Estate	92	9,04	6,45	75,07	59,58	-68,60	-4077,00

Tabella 6. Bilancio Acqua Sale.

Bilancio del DIP		DIP_Q	DIP_{sys}	DIP_{sea}
Stagione	giorni	mmol m^{-3}	mmol m^{-3}	mmol m^{-3}
Inverno	90	1,36	0,10	0,03
Primavera	92	2,55	0,13	0,06
Estate	92	2,52	0,14	0,02

Tabella 7. Bilancio del DIP negli input d'acqua dolce

		V_QDIP_Q	V_RDIP_R	V_XDIP_X	ΔDIP	ΔDIP
Stagione	giorni	$mmol\ m^{-3}$	$mmol\ m^{-3}$	$mmol\ m^{-3}$	$mol\ d^{-1}$	$mmol\ m^{-2}\ d^{-1}$
Inverno	90	356,22	-19,13	-32,98	-304,00	-0,01
Primavera	92	324,92	-9,62	-4,07	-311,00	-0,01
Estate	92	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.

Tabella 8. Valore ΔDIP negli input d'acqua dolce

BILANCIO DELL'AZOTO

Dall'inverno verso l'estate il DIN_Q tende a diminuire. Il DIN_{sys} è maggiore in primavera e in inverno, lo stesso può essere detto per il DIN_{sea} (tabella 9). V_QDIN_Q e V_XDIN_X sono sempre negativi con una fuoriuscita di DIN dalla laguna. Si hanno flussi maggiori in uscita in corrispondenza di un aumento degli input d'acqua dolce. Il ΔDIN è sempre negativo, indicando una condizione di sink del sistema (tabella 10).

STIMA DELLE FUNZIONI GENERALI DELL'ECOSISTEMA

Il sistema monitorato può essere considerato autotrofo. I valori del NEM sono bassi e non molto diversi tra la primavera e l'inverno. Il (Nfix-denit) presenta valori bassi, in inverno prevalgono i processi di denitrificazione, mentre in primavera

quelli di azotofissazione (tabella 11).

Bilancio del DIN		DIN_Q	DIN_{atm}	DIN_{sys}	DIN_{sea}
Stagione	giorni	$mmol\ m^{-3}$	$mmol\ m^{-3}$	$mmol\ m^{-3}$	$mmol\ m^{-3}$
Inverno	90	27,15	46,00	3,97	0,21
Primavera	92	23,80	46,00	4,02	0,36
Estate	92	12,02	46,00	2,58	0,27

Tabella 9. Bilancio del DIN negli input d'acqua dolce

Stagione	giorni	$V_Q \text{DIN}_Q$ mmol m ⁻³	$V_{\text{atm}} \text{DIN}_{\text{atm}}$ mmol m ⁻³	$V_R \text{DIN}_R$ mmol m ⁻³	$V_X \text{DIN}_X$ mmol m ⁻³	ΔDIN mmol m ⁻³	ΔDIN mmol m ⁻³
Inverno	90	7080,80	2586,20	-639,37	-1419,24	-7608,00	-0,33
Primavera	92	3005,73	2242,45	-272,42	-389,86	-4586,00	-0,20
Estate	92	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.

Tabella 10. Bilancio del DIN negli input d'acqua dolce

Relazioni stechiometriche							
		Rapporto CNP dei produttori primari			NEM	$\Delta \text{DIN}_{\text{exp}}$	(Nfix-denit)
Stagione	giorni	C	N	P	mmol m ⁻² d ⁻¹	mmol m ⁻² d ⁻¹	mmol m ⁻² d ⁻¹
Inverno	90	106	16	1	1,41	-0,21	-0,12
Primavera	91	106	16	1	1,47	-0,22	0,02
Estate	92	106	16	1	n.c.	n.c.	n.c.

