

***Posidonia oceanica* come bioindicatore per elementi in tracce: analisi dell'andamento temporale mediante l'uso della lepidocronologia**

Stefania Ancora¹, Nicola Bianchi¹, Angela Butini¹, Cristina Buia², Maria Cristina Gambi² & Claudio Leonzio¹

¹Dipartimento di Scienze Ambientali,
Università degli Studi di Siena,
Via Mattioli, 4,
53100 Siena - ancora@unisi.it

²Stazione Zoologica Anton Dohrn,
Laboratorio di Ecologia del Benthos,
Ischia, Napoli

Parole chiave: *Posidonia*, biomonitor, metalli pesanti,

Abstract

Mediante l'uso della fanerogama marina *Posidonia oceanica* è stata effettuata una valutazione dei livelli di alcuni elementi in tracce (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Mn) nel Golfo di Posillipo. Attraverso l'uso della tecnica della lepidocronologia, è stato possibile datare retroattivamente le scaglie (parte basale della foglia che rimane fissata al rizoma al termine del suo ciclo di crescita) riuscendo ad assegnare l'anno corrispondente in una scala temporale di circa 10 anni. I livelli degli elementi in tracce, misurati sia nelle scaglie che nei rizomi, variano durante gli anni, in particolare il cadmio ed il mercurio seguono un andamento positivo, mentre il piombo mostra un *pattern* negativo. Questi risultati sono comparabili con quelli riportati dai *trend* globali per questi metalli. Sono state considerate diverse stazioni di campionamento ed i più alti livelli sono stati riscontrati nelle aree più industrializzate. Vengono riportate inoltre considerazioni generali sui livelli dei suddetti elementi nelle varie parti strutturali di questa fanerogama marina.

Introduzione

Le fanerogame marine rappresentano specie-chiave degli ecosistemi costieri. Le specie presenti in Mediterraneo sono solo sei, ma nel loro insieme contribuiscono comunque a formare una cintura molto estesa lungo la fascia costiera. Tra queste la specie endemica del nostro bacino, *Posidonia oceanica* (Fig. 1) costituisce uno dei climax del Mediterraneo ed uno degli ecosistemi più produttivi della fascia costiera, proprio per questo soggetto a continui impatti di natura sia chimica che meccanica da parte delle attività antropiche.

La grande importanza delle praterie di *P. oceanica* risiede nella loro estensione, nella loro elevata produttività e nella loro stabilità, potendo infatti persistere per migliaia di anni (Boudouresque e Meinesz, 1982; Arata e Divacco, 1989). L'elemento cruciale di tale ecosistema è da individuare nella pianta stessa: infatti questa, con le sue caratteristiche fenologiche, la sua dinamica di crescita e la sua ripartizione della biomassa, costituisce il supporto fisico e trofico per le comunità vegetali e animali associate che si presentano molto diversificate (Ott, 1980; Pergent *et al.*, 1994; Pergent-Martini *et al.*, 1994; Boudouresque e Meinesz, 1982);

In aggiunta, anche il detrito fogliare e le scaglie rappresentano un microhabitat unico e preferenziale per molti organismi detritivori e perforatori e mantiene, con la sua azione, l'equilibrio dei litorali agendo sulla stabilizzazione dei fondi grazie a rizomi e radici, attenuando l'azione delle correnti e del moto ondoso contenendo così l'erosione costiera (Gambi *et al.*, 1989). Il crescente impatto antropico (pressione demografica, urbanizzazione, industrializzazione, inquinamento, cambiamenti climatici globali) ha fatto sì che gli ecosistemi litorali, e quelli a *Posidonia oceanica* in particolare, siano tra i più minacciati e soggetti a fenomeni di forte degrado.



Figura 1 – *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813)

La regressione dei sistemi a *Posidonia oceanica* è testimoniata ormai in tutta l'area mediterranea, con la parallela scomparsa delle specie animali e vegetali ad essa associate che trovano nelle praterie il loro habitat elettivo.

Tale distruzione porta come conseguenza ad una maggiore erosione costiera e ad una semplificazione dell'ecosistema costiero paragonabile ad una sorta di “desertificazione”.

L'utilizzo di *Posidonia oceanica* come indicatore biologico di inquinamento chimico si sta sviluppando da una ventina di anni. In effetti questa fanerogama presenta tutte le qualità richieste per una utilizzazione in questo senso: specie bentonica, longeva, largamente diffusa in tutto il bacino del Mediterraneo e presenta un grande potere di concentrazione di inquinanti chimici. Data la distribuzione batimetrica, questo organismo è prevalentemente presente nelle aree costiere ed è per questo sottoposta a costanti “insulti chimici” provenienti dalle aree antropizzate circostanti (Meinesz e Lefèvres, 1978; Augier, 1985; Pergent, 1991). E' quindi facilmente reperibile e utilizzabile per programmi di “mapping” costiero.

Tra i vari contaminanti sicuramente i metalli pesanti rivestono un ruolo ecotossicologico importante, sia per l'effetto diretto sulle piante, sia per la capacità di intrappolamento e di trasferimento ai livelli trofici superiori (Ward 1987; Ward 1989; Costantini *et al.* 1991).

Le foglie, infatti, potrebbero giocare un ruolo molto importante nel trasferimento dei metalli dall'ambiente agli organismi in esso residenti attraverso la comunità algale epifita delle foglie, che rappresenta la fonte primaria di nutrimento; le foglie, infatti, non rappresentano la fonte diretta di cibo, se non per un gruppo ristretto di organismi animali.

L'assorbimento dei metalli da parte di queste piante è in proporzione ai livelli dei metalli stessi nell'ambiente (nella colonna d'acqua e nei sedimenti); la loro concentrazione nell'ambiente dipende da fattori geochimici e da processi biologici, come l'attività batterica (Pulich, 1980) ma riflette anche il fabbisogno metabolico della pianta per tali metalli (Hipkins, 1983).

