

## Variazioni delle concentrazioni di nutrienti e dei flussi di sedimentazione nella parte centrale della laguna di Venezia

Adriano Sfriso\*, Chiara Facca, Sonia Ceoldo, Pier Francesco Ghetti

Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Venezia, Calle Larga 2137 - 30123 Venezia

\* Referente per la corrispondenza: Fax +39 041 2348584; sfrisoa@unive.it

Pervenuto il 7.8.2003; accettato il 29.1.2004

### Riassunto

In questo lavoro sono presentate le variazioni dello stato trofico e dei flussi di sedimentazione avvenute negli ultimi quindici anni in alcune stazioni della parte centrale della laguna di Venezia. Da giugno 2000 a giugno 2001 sono state analizzate le concentrazioni dei nutrienti disciolti nella colonna d'acqua, dei nutrienti totali presenti nei sedimenti superficiali, nel particellato e nei tessuti di alcune macrofite e i flussi di sedimentazione. I dati ottenuti sono stati confrontati con quelli rilevati dal 1984 al 1998.

Nella colonna d'acqua le concentrazioni dei nutrienti, soprattutto dell'azoto inorganico disciolto, presentano una marcata variabilità interannuale. Nel sedimento superficiale (orizzonte 0-5 cm), dal 1984 al 2001, le concentrazioni di azoto e fosforo sono diminuite, spesso più che dimezzate. Dall'analisi delle concentrazioni tissutali dei nutrienti, *Ulva rigida* C. Ag. e *Gracilaria armata* (C. Ag.) J. Ag. risultano potenzialmente limitate da azoto, mentre la rizofita *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asher è limitata prevalentemente da fosforo.

Nell'ultimo decennio i flussi di particellato, valutati con trappole di sedimentazione poste nei fondali delle aree di studio, sono aumentati di 4-5 volte. Nella laguna centrale l'incremento è stato di circa un ordine di grandezza, con valori medi intorno a 700 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>, su base secca. Questo incremento, inizialmente associato alla riduzione della copertura algale, è stato fortemente accentuato dall'impatto della pesca delle vongole (*Tapes philippinarum* Adams & Reeve) svolta nel bacino che, una volta, era occupato dalle macroalghe. Parallelamente, la biomassa macroalgale si è ridotta a circa 1-2% dei valori misurati negli anni '80.

PAROLE CHIAVE: nutrienti / flussi di sedimentazione / pesca delle vongole / macrofite.

### Changes of nutrient concentrations and sediment fluxes in the central part of the Venice lagoon

In the last 15 years, trophic conditions and sediment fluxes in the central part of the Venice lagoon changed remarkably. Macroalgal biomass decreased to 1-2% of the values recorded in the 1980s. Since 1983, the Manila clam, *Tapes philippinarum* Adams & Reeve, was introduced in the lagoon and colonised the bare sediments. Clam harvesting by hydraulic and mechanical dredging affected severely the benthic system.

A general decrease of sedimentary nutrients was detected, especially in areas such as San Giuliano where C, N and P were about halved from 1989-90 to 2000-01. In this area macroalgae disappeared in the early 1990s. In parallel, high sediment resuspension and settlement were caused by clam fishing. As a consequence, sediment fluxes were ca. 4-5 times (up to 12 times in other areas) higher than those measured in the 1990s and favoured the loss of the finest material and the dispersal in the lagoon of high amounts of particulate nutrients. The reactive phosphorus (RP) concentrations in the water column decreased remarkably, as a result of the increased oxidation state of the lagoon and the polyphosphate banning from the commercial detergent formulations. The dissolved inorganic nitrogen (DIN) increased weakly or remained similar to the concentrations monitored in the past. Both RP and DIN concentrations were higher than the imperative values fixed for total N and P in the water column by the 23<sup>rd</sup> April 1998 Ronchi-Costa decree.

The tissue concentrations of nutrients in *Ulva rigida* C. Ag. and *Gracilaria armata* (C. Ag.) J. Ag., in areas with high macroalgal biomass, showed a potential nitrogen limitation. The nutrient concentrations in the shoots of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asher. evidenced a potential phosphorus limitation.

KEY WORDS: nutrients / sediment fluxes / clam fishing / macrophytes

## INTRODUZIONE

Fin dagli anni '60 la laguna di Venezia è stata soggetta a profonde modificazioni morfologiche, chimiche e biologiche con frequenti e repentini cambiamenti che hanno reso necessario un continuo aggiornamento delle conoscenze sia dello stato trofico che del livello di inquinamento di acque e sedimenti.

Tra gli anni '60 e '70, l'espansione della produzione industriale e l'avvento di fertilizzanti e monocolture in agricoltura hanno causato lo sversamento in laguna di rilevanti quantità di sostanze eutrofizzanti (PAVONI *et al.*, 1992; MARCOMINI *et al.*, 1995). La disponibilità di nutrienti in combinazione con gli sconvolgimenti idrodinamici causati dallo scavo di larghi e profondi canali commerciali (Canale Malamocco-Marghera detto "Canale dei Petroli") ha creato le condizioni per una crescita incontrollata di macroalghe nitrofile e galenofile come *Ulva rigida* C. Ag. (SFRISO *et al.*, 1993; SFRISO e MARCOMINI, 1996a). Nel giro di pochi anni imponenti *bloom* macroalgali hanno completamente soppiantato le praterie di fanerogame marine preesistenti in laguna centrale e in parte della laguna nord.

