

S. FERRARI (\*), A.M. DE BIASI (\*), G. FABI (\*\*), L. CEFFA (\*\*\*)

## METALLI IN SEDIMENTI E ORGANISMI MARINI IN PROSSIMITÀ DI UNA PIATTAFORMA GAS-METANO POSTA NEL MAR ADRIATICO CENTRALE

**Riassunto** - Nel presente lavoro riportiamo i risultati di una indagine condotta tra il 1998 e il 2000 al fine di valutare l'eventuale impatto ambientale di una piattaforma di estrazione gas-metano posta nel Mar Adriatico Centrale. A questo scopo, in sei date di campionamento (inverno '98, estate '98, autunno '98, inverno '99, estate '99, inverno '00) sono stati prelevati campioni di sedimento superficiale dell'area marina circostante la piattaforma, sui quali sono state determinate la granulometria, la concentrazione di Hg, Cd, Pb, Cu, Cr, Al, Zn e Ni e la percentuale di sostanza organica. Inoltre, la concentrazione dei metalli (Hg, Cd, Pb, Cu, Cr e Zn) è stata determinata in organismi di *Mytilus galloprovincialis* prelevati dai jackets della piattaforma in tre date di campionamento (inverno '98, inverno '99, inverno '00), al fine di valutare la disponibilità di questi contaminanti per la componente biologica.

I dati ottenuti suggeriscono che le alterazioni più evidenti a carico dei sedimenti sono limitate al periodo immediatamente successivo all'entrata in funzione della piattaforma. Tali alterazioni tendono a ridursi nel tempo a testimonianza di un recupero dell'ambiente.

I risultati ottenuti dall'analisi dei mitili indicano che in genere le concentrazioni dei metalli risultano paragonabili, se non inferiori, ai valori riscontrati in letteratura per gli stessi bivalvi nel Mar Adriatico. Unica eccezione risulta il Cr che nel campionamento del '99 è ai limiti della confrontabilità con i dati pregressi. Da evidenziare, inoltre, il costante aumento dei tenori di Cd e Zn nell'arco dei tre anni di campionamento.

**Parole chiave** - Metalli, sedimenti, *Mytilus galloprovincialis*, piattaforma off-shore, Mar Adriatico Centrale.

**Abstract** - *Metals in marine sediments and organisms close to an off-shore gas platform in the central Adriatic Sea.* A 3-year monitoring program was carried out between 1998 and 2000 to detect environmental impact of an off-shore gas platform in the Central Adriatic Sea. Sediments were analysed for their particle size. Metal concentrations (Hg, Cd, Pb, Cu, Cr, Al, Zn, Ni) and organic matter content were also determined in the surface sediments. Metal concentrations were also determined in *Mytilus galloprovincialis* collected on the jackets of the platform to evaluate their bioavailability.

Our data suggested that some alterations in the sediment quality can be assessed only immediately after the start of drilling operations. These changes were not detected during the last samplings.

The concentrations of Cd and Zn clearly increased in *M. galloprovincialis* over the three year study.

**Key words** - Metals, sediments, *Mytilus galloprovincialis*, off-shore platform, Central Adriatic Sea.

### INTRODUZIONE

La contaminazione dell'ambiente marino da metalli rappresenta, attualmente, un problema di crescente entità. Spesso la determinazione di sostanze inquinanti in campioni d'acqua o di sedimento viene utilizzata come stima della quantità di contaminante alla quale gli organismi sono esposti (Moriarty, 1990). Tuttavia, questo approccio rappresenta una semplificazione del problema in quanto l'effetto dell'esposizione del biota dipende non solo dalla concentrazione dell'inquinante nell'ambiente, ma piuttosto dalla sua biodisponibilità, dal tempo di esposizione e dalle abitudini alimentari degli organismi (Phillips, 1978). Pertanto, il presente lavoro è stato pianificato con il duplice obiettivo di investigare i sedimenti superficiali di un'area marina prossima ad una piattaforma di estrazione gas-metano e di valutare l'effettiva disponibilità dei contaminanti per la componente biologica. In particolare, nell'arco di tre anni di indagine, è stata definita la tessitura dei sedimenti e sono state determinate le concentrazioni di Hg, Cd, Pb, Cu, Cr, Al, Zn e Ni e la percentuale di sostanza organica. La biodisponibilità dei metalli pesanti per la componente biologica è stata stimata determinando i livelli di Hg, Cd, Pb, Cu, Cr e Zn nei tessuti molli di *Mytilus galloprovincialis* prelevati dai jackets della stessa piattaforma.