Occorre ricordare infine che l'area mediterranea è caratterizzata da una mobilità relativamente scarsa delle acque; di conseguenza la debole dispersione degli inquinanti può aggravare l'impatto negativo delle sostanze tossiche e accelera l'accumulo di metalli in tracce lungo le aree costiere, vicino alle sorgenti contaminanti (Palanques e Diaz, 1994).

P. oceanica, differentemente dalle altre fanerogame del Mediterraneo, possiede delle caratteristiche biologiche che possono rappresentare una sorta di memoria biologica del sistema. In particolare, le

scaglie delle foglie, persistendo sul rizoma per tempi molto lunghi, costituiscono dei segnali cronologici validi per valutare la produzione della pianta su scale temporali anche abbastanza lunghe. La tecnica della lepidocronologia (come quella della dendrocronologia applicata alle piante terrestri) si avvale di tali segnali per seguire l'andamento annuale e decadale della produzione di questa pianta. I segnali cronologici utilizzati, le scaglie, hanno infatti delle variazioni cicliche di spessore, che permettono la loro datazione e, di conseguenza, quella della pianta. Le scaglie sono organi senza vita che hanno pochi o nessuno scambio con le parti viventi della pianta, questo lascia pensare che i metalli in esse inclusi quando erano in vita non possono più essere rimossi.

E' stato riportato che le scaglie di *Posidonia oceanica* possono registrare la contaminazione da radionuclidi per un lungo periodo definendo tale fenomeno "memorizzazione": livelli massimi di attività del ^{137}Cs sono infatti stati rilevati nelle scaglie corrispondenti agli anni 1960-1964 periodo coincidente con un picco nel fallout radioattivo (Calmet *et al.*, 1988).

Nella presente ricerca *Posidonia oceanica* viene proposta come un valido organismo biomonitor. Accoppiando la tecnica della lepidocronologia, che permette la datazione di alcune parti di questa fanerogama su scale temporali molto ampie (fino ad alcune decine di anni), con l'analisi dei metalli pesanti mediante assorbimento atomico è infatti possibile individuare gli andamenti temporali della contaminazione da metalli pesanti negli ambienti costieri.

Materiali e metodi

- Area di campionamento

I campioni di *Posidonia oceanica* sono stati raccolti nel Golfo di Napoli, nel tratto costiero tra la città di Napoli e l'isola d'Ischia. Questa area è caratterizzata da una forte industrializzazione accompagnata da un denso insediamento urbano. Queste caratteristiche dell'area di studio la rendono particolarmente critica da un punto di vista ambientale.

A sole 17.5 miglia, situata all'ingresso occidentale del Golfo di Napoli, si trova l'isola di Ischia. Pur essendo una delle isole partenopee di maggiore attrazione turistica, essa ha sicuramente subito un impatto ambientale minore di quanto non sia avvenuto per le zone immediatamente antistanti la città di Napoli. Per questo motivo una prateria antistante Ischia è stata scelta come area a controllo. La prateria di Ischia (Lat 40° 43 971 N Lon 13° 57 917 E), nei pressi del castello Aragonese, e perciò chiamata d'ora in poi Castello, è situata sul lato settentrionale dell'isola. Sono state quindi scelte altre tre stazioni antistanti la terraferma e comprese tra il porto di Napoli e quello di Pozzuoli con un differente grado di antropizzazione: Porto Paone (Lat 40° 47 675 N Lon 14° 09 653 E), Porto di Miseno (Lat 40° 47 307 N Lon 14° 05 100 E) e Posillipo (Lat 40° 48 804 N Lon 14° 12 709 E).

- Raccolta e preparazione dei campioni

I campioni analizzati sono stati raccolti nelle quattro località su menzionate tramite immersioni subacquee, a profondità comprese tra i 3 e 6 m, nei mesi di novembre e dicembre 1999.

I campioni, una volta raccolti, sono stati lavati in acqua dolce ed è stato provveduto alla rimozione meccanica degli epifiti dalle foglie. I campioni così preparati sono stati conservati in congelatore a -20°C per le successive procedure.

- La lepidocronologia

Il metodo che permette di datare le scaglie in un rizoma è detto "lepidocronologia" (dal greco lepidos significa scaglie (Pergent *et al.*, 1989) e si basa su particolari caratteristiche biologiche di *P. oceanica* che possono rappresentare una sorta di memoria biologica del sistema. *Posidonia oceanica* è strutturata in radici, rizoma e foglie, come schematicamente descritto in Figura 2a.

I ciuffi fogliari sono composti da 6-8 foglie nastriformi, lunghe 80 cm e larghe 1 cm, inserite sul fusto modificato, il rizoma; la disposizione delle foglie nel ciuffo è alterna - interna: in questo modo le più esterne sono le più lunghe e vecchie e le più interne sono quelle più giovani.