La dominanza macroalgale ha perdurato fino all'inizio degli anni '90, quando le macroalghe hanno cominciato un rapido e progressivo declino, inizialmente causato da variazioni climatiche e, poi, rafforzato da altre importanti concause come l'incremento dei flussi di risospensione e sedimentazione dei sedimenti superficiali e l'incremento del pascolo degli organismi erbivori, non più eliminati dalle crisi distrofiche (SFRISO e MARCOMINI, 1996b; BALDUCCI *et al.*, 2001). Contemporaneamente, la raccolta delle macroalghe, in presenza di biomasse oramai limitate ad areali circoscritti, ha cominciato a dare risultati positivi. Da ultimo sono diminuite anche le immissioni di fosforo e azoto in laguna ma, soprattutto, sono diminuiti gli apporti stagionali di nutrienti che si accumulavano temporaneamente nei sedimenti superficiali.

Grazie alla sua elevata capacità di accrescimento, *Ulva rigida* assimilava i nutrienti dall'acqua e li trasferiva ai sedimenti durante la degradazione (SFRISO *et al.*, 1987). Pertanto le macroalghe erano responsabili dell'incremento di nutrienti sia nei sedimenti superficiali che nel particellato. Poiché la produzione lorda di *Ulva* era intorno a 200-220 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> (peso umido) e nella sola laguna centrale la produzione annua era di circa 10 milioni di tonnellate (SFRISO e MARCOMINI, 1994, SFRISO *et al.*, 2003a) si può ben comprendere l'importanza delle macroalghe nei cicli dei nutrienti in laguna. Similmente si possono immaginare i cambiamenti verificatisi quando le biomasse macroalgali sono regredite. Attualmente in laguna centrale la produzione lorda delle macroalghe è di ca. 230000 tonnellate per anno (SFRISO *et al.*, 2003a).

Successivamente alla scomparsa delle macroalghe, la vongola filippina, *Tapes philippinarum* Adams & Reeve, introdotta in laguna solo nel 1983, ha colonizzato i fondali liberi dalle biomasse algali creando le premesse per nuovi e drastici cambiamenti dell'ambiente lagunare. La pesca delle vongole determina un forte impatto sul comparto bentonico, dovuto all'impiego di draghe turbosoffianti, draghe vibranti e rusche. Il raccolto ha raggiunto il suo apice nel 1996 con ca. 50000 tonnellate di pescato e continua tuttora con una media di ca. 30000-40000 tonnellate per anno (OREL *et al.*, 2000). In quegli anni erano operanti ca. 120 turbosoffianti ed almeno 600 barchini, appositamente attrezzati per questo tipo di pesca. Gli effetti sono stati devastanti. In attesa di poter inquadrare questo tipo di pesca in un'attività di pesca-coltura gestita in aree concessionarie, lo scempio della laguna continua ancora cambiando sia la morfologia dei fondali che la composizione ed abbondanza delle comunità fito e zoobentoniche.

Per effetto della pesca delle vongole, non solo sono state spazzate via le fanerogame marine che ricominciavano a popolare le aree liberate dalle macroalghe, ma anche il fitoplancton attualmente appare fortemente limitato. I *bloom* fitoplanctonici rilevabili in passato non si verificano più, a causa della distruzione delle comunità microbentoniche e delle enormi quantità di sedimenti risospesi (FACCA *et al.*, 2002). I fondali sono in erosione per la perdita della componente sedimentaria più fine e gli inquinanti, accumulatisi nei sedimenti durante il boom industriale post-bellico ed attualmente seppelliti a 15-20 cm di profondità, sono rimessi in circolazione e ridistribuiti (SFRISO *et al.*, 2003b).

Attualmente, nonostante la laguna sia soggetta a continui cambiamenti in risposta alle nuove ingerenze umane, la scomparsa dei fenomeni distrofici e delle crisi anossiche, che puntualmente si verificavano ogni anno in presenza delle imponenti biomasse di *Ulva*, ha permesso una miglior ossigenazione dell'ambiente e il ripopolamento da parte di molte specie algali nuove o presenti in passato prima della diffusione dell'*Ulva*.

Questo lavoro si propone di completare il quadro delle conoscenze acquisite in questi ultimi 15 anni sullo stato trofico della parte centrale della laguna di Venezia. In particolare, sono considerate le variazioni spazio-temporali: a) dei nutrienti nella colonna d'acqua, nei sedimenti superficiali, nei solidi sospesi e nella biomassa delle macrofite dominanti e b) dei flussi di risospensione e sedimentazione dei sedimenti superficiali, facendo un confronto con serie di dati storici rilevati in passato dagli stessi ricercatori nelle stesse aree di studio utilizzando le stesse metodiche di campionamento e di analisi.

## MATERIALI E METODI

### a) Aree di studio

I campionamenti sono stati eseguiti per un anno con frequenza mensile, a partire dal mese di giugno 2000. Sono state considerate tre aree lagunari con condizioni trofiche basse, medie ed elevate e caratterizzate dalla dominanza di differenti categorie di produttori primari: fanerogame marine, macroalghe e fitoplancton.

Un'area di studio a basso livello di trofia (stazione SMM) e prevalentemente dominata da *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asher. è stata individuata tra Santa Maria del Mare e l'Ottagono San Pietro nel bacino di Malamocco (coordinate geografiche: 45° 19' 810 N, 12° 18' 827 E). Quest'area, prescelta come bianco, è caratterizzata dalla presenza di numerose specie algali che non tollerano elevati livelli di inquinamento, da un elevato ricambio mareale e da impatti antropici trascurabili a causa dei bassi fondali e della presenza delle praterie di fanerogame marine. L'area SMM non è ancora interessata dalle attività di pesca delle vongole

che hanno profondamente modificato la trasparenza, i flussi di sedimentazione, le biocenosi e le concentrazioni di nutrienti ed inquinanti di gran parte della laguna (OREL *et al.*, 2000; SFRISO *et al.*, 2003b).