### MATERIALI E METODI

#### Area di studio, campionamento ed analisi dei campioni

L'indagine è stata condotta in un'area marina (Fig. 1) posta a circa 8 miglia al largo di Cattolica (Mar Adriatico Centrale) dove è posizionata la piattaforma Regina (44°06'16"N, 12°50'27"E).

I sedimenti superficiali (0-2 cm) sono stati campionati in 6 date differenti nell'arco dei tre anni (inverno '98, estate '98, autunno '98, inverno '99, estate '99, inverno '00) successivi all'installazione della piattaforma. Il prelievo è avvenuto mediante *box-corer* in 11 stazioni distribuite lungo due transetti ad una profondità circa 20 m. Un transetto è stato posizionato in direzione NW-SE ossia parallelamente alla direzione delle correnti dominanti ed alla linea di costa. Il secondo transetto è stato posto in direzione NE-SW perpendicolarmente alla costa. I siti di controllo (A0 e K) sono stati

(\*) Centro Interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata, v.le N. Sauro 4, 57128 Livorno.

(\*\*) IRPEM-CNR, Largo Fiera della Pesca, 60125 Ancona.

(\*\*\*) ENI S.p.A. Divisione Agip, via dell'Unione Europea 3, 20097 San Donato Milanese (MI).

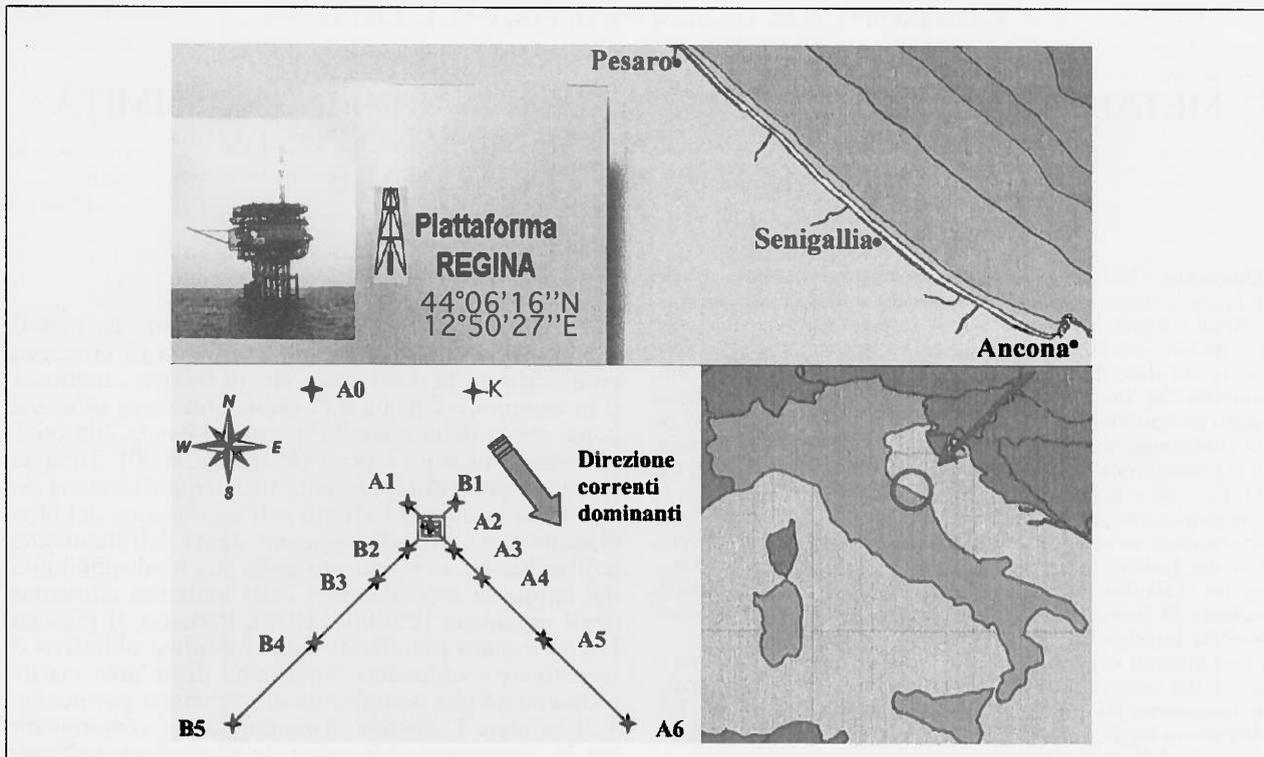


Fig. 1 - Area di studio e stazioni di campionamento (non in scala).