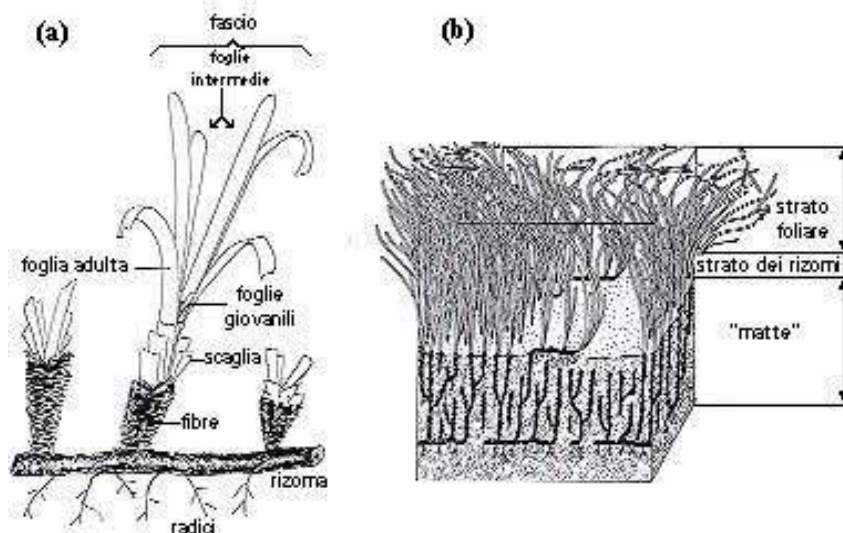


Figura 2 – (a) Disegno schematico delle principali parti costitutive di un ciuffo di posidonia – (b) Disegno schematico di "matte" e degli strati formati dalla prateria di posidonia.

Ogni foglia, caratterizzata da una crescita basale, è costituita da una parte inferiore, detta “base”, alla quale è attaccato il lembo fogliare, fotosintetizzante; il punto in cui la base si attacca al lembo fogliare è detto “ligula” ed è proprio da qui che la foglia, terminato il proprio ciclo di crescita, si staccherà lasciando la base attaccata al rizoma che viene quindi denominata “scaglia” e può persistere sul rizoma per moltissimo tempo. Questa caratteristica, insieme alle variazioni cicliche di spessore che le scaglie presentano, consente di applicare un metodo cronologico, la lepidocronologia, che permette di datare le piante esaminate.

Seguendo l’ordine di inserzione delle scaglie sul rizoma, si osservano infatti delle variazioni di spessore delle scaglie: da valori via via decrescenti si raggiunge un minimo di spessore a cui fanno seguito valori via via crescenti fino a raggiungere un valore massimo (Pergent *et al.*, 1989). Queste variazioni sono cicliche ed hanno un significato cronologico poiché ogni ciclo, inteso come il passaggio tra due minimi successivi, corrisponde al periodo di un anno (Pergent, 1990).

Da ciascun rizoma sono state staccate le scaglie facendo attenzione ad ordinarle secondo il loro ordine di inserzione sul rizoma stesso, dalle più vecchie fino alle più recenti, avvicinandosi progressivamente alle foglie ancora vive. L’uso di un calibro digitale ha permesso di misurare lo spessore delle scaglie e quindi di individuare gli anni corrispondenti.

Si è proceduto, quindi, a raggruppare insieme le scaglie dello stesso anno lepidocronologico e ad individuare lo stesso periodo sul rizoma sottostante. Il rizoma può crescere sia in senso orizzontale “rizoma plagiotropo” che verticale “ortotropo” ma la lepidocronologia viene effettuata normalmente su rizomi ortotropi, in cui questa periodicità è nettamente evidente.

Le scaglie ed i rizomi così riuniti per gruppi di anni, sono state quindi utilizzate per l’analisi dei metalli pesanti. Avendo quindi utilizzato per ciascun anno in ogni stazione i campioni come “pool”, i risultati ottenuti sono riferiti alla media di tre replicati di uno stesso campione.

- Analisi dei metalli pesanti

Scaglie e rizomi sono state liofilizzate e successivamente triturate. La determinazione analitica nei metalli è stata effettuata sul materiale sottoposto a digestione con HNO₃ concentrato in forno a micro-onde Milestone Wave, utilizzando il programma di digestione indicato nel manuale di utilizzo dello strumento con la dicitura “dried plant tissue”.

Al fine di verificare la pulizia dei contenitori e la purezza dei reagenti impiegati, nel corso di ciascuna digestione è stata realizzata anche una prova in bianco. Per verificare l’accuratezza delle procedure di mineralizzazione e delle successive determinazioni analitiche nel corso di ciascuna digestione, sono stati mineralizzati anche dei materiali standard di riferimento: “Tomato

leaves”1573a ; “Peach leaves” 1547, “Apple leaves” 1515, tali materiali di riferimento sono stati forniti e certificati dal *National Institute of Standard and Technology*.

Le determinazioni analitiche sono state eseguite mediante spettrofotometro ad assorbimento atomico (Perkin Elmer THGA 4100 ZL) utilizzando l'atomizzazione in fornello di grafite per Pb e Cd. le concentrazioni di Zn, Fe, Cu, Mn sono state determinate con spettrofotometro di emissione al plasma (Perkin-Elmer 400 ICP/AES Plasma), il mercurio è stato determinato tramite la tecnica F.I.M.S. (flow injection mercury sistem, Perkin Elmer mod.400).

Risultati e discussione

Il metodo della lepidocronologia ha permesso di retrodatare le scaglie ed i rizomi sino al 1990. Questo risultato, pur non raggiunto per tutte le stazioni campionate, ha permesso un'analisi su scala decennale del contenuto in metalli pesanti contenuti nei vari campioni di posidonia raccolti nel Golfo di Napoli.

I risultati relativi alle determinazioni degli elementi in tracce nelle scaglie e nei rizomi retrodatati delle quattro stazioni, sono riportati nelle Figure 3-9.

Sebbene le concentrazioni degli elementi siano abbastanza variabili nel tempo, è possibile osservare andamenti simili tra le quattro stazioni considerate. In particolare nelle scaglie i livelli di Hg, Cd, Cu e Mn mostrano un trend positivo, mentre Pb, Fe e Zn risultano avere un andamento negativo.