Un'area con condizioni di stato trofico intermedie e dominata dalle macroalghe (st. Lido) è stata individuata nel partiacque del Lido (coordinate geografiche: 45° 23' 552 N, 12° 20' 884 E) presso l'isola omonima. Quest'area ha subito gli impatti di maggior rilievo derivanti dall'elevata produzione e decomposizione delle biomasse macroalgali. Durante l'inizio di questo studio (estate 2000) era l'unica area della laguna centrale con una rilevante copertura di macroalghe, in particolare di *Ulva rigida* C. Ag. e *Gracilaria armata* (C. Ag.) J. Ag. che nel 2001 sono, però, quasi scomparse. Questa stazione presenta un ricambio mareale scarso e flussi di sedimentazione modesti.

Infine, un'area con condizioni trofiche elevate (st. San Giuliano, SG) ed attualmente dominata dal fitoplancton è stata scelta a nord del ponte translagunare presso San Giuliano (coordinate geografiche: 45° 27'

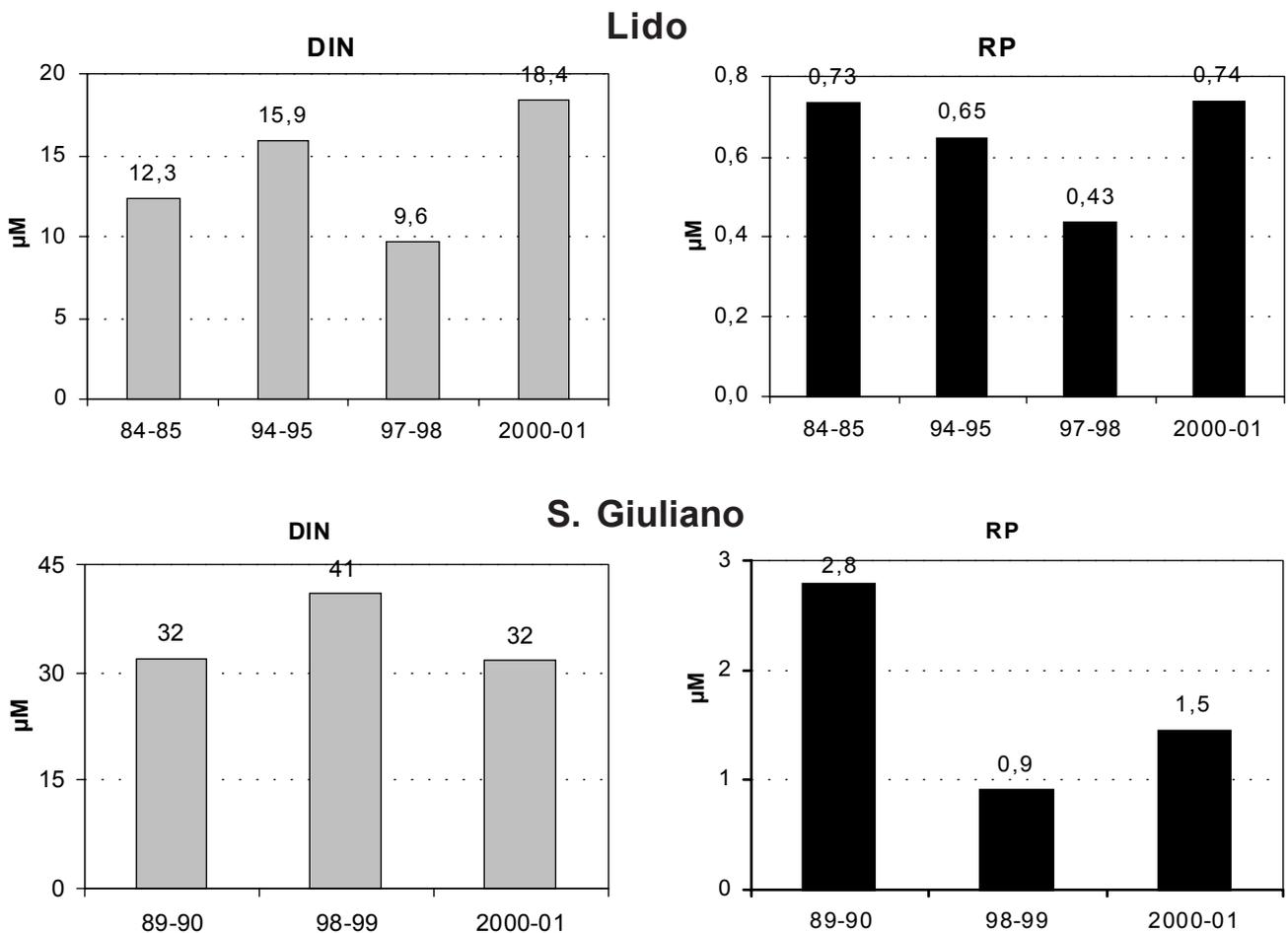


Fig. 1. Variazioni delle concentrazioni medie annuali di nutrienti (12-36 campioni per anno) nella colonna d'acqua.

803 N, 12° 17' 532 E). La densità del fitoplancton è tuttavia molto bassa e appena superiore a quella determinata nelle altre due stazioni. Quest'area presenta acque molto torbide, con scomparsa del disco di Secchi a ca. 0,3-0,5 m ed elevati flussi di sedimentazione (ca. 900 kg m<sup>-2</sup> per anno).