Tabella 11. Bilancio del DIN negli input d'acqua dolce

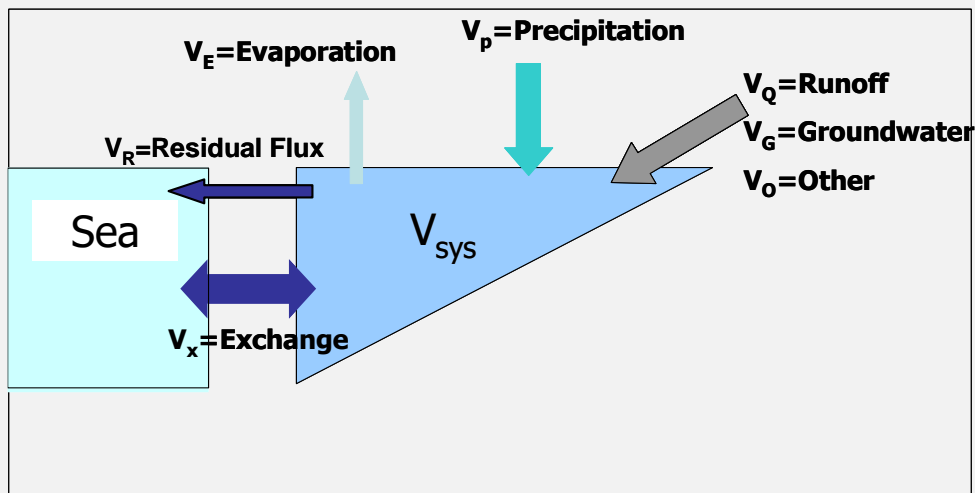


Figura 29. Schema di un bilancio di massa d'acqua di un ecosistema costiero secondo il Modello Biogeochimico LOICZ.

DISCUSSIONE

Nel periodo invernale i risultati del modello biogeochimico LOICZ indicano un sistema di transizione salmastro caratterizzato da tempi di ricambio maggiori rispetto alle altre stagioni indagate (tabella 6).

Confrontando la Laguna di Cabras con la Sacca di Goro (Giordani et al., 2005), simile per superficie e volume, si osserva che gli input d'acque dolci di quest'ultima, hanno concentrazioni inferiori per il DIP, e maggiori per il DIN. Nonostante questo, la Sacca di Goro ha un maggior apporto di nutrienti in relazione ad un consistente aumento di apporti fluviali rispetto alla Laguna di Cabras.

Nell'inverno 2006-2007, l'ecosistema monitorato può essere definito autotrofo con dei valori di poco più alti rispetto alla respirazione batterica. Inoltre *nfix-denit* indica una dominanza dei processi di denitrificazione rispetto a quelli di azoto-fissazione, se pure con valori molto bassi. Ciò indica una perdita del carico di azoto disciolto nei sedimenti. E' possibile fare questa considerazione in quanto nella Laguna di Cabras non sono presenti in maniera significativa macrofite bentoniche. Infatti queste possono svolgere una funzione di accumulo di N (*luxuryuptake*), con conseguente perdita da parte della colonna d'acqua.

Per una maggiore comprensione dei risultati del modello, è opportuno non trascurare quelle che sono le relazioni tra la colonna d'acqua e i sedimenti. L'ultimo campionamento di gennaio (Gen.'07_2) ed il primo di febbraio (Feb.'07_1) hanno i valori di denitrificazione più bassi (tabella 11). Ciò è possibile evidenziarlo dalla figura -29a, in cui si osserva una consistente perdita di nutrienti dalla colonna d'acqua. Rispetto a Gen.'07_2, in Feb.'07_1 si ha un ulteriore calo dell'azoto e un aumento del fosforo indicante una risospensione di quest'ultimo sulla colonna d'acqua.

Questo fenomeno può essere correlato con i processi di scambio tra i sedimenti e la colonna d'acqua in relazione all'azione perturbante del vento, in accordo con Sechi (2001). Infatti durante le attività di campionamento (Feb.'07_1) il SAR ha rilevato una intensità del vento pari a 10 m/s (vento teso). Tra la primavera e l'inverno possono essere fatte le seguenti considerazioni: (i) una diminuzione dei flussi entranti, (ii) un aumento dei tempi di ricambio e residenza delle acque della laguna, (iii) valori costanti di nutrienti e del NEM nella laguna, (iv) non c'è perdita di azoto dal sistema e (v) prevalgono i processi di azoto-fissazione.

Dalla concentrazione dei nutrienti e dai risultati del modello, la Laguna di Cabras in primavera può essere definito mesotrofico. L'aumento dei tempi di residenza e ricambio delle acque non incidono negativamente sullo stato trofico del sistema, anche grazie alla consistente estensione e volume del suo bacino. Infatti i valori di $(p-r)$ e $(nfix-denit)$ sono bassi, ben lontani da quelli di un sistema ipertrofico ad elevato rischio ambientale. Inoltre va sottolineato l'aumento in percentuale dello ione ammonio rispetto ai nitrati e nitriti, in relazione ad un aumento dei processi di azoto-fissazione.

In estate i risultati del modello sono risultati inattendibili. Ciò è dovuto al fatto che il V_x deve essere sempre positivo, valori negativi sono ricondotti a una incongruenza delle salinità del sistema. Infatti nel caso in cui VR sia positivo la salinità all'interno del sistema deve essere maggiore di quella del mare e quindi V_x deve risultare comunque positivo.