Nei rizomi le concentrazioni di Cd e Mn, non hanno rivelato grosse variazioni nel tempo tranne che nell'anno più recente. Per elementi quali Hg e Cu il trend temporale rilevato nei rizomi risulta in piena sintonia con quello delle scaglie mentre Pb, Fe e Zn mostrano nel rizoma andamenti opposti rispetto alle scaglie.

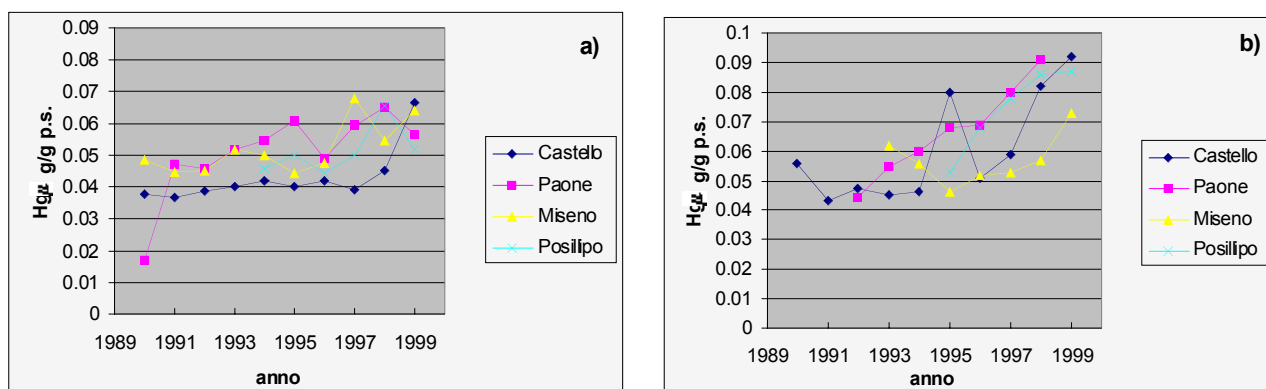


Figure 3 - Concentrazioni medie dei livelli di mercurio nelle scaglie (a) e nei rizomi (b) in relazione all'anno lepidocronologico determinate in ciascuna stazione..

Le concentrazioni di mercurio (Fig. 3) sia nelle scaglie che nei rizomi sono risultate inferiori a quelle riportate da Maserti *et al.* (1991) per campioni provenienti dall'area antistante un impianto di produzione cloro-soda e nello stesso range di valori trovati nella stessa area di Napoli in studi precedenti (Pergent-Martini, 1998). Molti autori (Maserti *et al.*, 1991; Sanchiz *et al.*, 2001) hanno indicato che l'uptake di questo metallo avvenga principalmente attraverso l'apparato radicale e solo in minima parte attraverso la lamina fogliare quindi i livelli di mercurio trovati nelle varie parti di posidonia offrono una indicazione relativa ai sedimenti più che all'acqua. Pur non avendo analizzato anche il sedimento, i risultati della presente ricerca confermano indirettamente tale indicazione. Il rizoma, infatti, che congiunge foglie a radici mostra un andamento simile alle scaglie.

I valori di cadmio (Fig 4) nelle scaglie da noi rilevati rientrano nel range di valori che Roméo *et al.* (1995) hanno riscontrato nelle scaglie di posidonia in Corsica e in Costa Azzurra

I nostri valori risultano simili rispetto a quanto rilevato nel 1991 da Warnau *et al.*, (1995) a Calvi (Corsica) e a Lacco Ameno (Ischia), zone in cui sono stati osservati valori di cadmio in rizomi rispettivamente pari a $0.77 \pm 0.28 \mu\text{g/g}$ e 0.72 ± 0.34 .

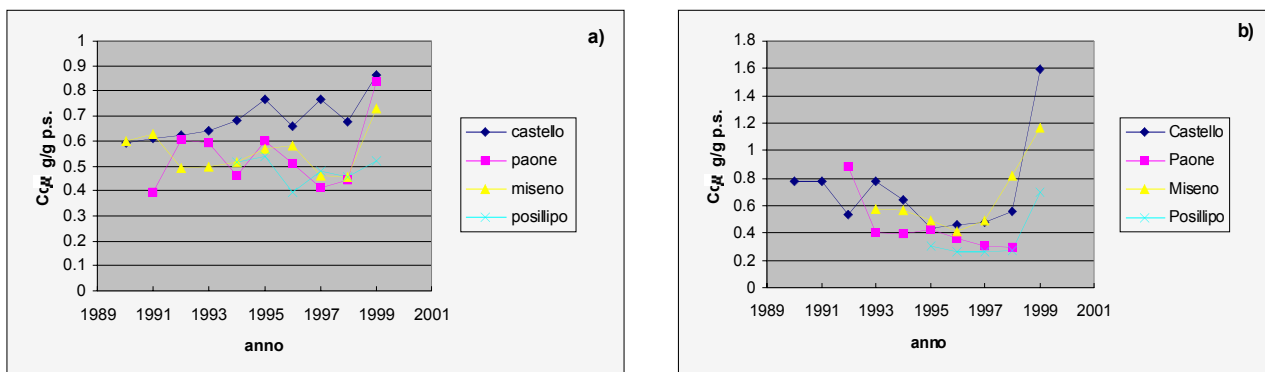


Figure 4 - Concentrazioni medie dei livelli di cadmio nelle scaglie (a) e nei rizomi (b) in relazione all'anno lepidocronologico determinate in ciascuna stazione.

Le macrofite marine assorbono i metalli in due modi diversi: con un assorbimento diretto dall'acqua attraverso la superficie fogliare, oppure dal sedimento e dall'acqua interstiziale attraverso le radici (Brinkhuis *et al.*, 1980).