#### b) Procedure analitiche ed analisi statistica

Le concentrazioni di nutrienti nelle varie matrici ambientali sono state determinate in accordo con le metodologie riportate in STRICKLAND e PARSONS (1972). I flussi di sedimentazione sono stati determinati mediante trappole bentiche lasciate in loco (SFRISO *et al.*, 1992). Il confronto tra differenti annate di dati è stato effettuato attraverso l'analisi della varianza (ANOVA) ad un fattore utilizzando il programma Excel 2000 della Microsoft.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

### a) Nutrienti nella colonna d'acqua

Le concentrazioni medie dei composti dell'azoto inorganico disciolto (DIN) e del fosforo reattivo (RP) mostrano un gradiente crescente dalla stazione SMM, presso la bocca di porto, alla stazione SG, presso la gronda lagunare, con la stazione di Lido che presenta valori intermedi (Fig. 1). Mentre per la stazione di SMM non si hanno dati pregressi, per la stazione del Lido sono disponibili 4 serie annuali di dati dalle quali si nota che il DIN e l'RP sono variati, anche se in modo non significativo (ANOVA, DIN:  $p < 0,09$ ; RP  $< 0,27$ ). Il DIN è progressivamente aumentato passando da valori medi di 12,3  $\mu\text{M}$  nel 1984-85 a 18,4  $\mu\text{M}$  nel 2000-01. L'unica variazione significativa è stata riscontrata tra il 1997-98 e il 2000-01 (ANOVA:  $p <$

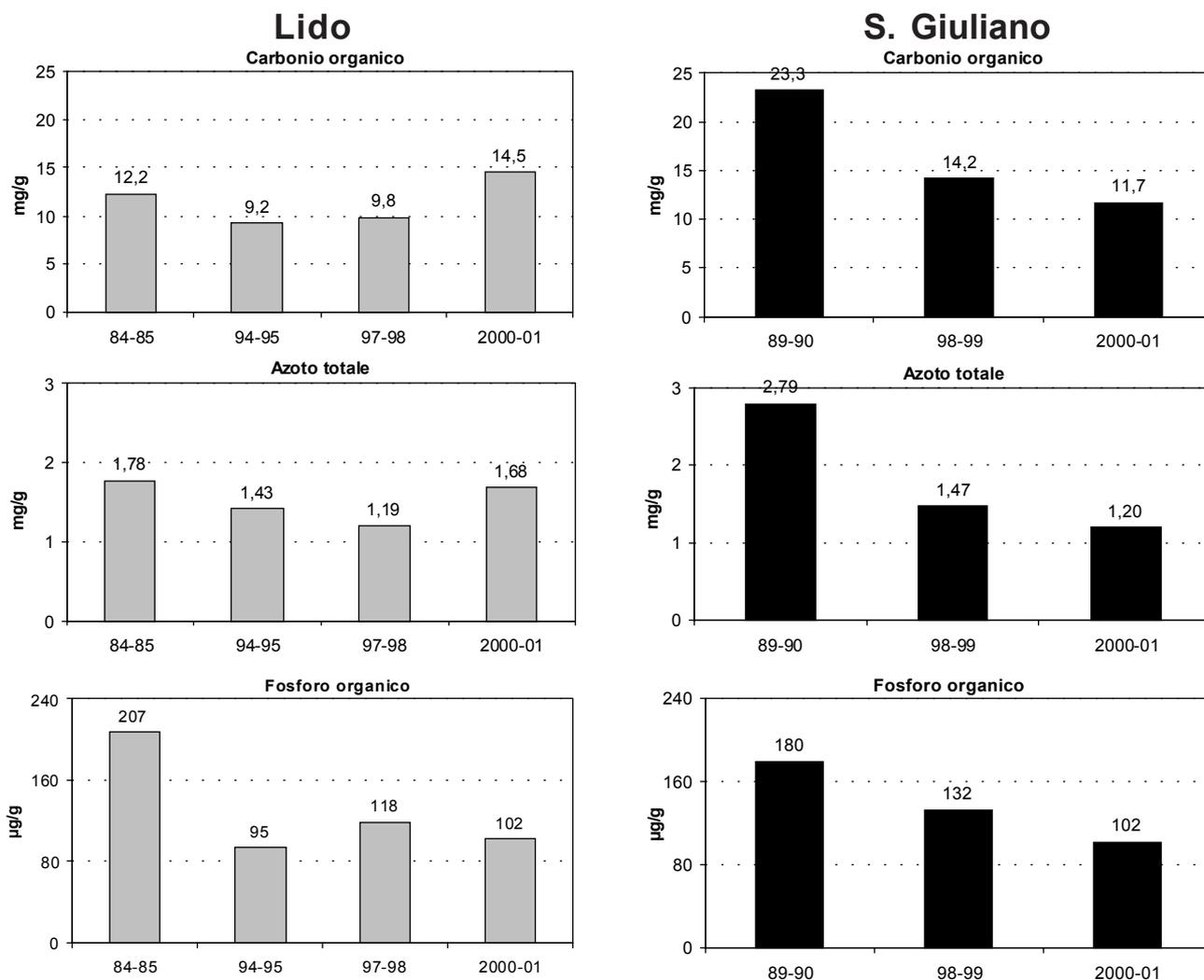


Fig. 2. Variazioni delle concentrazioni medie annuali (12 campioni per anno) di nutrienti nei primi 5 cm di sedimento superficiale nelle stazioni di Lido e di San Giuliano.