Nel caso dell'estate si ha un VR positivo in relazione ad una diminuzione degli input d'acqua dolce, una consistente diminuzione delle piogge (inferiori alle medie stagionali), ed un aumento dell'evaporazione. Dunque ci si dovrebbe attendere un aumento della salinità nella laguna, in relazione ai volumi d'acqua persi con

l'evaporazione e un maggior richiamo d'acqua salata proveniente dal mare (figura 30a).

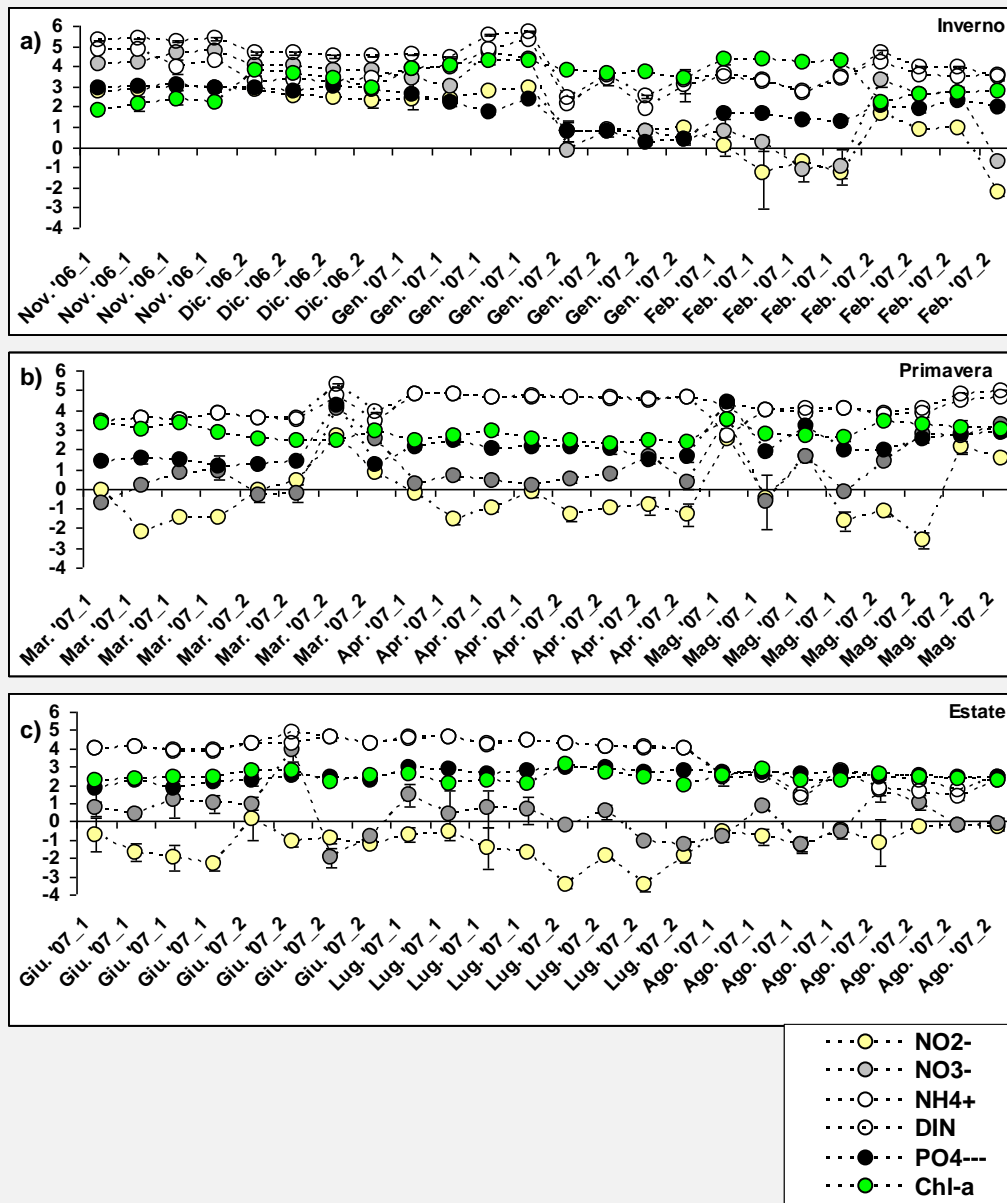


Figura 30. Andamento delle principali variabili chimiche ($\mu\text{g/l}$) log-trasformate nella Laguna di Cabras: a) Inverno, b) Primavera, c) Estate.