Tra queste due possibili vie è stato riportato che l'uptake del Cd si verifica attraverso un processo passivo che dipende dalla superficie fogliare esposta e solo successivamente viene traslocato a rizoma e radici (Brinkhuis *et al.* 1980; Ward, 1989). Le concentrazioni di Cd in *P. oceanica* riflettono quindi quelle della colonna d'acqua e non il sedimento come avviene per il Hg.

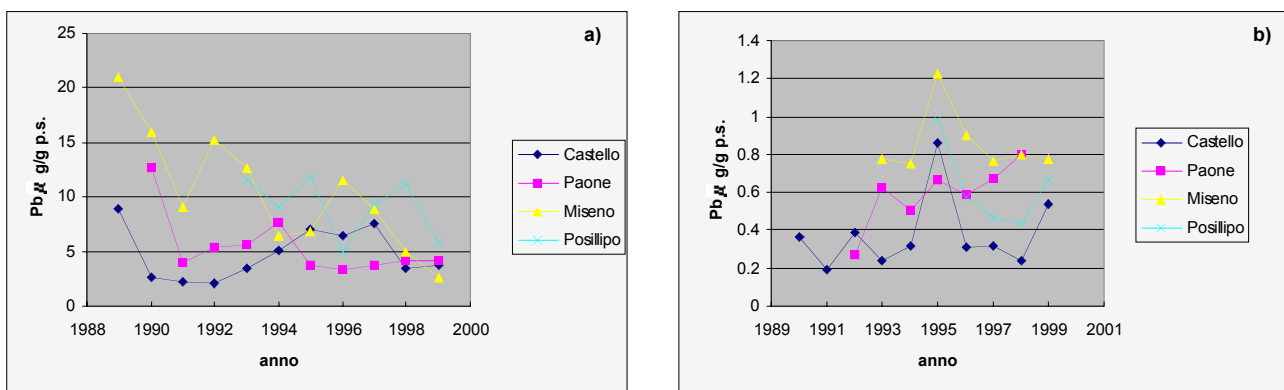


Figure 5 - Concentrazioni medie dei livelli di piombo nelle scaglie (a) e nei rizomi (b) in relazione all'anno lepidocronologico determinate in ciascuna stazione.

Per quanto riguarda il Pb (Fig 5), i livelli riportati per le scaglie nella presente ricerca sono simili a quelli osservati Romeo *et al.*, (1995) in Corsica e sulla costa della Francia meridionale. I più alti livelli sono stati riscontrati nelle scaglie appartenenti alle parti più vecchie ma non nei rizomi degli anni corrispondenti.

E' interessante notare i dati del 1995, anno in cui tutte le stazioni assumono il loro valore massimo, tranne Paone che presenta una notevole variabilità rispetto alla media. Per Posillipo, sono disponibili solo i dati a partire dal 1995. Comunque si assiste in tutti e quattro i siti ad una successiva diminuzione nel corso del 1996. Questo può far pensare ad un evento "particolare" o "anomalo" avvenuto nel Golfo nel corso del 1995 che ha interessato maggiormente i siti di Castello e di Miseno e che è stato registrato contemporaneamente in tutte le stazioni. I valori da noi ottenuti si mantengono tutti sotto quelli riscontrati a Calvi, a Lacco Ameno e a Marsiglia da Warnau *et al.*(1995).

In generale nelle quattro stazioni la linea di tendenza media, relativamente agli ultimi 10 anni, mostra una diminuzione, confermando il *trend* del piombo a livello globale (Baird, 1997). L'assorbimento del piombo, infatti, come quello del cadmio sembra avvenire soprattutto attraverso

la colonna d'acqua con processi passivi che dipendono dalla superficie fogliare esposta (Ward, 1989). Il piombo non ha nessun ruolo essenziale nei processi metabolici delle piante ed arriva nell'acqua di mare soprattutto tramite l'atmosfera. Questo input atmosferico è specialmente importante in mari poco profondi e semi-chiusi come il Mediterraneo soggetto alle potenziali sorgenti di inquinamento di tutto il nord Europa (Chester *et al.*, 1984). Una delle principali era costituita fino a pochi decenni dall'utilizzo di composti a base di Pb nei combustibili. Nella parte nord-ovest del bacino del mediterraneo, le recenti limitazioni nell'uso di questo metallo nelle benzine hanno prodotto una diminuzione nell'aerosol e nella pioggia rispettivamente del 24 e 30% (Migon e Caccia, 1990).

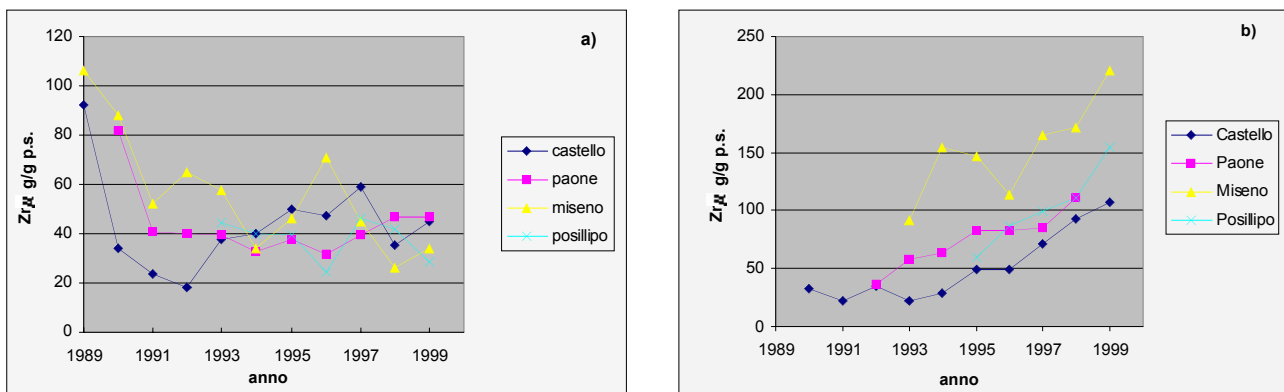


Figure 6 - Concentrazioni medie dei livelli di zinco nelle scaglie (a) e nei rizomi (b) in relazione all'anno lepidocronologico determinate in ciascuna stazione.