0,04). Viceversa, le concentrazioni di RP sono diminuite passando da  $0,73 \mu\text{M}$  nel 1984-85 a  $0,43 \mu\text{M}$  nel 1997-98 per aumentare nuovamente a  $0,74 \mu\text{M}$  nel 2000-01. Nella stazione di SG, dove le macroalghe sono scomparse all'inizio degli anni '90, si nota che il DIN non ha presentato variazioni di rilievo, oscillando tra  $32$  e  $41 \mu\text{M}$  (ANOVA:  $p < 0,39$ ). L'RP è invece diminuito significativamente (ANOVA:  $p < 5,0\text{E-}04$ ) passando da  $2,8 \mu\text{M}$  nel 1989-90 a  $0,9 \mu\text{M}$  nell'ultimo periodo. Nella stazione di SG, sia il DIN che l'RP raggiungono concentrazioni notevolmente superiori ai valori del decreto Ronchi-Costa del 23 aprile 1998 che fissava come imperative le concentrazioni di  $0,8 \mu\text{M}$  per il fosforo totale e  $25 \mu\text{M}$  per l'azoto totale.

### b) Nutrienti nei sedimenti superficiali

Nelle stazioni di Lido, ancora popolata da *Ulva rigida* nel 2000-2001, e di SG, priva di macroalghe fin dal 1993, le concentrazioni di azoto e fosforo nel sedimento superficiale seguono andamenti temporali diversi (Fig. 2).

Nella stazione di SG, le concentrazioni medie dei nutrienti tra il 1989 e il 2001 si sono significativamente ridotte passando da  $23,3 \pm 1,6$  a  $11,7 \pm 3,5 \text{ mg g}^{-1}$  per il  $\text{C}_{\text{org}}$  (carbonio organico) (ANOVA:  $p < 1,3\text{E-}12$ ), da  $2,8 \pm 0,2$  a  $1,2 \pm 0,2 \text{ mg g}^{-1}$  per l' $\text{N}_{\text{tot}}$  (azoto totale) (ANOVA:  $p < 9,0\text{E-}20$ ) e da  $180 \pm 23$  a  $102 \pm 21 \mu\text{g g}^{-1}$  per il  $\text{P}_{\text{org}}$  (fosforo organico) (ANOVA:  $p < 6,6\text{E-}06$ ).

Nella stazione di Lido sia l' $\text{N}_{\text{tot}}$  (ANOVA:  $p < 1,3\text{E-}$

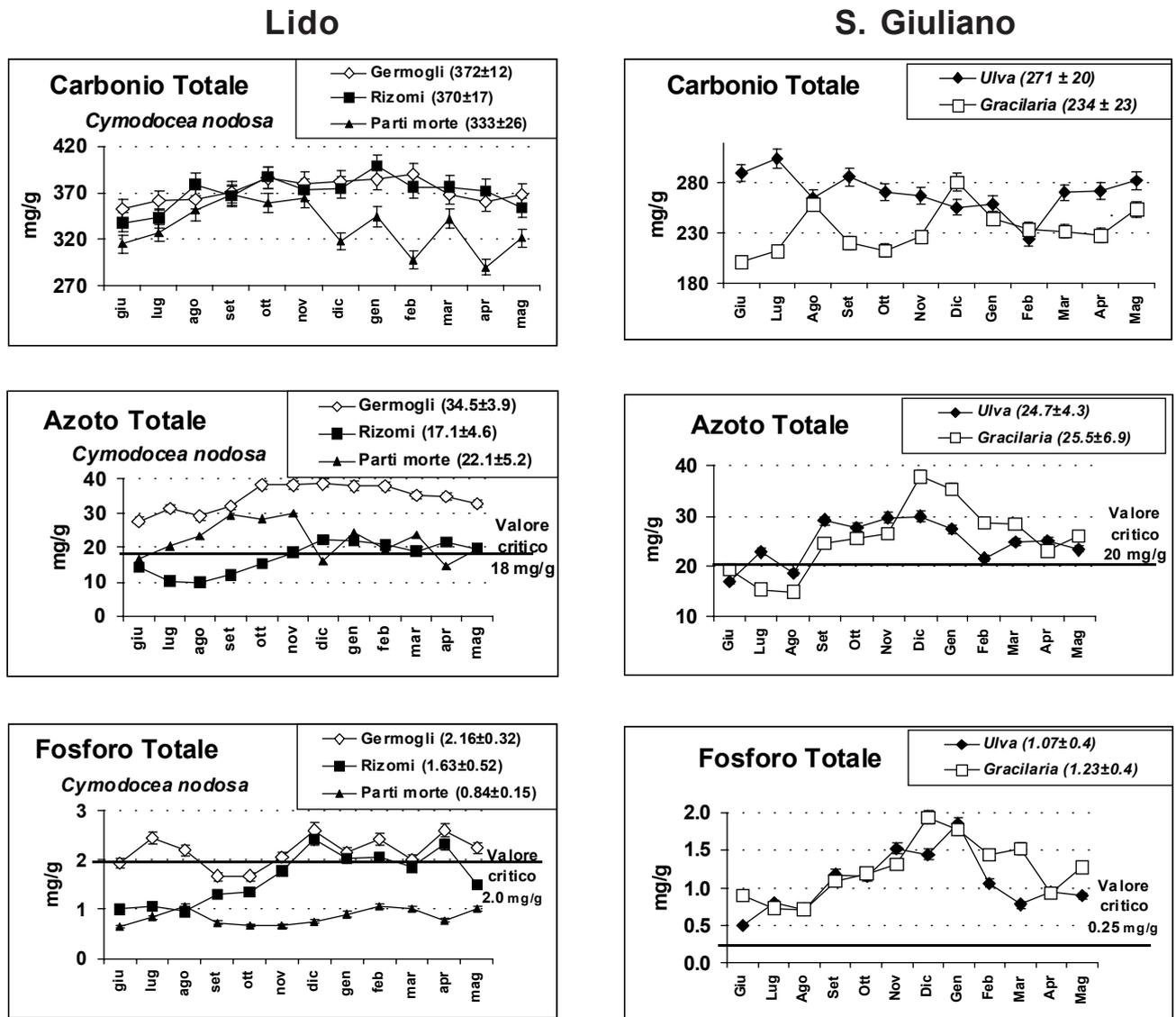


Fig. 3. Concentrazioni di nutrienti nelle macrofite dominanti presenti nelle stazioni di campionamento. Una linea orizzontale indica i valori di azoto totale e fosforo totale ritenuti limitanti (valore critico) per l'accrescimento ottimale di *Cymodocea* e di *Ulva*.