scelti in un'area situata sopra corrente rispetto alla piattaforma non influenzata né dalla piattaforma in esame né da piattaforme limitrofe. A0 e K presentano inoltre caratteristiche tessiturali del sedimento simili ai siti di monitoraggio. Le analisi granulometriche sono state eseguite utilizzando i setacci della serie ASTM, per la frazione grossolana con  $\phi > 62,5 \mu\text{m}$  con intervalli di trattamento 1  $\phi$ , e con sedigrafo a raggi X per la frazione con  $\phi < 62,5 \mu\text{m}$ .

I campioni da analizzare sono stati essiccati in stufa a  $110^\circ\text{C}$  e pesati, quindi sottoposti a digestione con perossido di idrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a 16 volumi allo scopo di ossidare la materia organica presente e favorire l'ulteriore disaggregazione del sedimento. Ciascun campione è stato separato, ad umido, in due frazioni granulometriche con setaccio da  $62,5 \mu\text{m}$ . Dalla frazione grossolana sono stati rimossi prima dell'analisi con i setacci, oltre ai resti vegetali, i bioclasti di dimensioni superiori a quelle dei clasti terrigeni. La frazione fine, dopo essere stata essiccata in stufa a  $40^\circ\text{C}$ , è stata quartata per ottenere la massima distribuzione casuale dei granuli.

La sostanza organica è stata determinata seguendo le metodiche CNR - Istituto di Ricerca sulle Acque indicate nel Quaderno IRSA n. 64 (1983): «Metodi analitici per i fanghi» Vol. I.

Per la ricerca dei metalli, i sedimenti sono stati sottoposti ad attacco acido ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ) ed a digestione mediante un sistema chiuso ad alta pressione e temperatura con l'impiego di un sistema a microonde opportunamente programmato.

I mitili sono stati campionati nel mese di marzo di tre diversi anni ('98, '99, '00) da due punti uno più vicino ed uno più lontano dall'anodo di sacrificio della piattaforma. Il materiale, refrigerato appena prelevato è stato congelato entro le 12 ore ed esaminato successivamente. I bivalvi sono stati selezionati secondo tre classi di taglia: 3-4 cm, 4-5 cm,  $> 5$  cm, dopodiché sono stati prelevati i tessuti molli, sminuzzati, essiccati e polverizzati. I campioni sono stati infine sottoposti ad attacco acido ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ed a digestione mediante un sistema chiuso a bassa pressione e temperatura con l'impiego di un sistema a microonde. Per ogni campione sono state eseguite tre repliche. Le determinazioni dei metalli nei sedimenti e nei mitili sono state eseguite mediante spettrofotometria ad emissione atomica al plasma (ICP) (Cu, Cr, Al, Zn e Ni), di assorbimento atomico in fornace di grafite (Cd e Pb) e a sviluppo di vapori freddi (Hg) mediante l'impiego di  $\text{SnCl}_2$ . L'accuratezza delle procedure di digestione e di analisi dei campioni è stata verificata impiegando dei materiali standard di riferimento: PACS-2 Harbour sediment e MESS-3 Estuarine sediments (National Research Council Canada) per i sedimenti; CRM 278 R Mussel Tissue (Community Bureau of Reference) per gli organismi. La percentuale di recupero degli analiti sui suddetti materiali variava tra il 95% ed il 103%.

#### Analisi dei dati

I dati ottenuti dalle analisi effettuate sui sedimenti e sugli organismi sono stati rielaborati separatamente mediante metodi multivariati attraverso il PRIMER sta-

tistical software package (vedi Clarke & Warwick, 1994 per una descrizione di dettaglio). La matrice di similitudine è stata ottenuta, dopo aver trasformato i dati secondo  $\log(x + 1)$ , con il calcolo della Distanza Euclidea. Il piano di ordinamento bidimensionale è stato ottenuto attraverso il *MultiDimensionalScaling* (MDS).