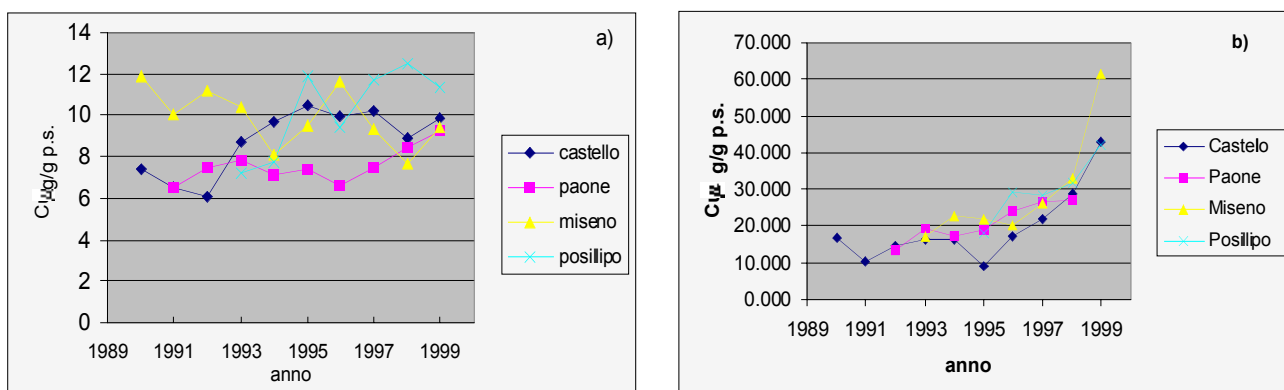


Figure 7 - Concentrazioni medie dei livelli di rame nelle scaglie (a) e nei rizomi (b) in relazione all'anno lepidocronologico determinate in ciascuna stazione.

I livelli di zinco nelle scaglie e nei rizomi sono stati analizzati da diversi autori (Romeo *et al.*, 1995; Schlacher-Hoenlinger e Schlacher 1998). I nostri risultati (Fig. 6) mostrano un trend temporale negativo nelle scaglie come riportato anche da Romeo *et al.*, 1995) per quanto riguarda i rizomi, tuttavia, il dato presentato da questi autori è solo relativo all'anno più recente ed è più basso rispetto a quanto trovato nella presente ricerca.

Nelle macrofite le concentrazioni dello zinco e del rame riflettono sia le concentrazioni dei sedimenti che quelle dell'acqua (Lyngby e Brix, 1982) e questo lascia pensare che l'assorbimento di questi due metalli da parte delle macrofite avvenga sia attraverso la lamina fogliare che attraverso l'apparato radicale. Per quanto riguarda il Cu i dati rilevati nelle scaglie ed in modo più evidente quelli dei rizomi risultano in un trend positivo per tutte le stazioni considerate ad eccezione di quella di Miseno (Fig.7) Una simile variazione è stata riportata da Romeo *et al.*, 1995. Questi autori hanno messo in relazione gli incrementi nelle concentrazioni di rame con un maggiore uso di pitture antifouling a base di rame soprattutto dopo le restrizioni nell'uso di antifouling contenenti composti dello stagno (TBT). Occorre considerare che questo elemento, tuttavia, come pure zinco, ferro e

manganese è essenziale per la crescita e i processi metabolici delle piante. Esiste quindi una regolazione e risultano pertanto necessari studi di approfondimento per questo gruppo di metalli. Per alcuni, quali Mn, dati di confronto nella letteratura sono risultati veramente scarsi.

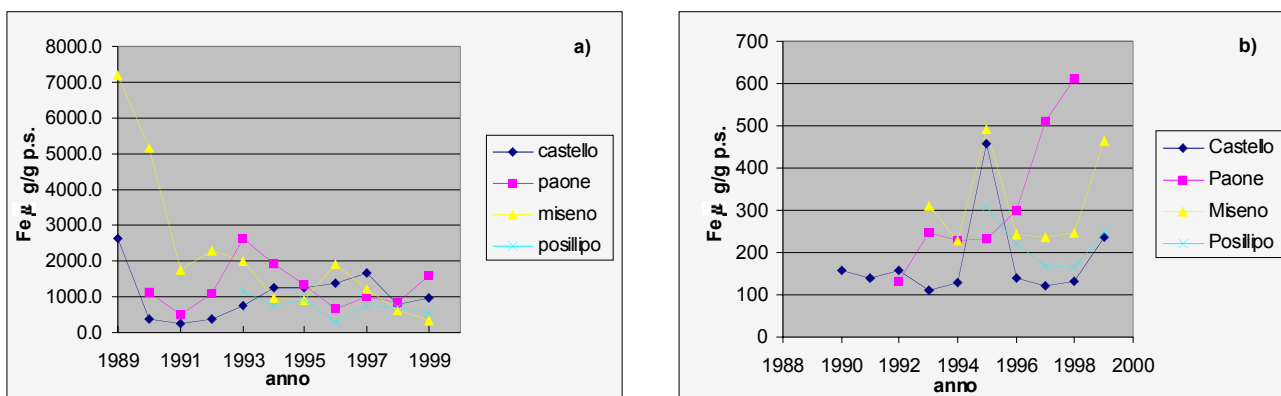


Figure 8 - Concentrazioni medie dei livelli di ferro nelle scaglie (a) e nei rizomi (b) in relazione all'anno lepidocronologico determinate in ciascuna stazione..