04) che il  $C_{org}$  (ANOVA:  $p < 1,1E-10$ ) hanno presentato variazioni altamente significative durante tutto il periodo considerato. Tuttavia, dopo un significativo decremento monitorato fra il 1984-85 e il 1997-98 (ANOVA,  $N_{tot}$ :  $p < 1,2E-05$ ;  $C_{org}$ :  $p < 2,0E-09$ ), le concentrazioni di questi nutrienti sono nuovamente aumentate nel 2000-01 (ANOVA,  $N_{tot}$ :  $p < 1,3E-03$ ;  $C_{org}$ :  $p < 8,7E-07$ ), probabilmente a causa degli elevati flussi di sedimentazione e del trasporto di sedimenti causati dalla pesca delle vongole. Il  $P_{org}$  mostra invece una continua tendenza alla diminuzione passando da  $207 \pm 64$  a  $102 \pm 21 \mu g g^{-1}$  (ANOVA:  $5,0E-09$ ).

### c) Nutrienti nei tessuti delle macrofite dominanti

Attualmente le macroalghe presentano una biomassa e una produzione primaria pari a circa il 2% dei valori trovati negli anni '80 (SFRISO *et al.* 2003a). Tuttavia il numero di specie presenti in laguna è più che doppio rispetto a una decina di anni fa (SFRISO *et al.*, 2002). La diffusione delle fanerogame marine è invece in espansione poiché queste piante hanno occupato molti areali, un tempo popolati dalle macroalghe, soprattutto in aree marginali lungo i canali e nei bassi fondali dove l'attività di pesca delle vongole è modesta.

Nella stazione di SMM, le concentrazioni di  $C_{tot}$

(carbonio totale) nei germogli e nei rizomi di *Cymodocea nodosa*, fanerogama marina che raggiunge biomasse medie elevate ( $3048 \pm 1134 g m^{-2}$ , su base umida), sono risultate simili ( $372 \pm 12$  e  $370 \pm 17 mg g^{-1}$ ), mentre le concentrazioni di  $N_{tot}$  e  $P_{tot}$  (azoto e fosforo totali) sono risultate sempre maggiori nei germogli che negli altri tessuti. Le concentrazioni di  $N_{tot}$  nei germogli ( $34,5 \pm 33,9 mg g^{-1}$ ) non sono mai state al di sotto delle concentrazioni ritenute critiche ( $18 mg g^{-1}$ ) per un accrescimento ottimale di questa specie, mentre quelle del  $P_{tot}$ , variando tra ca. 1,8 e ca. 2,3  $mg g^{-1}$ , sono risultate potenzialmente limitanti ( $< 2,0 mg g^{-1}$ ) tra settembre ed ottobre, durante il periodo del massimo incremento di biomassa (Fig. 3).

In *Ulva rigida* e *Gracilaria armata*, macroalghe presenti con una discreta biomassa nella stazione Lido, le concentrazioni di  $N_{tot}$  ( $24,7 \pm 4,3$  e  $25,6 \pm 6,9 mg g^{-1}$ , rispettivamente) hanno raggiunto concentrazioni intermedie rispetto a quelle rilevate nei germogli e nei rizomi di *Cymodocea*. Le concentrazioni di  $P_{tot}$  ( $1,1 \pm 0,4$  e  $1,2 \pm 0,4 mg g^{-1}$ , rispettivamente) erano, invece, sempre inferiori. Mentre per il fosforo le concentrazioni erano sempre notevolmente più elevate della concentrazione considerata critica per l'accrescimento ( $0,25 mg g^{-1}$ ), per l'azoto sono stati trovati valori potenzialmente limitanti ( $< 20 mg g^{-1}$ ) tra giugno ed agosto.