## RISULTATI

### Sedimenti

Nell'arco del periodo di studio i sedimenti non hanno mostrato evidenti variazioni (Tab. 1): essi risultano costituiti da un sottile strato superficiale ossidato color ocra generalmente ben idrato, seguito da uno strato plastico e più compatto di colore grigio. La componente silteosa risulta dominante in tutti i campioni essendo presente con una percentuale sempre superiore al 55%. La predominanza delle componenti silto-argillose è in accordo con altri autori, sebbene riportino una percentuale di argilla superiore (Giani *et al.*, 1994; Bortoluzzi *et al.*, 1984; Angeloni *et al.*, 1979; Brambati *et al.*, 1983; Colantoni *et al.*, 1978). Le variazioni maggiori sono state riscontrate nella stazione sottostante la piattaforma

(A2) dove, durante il campionamento dell'inverno 1999, sono state rinvenute argilliti coesive di origine bentonica non rappresentative del sedimento superficiale in quanto connesse ai processi di perforazione. Non sono state ritrovate nei prelievi successivi. Nella medesima stazione si osserva, limitatamente alla prima data di campionamento, un'elevata percentuale di sabbia.

La sostanza organica (Tab. 2) mostra nella maggior parte dei siti di studio nelle sei campagne di monitoraggio, andamenti e concentrazioni comparabili con quelle dei controlli (A0 e K). Lungo il transetto A le maggiori concentrazioni sono state rilevate in prossimità della piattaforma (A2). In particolare, la sostanza organica subisce un incremento dall'inverno 1998 all'autunno dello stesso anno. Nell'anno successivo, tuttavia, si registra un notevole decremento di questa variabile. L'incremento osservato tra l'estate 1999 e l'inverno 2000 non è da ritenersi significativo poiché avviene parallelamente nei siti di controllo.

L'analisi dei metalli ha mostrato che le variazioni maggiori sono avvenute per cadmio, rame, piombo e zinco nella stazione sottostante la piattaforma (Tab. 3).

In particolare il cadmio mostra un picco di concentrazione nella prima data di campionamento e si mantie-

Tab. 1 - Principali frazioni granulometriche nei sedimenti analizzati. Sono riportati i valori medi e l'errore standard relativi a tutte le stazioni di monitoraggio ed ai controlli. A2: stazione prossima alla piattaforma, non inclusa nel calcolo della media.

	Inverno 1998				Estate 1998				Autunno 1998			
	ghiaia	sabbia	silt	argilla	ghiaia	sabbia	silt	argilla	ghiaia	sabbia	silt	argilla
A2	-	22,60	56,10	21,30	-	6,53	88,18	5,29	0,00	3,12	91,19	5,69
Media transetti	-	3,37	74,27	22,36	-	3,98	77,39	18,69	0,00	3,91	76,49	19,60
Media controlli	-	4,00	70,80	25,20	-	3,60	72,94	23,47	0,00	2,18	67,89	29,94
<i>Errore standard</i>												
Transetti	-	0,41	1,44	1,50	-	0,23	0,70	0,72	0,00	0,20	0,78	0,85
Controlli #	-	-	-	-	-	0,15	2,61	2,77	0,00	0,66	9,66	9,00
	Inverno 1999				Estate 1999				Inverno 2000			
	ghiaia	sabbia	silt	argilla	ghiaia	sabbia	silt	argilla	ghiaia	sabbia	silt	argilla
A2	*	*	*	*	2,56	2,13	81,88	13,44	0,42	3,10	69,87	26,61
Media transetti	0,00	6,15	81,61	12,24	0,00	2,91	92,34	4,75	0,00	2,68	68,24	29,08
Media controlli	0,00	5,25	85,50	9,00	0,00	1,92	95,32	2,77	0,00	0,72	67,50	31,79
<i>Errore standard</i>												
Transetti	0,00	0,88	2,29	2,56	0,00	0,32	1,29	1,50	0,00	0,49	1,29	1,31
Controlli#	0,00	3,65	3,50	0,10	0,00	0,06	2,84	2,77	0,00	0,31	2,48	2,78

\*: campionamento reso impossibile per la presenza di un letto di mitili; #: nella prima data di campionamento era stato utilizzato un solo controllo.

Tab. 2 - Sostanza organica (espressa in percentuale) nei sedimenti. Sono riportati i valori medi e l'errore standard relativi a tutte le stazioni di monitoraggio ed ai controlli. A2: stazione prossima alla piattaforma, non inclusa nel calcolo della media.