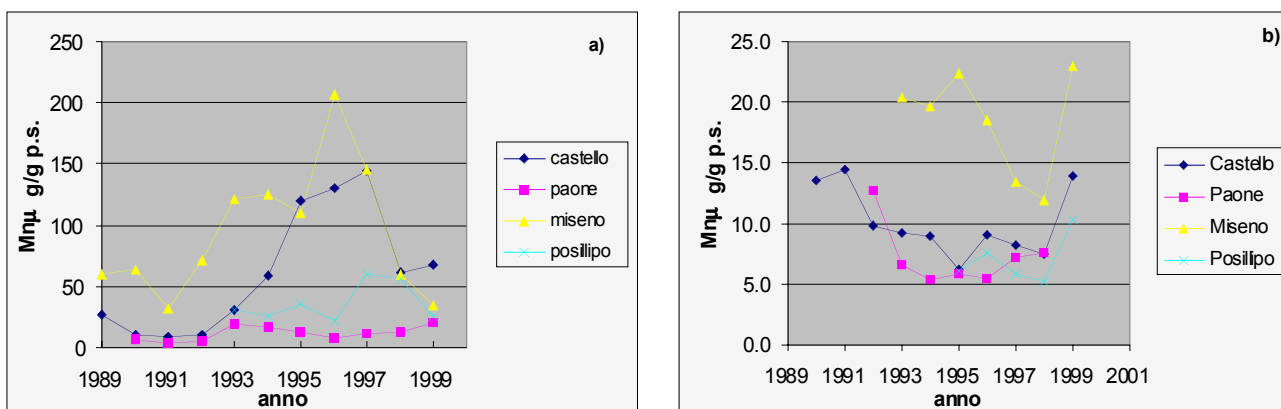


Figure 9 - Concentrazioni medie dei livelli di manganese nelle scaglie (a) e nei rizomi (b) in relazione all'anno lepidocronologico determinate in ciascuna stazione.

Il ferro è un elemento essenziale per le piante in generale in quanto è componente di enzimi e di diverse proteine; inoltre durante la fotosintesi e la respirazione è implicato nel trasporto di elettroni in alcune proteine e aumenta l'attività catalitica di diversi enzimi. Brix e Lyngby (1983) osservano che le concentrazioni di ferro in *Posidonia oceanica* sono maggiori nelle radici che nei rizomi, tale fenomeno sembra dovuto alla superficie maggiore che le radici hanno rispetto alla loro unità di peso che permette una maggiore capacità di "adsorbire" il ferro.

Conclusioni

La ricerca condotta ha permesso, attraverso l'utilizzo di un indicatore biologico come *Posidonia oceanica*, di rilevare i livelli di metalli pesanti in sistemi costieri del Golfo di Napoli.

Gli aspetti principali messi in luce dallo studio possono essere articolati nei punti seguenti.

- Tramite la datazione delle scaglie e dei rizomi attraverso lepidocronologia nei campioni di *Posidonia oceanica* provenienti dalle quattro stazioni considerate, sono stati determinati i trend temporali dei livelli di elementi in tracce nelle scaglie e nei rizomi. In particolare per mercurio, cadmio e piombo si è evidenziato un andamento che risulta in sintonia con la dinamica globale della contaminazione per questi elementi, ovvero un incremento per mercurio e cadmio ed una tendenza alla diminuzione per il piombo.
- A seguito dell'analisi dei livelli nelle varie sezioni della pianta (scaglie, rizomi e foglie) sono state ottenute informazioni sulla fisiologia dei metalli in *Posidonia oceanica*.

- E' stata effettuata la comparazione tra le varie stazioni collocate in aree del Golfo di Napoli dalla quale si evince che la stazione di Miseno, rispetto agli altri siti, presenta valori più alti per la maggior parte degli elementi sia nelle scaglie che nei rizomi. Per la stazione di Castello, invece, i dati ottenuti non confermano l'ipotesi iniziale secondo la quale tale sito risentirebbe di un minor impatto antropico, ma rientrano tra i valori medi riscontrati in tutte le stazioni.

Il monitoraggio del Golfo di Napoli effettuato con *Posidonia oceanica* ha permesso di validare questa specie come bioindicatore nella valutazione della disponibilità ambientale di metalli pesanti. La possibilità di studiare il processo in termini dinamici, attraverso la datazione delle scaglie, ha rappresentato un incremento della quantità di informazione fornita dalla specie. La capacità di "memorizzare" i dati ambientali da parte delle scaglie e dei rizomi appare estremamente sensibile e riproducibile. Certi andamenti anomali in alcuni anni sono stato registrati contemporaneamente da più stazioni e quindi in praterie anche relativamente distanti tra di loro ma in grado di registrare puntualmente le variazioni. Questo dato pone la *Posidonia oceanica*, ed in particolare l'analisi lepidocronologica accoppiata con la determinazione di metalli, come uno degli approcci di studio più promettenti per il monitoraggio delle aree costiere, anche in considerazione del fatto che non esistono molti metodi che permettono di valutare le concentrazioni di una così grande varietà di metalli su un organismo marino, retrodatando i diversi livelli di concentrazione.