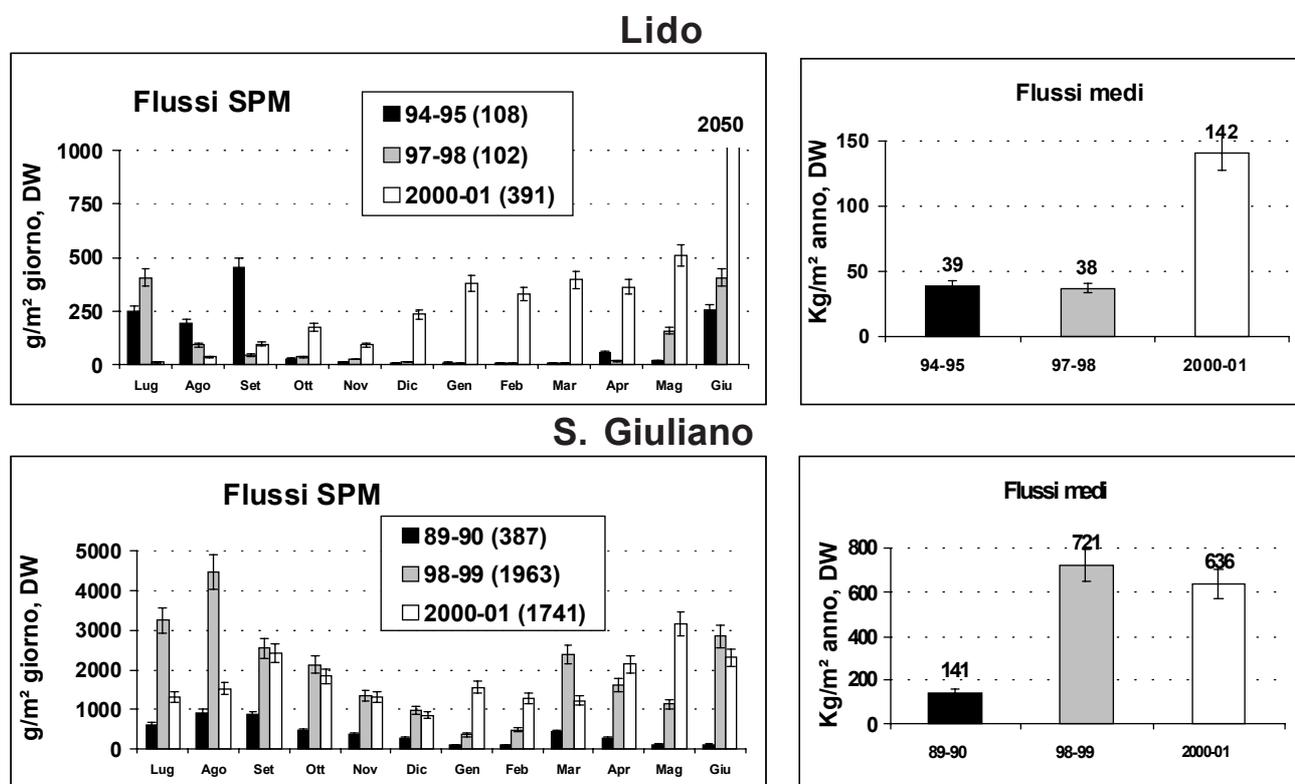


Fig. 4. Variazione delle quantità di particellato raccolto in continuo tramite trappole di sedimentazione lasciate in loco durante annate diverse.

#### d) Flussi di sedimentazione e di nutrienti

Con la scomparsa delle macroalghe e la diffusione e pesca delle vongole i flussi di sedimentazione, tra il 1989 e il 2000-01, sono notevolmente aumentati passando da 141 a 600-700 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>, come sostanza secca, nella stazione di SG (ANOVA:  $p < 5,9E-05$ ), mentre al Lido l'incremento è stato più contenuto (ANOVA:  $p < 0,07$ ), variando tra 38-39 e 142 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> (Fig. 4). In quest'ultima stazione, dopo la scomparsa della biomassa macroalgale avvenuta alla fine del 2000, i flussi di particellato sono passati da valori inferiori a 250 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> a valori fino a 2050 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. I flussi sono stati marcatamente più elevati nella stagione calda presentando picchi di sedimentazione tra aprile e giugno e tra settembre e novembre, in concomitanza con il maggior sforzo di pesca delle vongole filippine.

Nel complesso, anche se le concentrazioni di nutrienti nel particellato sono risultate inferiori a quelle rilevate in passato, i flussi totali di nutrienti veicolati col particellato nel 2000-01 sono risultati più elevati che negli anni precedenti. Infatti, i flussi di nutrienti legati al particellato dipendono dai flussi di sedimentazione e dalla concentrazione dei nutrienti nel materiale sedimentato. Nella stazione di Lido, caratterizzata dalla presenza delle macroalghe, il particellato sedimentato aveva un contenuto medio mensile di C, N e P più elevato che nelle altre stazioni, raggiungendo concentrazioni di C<sub>org</sub> di 32±7 mg g<sup>-1</sup>, N<sub>tot</sub> di 4,2±1,2 mg g<sup>-1</sup> e di P<sub>org</sub> di 279±67 µg g<sup>-1</sup>. Le concentrazioni medie più basse sono state determinate nella stazione di SMM.

Sulla base dei flussi di particellato nella stazione di SG, la ricaduta dei nutrienti ha raggiunto ca. 12,0 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> per il C<sub>org</sub>, ca. 1,3 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> per N<sub>tot</sub> e ca. 0,1 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> per il P<sub>org</sub>. Nella stazione di SMM i flussi di nutrienti sono stati di circa un ordine di grandezza più bassi: ca. 1,7 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> per il C<sub>org</sub>, ca. 0,2 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> per N<sub>tot</sub> e ca. 0,01 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> per il P<sub>org</sub>. La stazione del Lido presentava valori intermedi, ma più prossimi a quelli della stazione di SMM.

#### CONCLUSIONI

Nelle aree lagunari considerate, dalla fine degli anni

'80 al 2001, le concentrazioni dei nutrienti nelle acque e nei sedimenti superficiali sono variate in concomitanza con la riduzione e la scomparsa quasi totale delle macroalghe e con la diffusione e la pesca delle vongole filippine. Le variazioni più significative si sono osservate soprattutto nei sedimenti superficiali nelle aree prive di macroalghe, dove, in alcuni casi, le concentrazioni di C<sub>org</sub>, N<sub>tot</sub> e P<sub>org</sub> sono addirittura dimezzate.

Nelle acque si nota, invece, una tendenza alla diminuzione del RP e all'incremento del DIN. La riduzione del RP può essere attribuita all'eliminazione dei fosfati nelle formulazioni commerciali dei detersivi e alle condizioni ossidative del sedimento superficiale. L'incremento del DIN può essere invece indotto dalla ridotta assimilazione dei produttori primari.