In realtà i valori medi della salinità della laguna sono di gran lunga inferiori di quelli del mare e simili a quelli dell'inverno (figura 5-7-8).

Questa incongruenza porta inevitabilmente a dei risultati del modello errati e inattendibili. L'inefficacia del modello può essere interpretata da una assenza di scambi tra la laguna ed il mare, e quest'ultima condizione non è prevista dalle assunzioni matematiche del modello.

QUALITÀ DELLE ACQUE LAGUNA DI CABRAS

Rispetto alle medie storiche, si ha un aumento della temperatura, e una diminuzione della salinità. Quest'ultima viene associata ad un limitato scambio tra la laguna ed il mare.

I valori di ossigeno e pH non sono indicativi di un elevato stress ambientale, infatti non sono state rilevate condizioni di ipossia o anossia, e valori di pH superiori alla norma.

Tuttavia in precedenti campionamenti nell'estate 2002 valori ipossici (i.e., inferiori a 20% o 2 mg l⁻¹ di saturazione) sono stati descritti al fondo, indicando che la laguna è periodicamente soggetta a crisi anossiche come evidenziato in studi condotti in anni precedenti.

Le concentrazioni medie del DIP (11.8 µg l⁻¹ o 0.12 µM) e del DIN (75.4 µg l⁻¹ o 3,52 µM) sono tipiche di ambienti mesotrofici (Dlgs 152/99).

Il netto calo di nutrienti rispetto agli anni ottanta-novanta, è associato ad una diminuzione degli input d'acqua dolce nel periodo monitorato. Inoltre non è trascurabile l'influenza degli scambi tra sedimento e colonna d'acqua nell'aumento delle concentrazioni del DIP.

L'andamento stagionale della clorofilla-a segue un profilo tipico degli ambienti salmastri di transizione. Rispetto ai valori delle precedenti indagini, ad un netto calo del DIP è associata una diminuzione della biomassa fitoplanctonica ($22.7 \mu\text{g l}^{-1}$).

Inoltre l'andamento del rapporto DIN/DIP indica l'assenza di condizioni distrofiche (superiore a 16 fino a punte di 45), con valori medi nella norma anche nella stagione estiva ($22.5 \mu\text{g l}^{-1}$), periodo caratterizzato da un prolungato isolamento della laguna.

Pertanto i flussi d'acqua dolce nell'anno investigato (2006-2007) rappresentano la principale fonte di arricchimento organico.

Nella campagna di monitoraggio 2006-2007, le concentrazioni medie del fosforo ($11,81 \mu\text{g/l}$) e dell'azoto disciolto ($75,41 \mu\text{g/l}$) sono tipiche di ambienti mesotrofici (Dlg 152/99).

Pertanto si ha un netto calo delle concentrazioni rispetto agli anni ottanta e novanta in cui la Laguna di Cabras veniva definita ipertrofica e ad elevato rischio ambientale.

L'estesa moria del 1999 non rappresenta così un evento stocastico ed occasionale, ma l'epilogo di un lungo periodo caratterizzato da un consistente inquinamento organico e prolungati periodi di squilibrio trofico.

In conclusione si può affermare che nella Laguna di Cabras, ciò che regola maggiormente l'idraulica e gli scambi con il mare sono gli input d'acqua dolce e l'evaporazione. Infatti in inverno, con maggiori apporti d'acqua dolce, e minore evaporazione, si ha una salinità elevata indicante maggiori scambi con il mare. In primavera ad una diminuzione degli input d'acqua dolce ed un aumento dell'evaporazione, corrisponde un abbassamento della salinità, ed in estate a un significativo calo degli input e aumento dell'evaporazione, corrisponde un'assenza di scambi con il mare.

In conseguenza ad un netto calo del DIP, si associa una diminuzione della biomassa fitoplanctonica (22,75 µg/l). I valori medi stagionali del rapporto DIN/DIP non indicano una condizione distrofica, e i parametri idrologici non descrivono un ambiente ad elevato rischio.

Dai risultati del modello LOICZ, appare chiaro come lo stato trofico del sistema sia principalmente condizionato dai flussi degli input d'acqua dolce, e come questi condizionino gli scambi con il mare. Infatti in estate, ad un consistente calo dei flussi d'acqua dolce corrisponde un isolamento della laguna dal mare.

Questa condizione potrebbe indicare come il sistema affronti dei periodi di isolamento dal mare senza compromettere il suo equilibrio trofico. Tali osservazioni richiedono comunque un maggiore approfondimento e l'utilizzo di modelli idrodinamici che esulano dalla metodologia di questo studio.