Bibliografia

- Arata P. & Divacco G., 1989 - Importanza delle praterie di *Posidonia oceanica* nel sistema marino costiero e degli interventi per la loro salvaguardia. *Acqua – Aria* 5:555-571.
- Augier H., 1985 - L'herbier a *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. *Vie Mar.*, 7: 85-113.
- Baird C., 1997 - *Chimica Ambientale*. Zanichelli Ed. S.p.a., Bologna, pp.191-207.
- Boudouresque C.F., Crouzet A., Pergent G., 1983 - Un nouvel outil au service de l'étude des herbier à *Posidonia oceanica*: la lepidocronologie. Rapp. P.v. Rèun. Comm. Int. Explor., *Sci. Médit.*, 28:111-112.
- Boudouresque C.F., Meinesz A., 1982 - Découverte de l'herbier de Posidonies. *Cahier Parc Nat. Port-Cros*, 4: 1-79.
- Brix H., Lyngby J.E., 1982 - The distribution of cadmium, copper, lead, and zinc in eelgrass (*Zostera marina* L.). *The Science of Total Envir.*, 24:51-63.
- Brinkhuis B.H., Penello W.F., Churchill A.C., 1980 - Cadmium and Manganese flux in eelgrass *Zostera marina* II. Metal uptake by leaf and root-rhizome tissue. *Mar. Biol.*, 58, 187-196.
- Costantini S., Giordano R., Ciarallt L., Beccaloni E., 1991 - Mercury, cadmium and lead evaluation in *Posidonia oceanica* and *Codium tomentosum*. *Mar. Pollut. Bull.*, 22(7):362-363.
- Gambi M.C., Buia M.C., Casola, E., Scardi M., 1989 - Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: first approach. *GIS Posidonie publ.*, 2 : 101-112.
- Hipkins M.F., 1983 - Metals in photosynthesis. In: *Metals and Micronutrients. Uptake and Utilization by Plants, Handbook no.21*. D.A. Rob and W.S. Pierpoint Eds., Academic Press, London, pp.147-167.
- Lyngby J.E. e Brix H., 1982 - Seasonal and environmental variation in cadmium, copper, lead and zinc concentrations in eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Limfjord, Denmark. *Aquat. Bot.*, 14:59-74.
- Maserti B. E., Ferrara R., Paterno P., 1988 - *Posidonia* as an indicator of mercury contamination. *Mar. Poll. Bull.*, 19(8): 381-382
- Migon C, Caccia J.L. 1990 - Separation of anthropogenic and natural emissions of particulate heavy metals in western Mediterranean atmosphere. *Atmosph Environ* 24A:399-405

- Chester R. Nimmo M. Murphy K.J.T. Nicolas E. 1990 - Atmospheric trace metals transported to the western Mediterranean: data from a station on Cap Ferrat 2nd EROS 2000 Workshop, Blanes (Spain) February 1990, Water Pollution Research Reports pp 597-612.
- Sanchiz C, Garcia-Carrascosa AM, Pastor A. 2001 - Relationships between sediment physico-chemical characteristics and heavy metal bioaccumulation in Mediterranean soft-bottom macrophytes. *Aqu Bot* 69:63-73.
- Calmet D, Bourdouesque CF, Meinesz. 1988 - Memorization of nuclear atmospheric tests by rhizomes and scales of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Aqu Bot* 30:279-294.
- Meinesz A., Lefèvres J.R., 1978 - Destruction de l'étage infralittoral des Alpes-Maritimes (France) et de Monaco par la reconstruction du rivage. *Bull. Ecol.*, 9 (3): 259-276.
- Ott J.A., 1980. Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Mar. Ecol.*, 1:47-64.
- Palanques A., Diaz J., 1994 - Anthropogenic heavy metal pollution in the sediments of Barcelona continental shelf (Northwestern Mediterranean). *Mar. Envir. Res.*, 38:17-31.
- Pergent G., 1990 - Lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*: a standardized approach. *Acqu.Bot.*, 37: 39-54.
- Pergent G., 1991 - Les indicateurs écologique de la qualité du milieu marin en Méditerranée. *Oceanis*, 17(4): 341-350.
- Pergent G., Boudouesque C.F., Crouzet A., Meinesz A., 1989 - Cyclic changes along *Posidonia oceanica* rhizomes (lepidochronology): present state and perspectives. *Mar. Ecol.*, 10:221-230.
- Pergent G., Romero J., Pergent-Martini C., Mateo M-A, Boudouesque C.F., 1994 - Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 106: 139-146.
- Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., Pergent G., 1994 - Primary production of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean Basin. *Mar. Biol.*, 120 : 9-15.
- Pergent-Martini C., 1998 - *Posidonia oceanica*: a biological indicator of past and present mercury contamination in the Mediterranean Sea. *Mar. Environ. Res.*, 45 (2): 101-111
- Pulich W.M., 1980 - Heavy metals accumulation by selected *Halodule wrightii* Asch. Populations in Corpus Christi Bay area. *Contrib. Mar. Sci. Univ. Tex.*, 23:89-100.
- Roméo M., Gnassia-Barelli M., Juhel T., Meinesz A., 1995 - Memorisation of heavy metals by scales of the seagrass *Posidonia oceanica*, collected in the NW Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 120:211-218.
- Schlacher-Hoenlinger M.A., Schlacher T.A., 1998 - Accumulation, contamination and seasonal variability of trace metals in the coastal zone – patterns in a seagrass meadow from Mediterranean. *Mar. Biol.*, 131:401-410 .
- Ward T.J., 1987 - Temporal variation of metals in the seagrass *Posidonia australis* and its potential as a sentinel accumulator near a lead smelter. *Mar. Biol.*, 95:315-321.
- Ward T.J., 1989 - The accumulation and effects of metals in seagrass habitats. In: *Biology of Seagrasses*. Larkum AWD. McComb AJ. Shepherd SA Eds. Elsevier, Amsterdam, pp.797-820.
- Warnau M., Ledent G., Temara A., Bouqueneau J.-M., Jangoux M., Dubois P., 1995 - Heavy metals in *Posidonia oceanica* and *Paracentrotus lividus*. *The Science of Total Environ.*, 171:95-99.