Le concentrazioni tissutali di azoto e fosforo nei germogli della fanerogama *Cymodocea nodosa*, che cresce in acque ben ossigenate, mostrano una sua limitazione potenziale da fosforo. Nelle macroalghe, che prediligono le aree lagunari più eutrofizzate, è invece l'azoto che appare ancora l'elemento critico, ma limitatamente al periodo di maggior accrescimento, in giugno-agosto.

Contemporaneamente alla riduzione delle biomasse macroalgali e alla diffusione e alla pesca delle vongole si è registrato anche un significativo incremento della risospensione, del trasporto e dei flussi di sedimentazione. Attualmente (2003) in laguna centrale i flussi medi di sedimentazione sono circa un ordine di grandezza più elevati rispetto agli anni '80. Tuttavia la recente regolamentazione delle attività di pesca alle vongole e l'assegnazione da parte della Provincia di Venezia di aree per la venericoltura (ca. 3000 ha) distribuite in tutta la laguna (OREL *et al.*, 2000), hanno dimostrato che la produzione e la raccolta di vongole in aree confinate hanno un impatto limitato sui flussi di sedimentazione considerati su base annuale (PESSA e SFRISO, 2002).

Le attività di raccolta delle vongole e di sistemazione dei fondali, compresa l'estirpazione di eventuali fanerogame marine, hanno infatti un impatto ambientale paragonabile a quello di un normale evento meteorologico avverso.

#### BIBLIOGRAFIA

- BALDUCCI C., SFRISO A., PAVONI B., 2001. Macrofauna impact on *Ulva rigida* C.Ag. production and relationship with environmental variables in the lagoon of Venice. *Mar. Env. Res.* **52**: 27-49.
- FACCA C., SFRISO A., SOCIAL G., 2002. Changes in abundance and

- composition of phytoplankton and microphytobenthos due to increased sediment fluxes in the Venice lagoon, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **54**: 773-792.
- MARCOMINI A., SFRISO A., PAVONI B., ORIO A.A., 1995. Eutrophication of the lagoon of Venice: nutrient loads and exchanges.

- In: (A.J.Mc Comb ed.), *Eutrophic Shallow Estuaries and Lagoons*, CRC Press, Boca Raton, FL, U.S.A. 59-80 pp.
- OREL G., BOATTO V., SFRISO A., PELLIZZATO M., 2000. *Piano per la gestione delle risorse alieutiche delle lagune della Provincia di Venezia*. In: (Provincia di Venezia ed.), SannioPrint, Benevento. 102 pp.
- PAVONI B., MARCOMINI A., SFRISO A., DONAZZOLO R., ORIO A.A., 1992. Changes in an estuarine ecosystem. The Lagoon of Venice as a case study. In: (D.A. Dunnette and R.J. O'Brien eds.), *The Science of Global Change*, American Chemical Society, Washington, D.C., U.S.A. 287-305 pp.
- PESSA G., SFRISO A., 2002. *Monitoraggio degli effetti della pesca di *Tapes philippinarum* sui flussi di sedimentazione, sui processi di erosione/sedimentazione e sulla distribuzione di macroalghe e fanerogame marine in aree bersaglio e prossime alle zone date in concessione per la pesca allevamento di questi molluschi*. Provincia di Venezia. Rapporto Finale.
- SFRISO A., MARCOMINI A., PAVONI B., 1987. Relationship between macroalgal biomass and nutrient concentrations in a hypertrophic area of the Venice lagoon. *Marine Environmental Research*, **22**: 297-312.
- SFRISO A., PAVONI B., MARCOMINI A., RACCANELLI S., ORIO A.A., 1992. Particulate matter deposition and nutrient fluxes onto the sediments of the Venice lagoon. *Environmental Technology*, **13**: 473-483.
- SFRISO A., MARCOMINI A., PAVONI B., ORIO A.A., 1993. Species composition, biomass and net primary production in coastal shallow waters: the Venice lagoon. *Bioresource Technology*, **44**: 235-250.
- SFRISO A., MARCOMINI A., 1994. Gross primary production and nutrient behaviours in shallow lagoon waters. *Bioresource Technology*, **45**: 59-66.
- SFRISO A., MARCOMINI A., 1996a. Chap.15 Italy - The Lagoon of Venice. In: (W.Schramm and P.N. Nienhuis eds.), *Marine Benthic Vegetation, Ecological Studies*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Vol. 123: 339-368.
- SFRISO A., MARCOMINI A., 1996b. Decline of *Ulva* growth in the lagoon of Venice. *Bioresource Technology*, **58**: 299-307.
- SFRISO A., LA ROCCA B., GODINI E., 2002. Inventario di taxa macroalgali in tre aree della laguna di Venezia a differente livello di trofia. *Lavori Soc. Ven. Sci. Nat.*, **27**: 85-99.
- SFRISO A., FACCA, C., GHETTI P.F. 2003a. Temporal and spatial changes of macroalgae and phytoplankton in a Mediterranean coastal area: the Venice lagoon as a case study. *Marine Environmental Research*, **56**: 617-636.
- SFRISO A., FACCA C., CEOLDO S., SILVESTRI S., GHETTI P.F. (2003b). Role of macroalgal biomass and clam fishing on spatial and temporal changes in N and P sedimentary pools in the central part of the Venice lagoon. *Oceanologica Acta*, **26**: 3-12
- STRICKLAND J.D.H., PARSONS T.R., 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analyses*. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa. 309 pp.