In base a quanto detto sopra, va sottolineata l'importanza di un corretto controllo dei volumi in ingresso nella laguna e l'utilizzo di impianti di depurazione delle acque dei reflui urbani e agricoli, attualmente sottostimati.

Infatti una diminuzione della concentrazione di nutrienti nel Canale Mare Foghe e Canale Rio Tanui, eviterebbe un eccessivo apporto di nutrienti in seguito ad annate particolarmente piovose e con volumi d'acqua in ingresso nella laguna superiori alla norma.

CONCLUSIONI GENERALI

Il modello biogeochimico LOICZ mette in evidenza che: 1) nella Laguna di Cabras gli input d'acqua dolce e l'evaporazione sono i fattori che regolano maggiormente gli scambi con il mare.

Lo studio idrodinamico condotto in parallelo in questo progetto conferma questi risultati. In inverno, a maggiori apporti d'acqua dolce

e minore evaporazione, corrisponde un aumento degli scambi con il mare. Viceversa in estate ad un aumento dell'evaporazione e diminuzione degli apporti, corrisponde un'assenza di scambi con il mare e isolamento della laguna.

Quindi, l'aumento dei tempi di residenza e del ricambio delle acque in estate rispetto a quelli trovati in inverno e primavera nel periodo investigato non incidono negativamente sullo stato trofico del sistema.

Questo potrebbe essere legato alla consistente estensione e volume del suo bacino. I valori di Δ DIP e di Δ DIN nella Laguna di Cabras sono risultati più bassi rispetto a quelli di altre lagune italiane simili per volume ed estensione come per esempio le lagune di Orbetello e di Goro, indicando una riduzione dei flussi di nutrienti entranti nel sistema investigato.

Di conseguenza, da questo confronto, si deduce che il “*Net Ecosystem Metabolism*” (NEM) e i processi di fissazione e di denitrificazione siano molto più bassi nella Laguna di Cabras come risultato di un più basso carico di nutrienti in entrata nella laguna.

Vista la relazione positiva tra volumi e nutrienti in entrata, l'abbattimento dei nutrienti in entrata nella laguna tramite depurazione delle acque è stato un valido strumento di mitigazione e di recupero per la Laguna di Cabras.

BIBLIOGRAFIA

1. Cannicci, G. "Prime osservazioni sul plancton di alcuni stagni salmastri mediterranei in rapporto alla salinità." Boll. Pesca piscicoltura e idrobiologia 15.2 (1939): 109-145.
2. De Angelis, C. "Osservazione su alcuni stagni della Sardegna, Nota II, Boll." Pesca Piscicoltura e idrobiologia 28 (1952): 207-245.
3. Dupra V, Smith SV, Marshall JI, Crossland C J (2000) Coastal and Estuarine System of the Mediterranean and Black Sea Region. LOICZ REPORTS & STUDIES NO. 19.
4. Giordani G, Viaroli P (2005) Nutrient fluxes in transitional zones of the Italian coast. LOICZ REPORTS & STUDIES NO.28
5. Giordani G, Viaroli P (2002) Modello Biogeochimico LOICZ. Workshop LOICZ, Venezia 14-15 aprile.
6. IMC – International Marine Centre (1999) Controllo ambientale nello stagno di Cabras (Periodo: luglio 1999). Rapporto tecnico.
7. IRSA-CNR (2003). Metodi Analitici delle Acque. Manuali e linee guida.
8. Morabito G. (1997). Dinamica stagionale delle comunità algali e analisi microscopica del fitoplancton. AGAC – Reggio Emilia, 2-5 giugno 1997.
9. Sechi N (2001) Elaborazione del piano di recupero ambientale e di rilancio produttivo dello stagno di Cabras. Regione Autonoma della Sardegna.
10. Strickland JDH e Parson TR (1972). A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fish. Res. Bd Can. Bull. 167:310 pp.
11. Uras O, Sanna R, Sanna L (2001) Elaborazione del piano di recupero ambientale e di rilancio produttivo dello stagno di Cabras. Consorzio di Bonifica dell'oristanese.

RINGRAZIAMENTI

Il rapporto è tratto dai lavori realizzati all'interno del Progetto di SIGLA - *Sistema Integrato per il Monitoraggio e Gestione di Lagune ed Ambiente*, sotto-azione **CARLA** - **CAR**atterizzazione fisica, chimica e biologica dell'acqua e dei sedimenti della **L**aguna svolto in partenariato con Hydrocontrol Srl di Cagliari e l'Università degli studi di Sassari - CISD.

Si ringraziano inoltre il direttore e tutti i ricercatori IMC per la collaborazione oltre al supporto e la gentile concessione all'utilizzo di infrastrutture IMC.