	Inverno '98	Estate '98	Autunno '98	Inverno '99	Estate '99	Inverno '00
A2	8,48	12,56	13,91	5,36	4,40	8,40
Media transetti	3,54	3,53	2,67	3,12	3,13	9,06
Media controlli	3,21	2,81	2,79	3,58	2,90	8,95
<i>Errore standard</i>						
Transetti	0,24	0,22	0,25	0,31	0,31	0,78
Controlli*	-	1,15	0,56	0,57	0,60	0,65

\*: nella prima data di campionamento era stato utilizzato un solo controllo.

Tab. 3 - Concentrazione dei metalli (mg/kg s.s.) nei sedimenti. L'alluminio è espresso in percentuale s.s. Sono riportati i valori medi e l'errore standard relativi alle stazioni di monitoraggio ed ai controlli. A2: stazione prossima alla piattaforma, non inclusa nel calcolo della media.

	I-98	E-98	A-98	I-99	E-99	I-00	I-98	E-98	A-98	I-99	E-99	I-00
	<i>Alluminio</i>						<i>Cadmio</i>					
A2	7,1	6,2	6,9	4,7	3,6	6,94	1,82	0,93	0,4	1,44	0,32	0,12
Media transetti	5,52	10,29	8,64	5,04	1,89	6,208	0,174	0,152	0,217	0,145	0,115	0,074
Media controlli	6,1	9,9	11,45	5,65	2,55	5,99	0,13	0,13	0,23	0,14	0,06	0,05
<i>Errore standard</i>												
Transetti	0,524	1,1227	0,797	0,323	0,129	0,262	0,039	0,0106	0,026	0,006	0,019	0,016
Controlli*	0	0,9	3,45	0,15	0,45	0,33	0	0	0,07	0	0,01	0
	<i>Cromo</i>						<i>Rame</i>					
A2	109	90,6	249,8	170,2	120,3	32,65	39,7	113,4	38,3	33,14	33,87	20,59
Media transetti	113,8	128,25	117,2	149,3	73,17	102,9	25,54	28,31	27,02	23,23	19,41	25,26
Media controlli	118,5	132,6	72,05	164,9	74	114	24,30	26,50	26,30	25,68	22,52	23,43
<i>Errore standard</i>												
Transetti	2,898	3,0452	4,562	4,587	4,598	8,764	2,28	2,38	1,39	0,58	1,00	1,31
Controlli*	0	11,1	31,95	3,785	7,8	5,12	0,00	2,40	0,60	0,20	2,32	1,22
	<i>Mercurio</i>						<i>Nichel</i>					
A2	0,11	0,04	0,04	0,16	0,14	0,10	44,50	29,90	33,60	47,21	81,06	54,96
Media transetti	nc	0,10	0,11	0,13	0,12	0,11	57,72	55,32	60,33	47,91	47,70	58,09
Media controlli	0,13	0,10	0,23	0,14	0,06	0,05	65,50	59,20	67,15	49,71	47,57	55,80
<i>Errore standard</i>												
Transetti	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	2,10	0,88	0,86	1,41	1,59	1,57
Controlli*	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00	4,60	2,25	0,21	2,59	3,06
	<i>Piombo</i>						<i>Zinco</i>					
A2	56,89	33,95	5,5	80,04	15,61	25	301	233	192	785,7	204,7	105
Media transetti	31,64	22,463	22,96	29,57	15,51	32,05	135	95,9	108,3	162,4	100,6	142
Media controlli	29,88	21,46	24,5	28,66	10,86	26,66	95,6	82,5	79	95,01	91,88	107
<i>Errore standard</i>												
Transetti	3,417	1,3118	2,994	0,804	1,94	3,732	23,59	16,567	10,99	69,28	11,84	21,6
Controlli*	0	1,06	6,3	0,985	0,77	1,615	0	2,5	18	0,943	6,68	5

\*: nella prima data di campionamento era stato utilizzato un solo controllo.

ne elevato per le successive quattro date. Nell'ultimo campionamento non si osservano anomalie di rilievo. Ad eccezione dell'ultimo prelievo anche il rame e lo zinco presentano in A2 concentrazioni elevate rispetto ai controlli ed alle altre stazioni. Essi mostrano un piccolo rispettivamente nella seconda e nella quarta data di campionamento.

Infine anche il piombo, sebbene mostri un andamento meno regolare, presenta anomalie positive in corrispondenza della piattaforma.

In generale i valori trovati nel presente studio si accordano, tranne per le anomalie riscontrate talvolta nel sito A2, con i dati riportati in letteratura (Giani *et al.*, 1994; Fabbri *et al.*, 2001).

Nel piano di ordinamento ottenuto dell'nMDS (Fig. 2) quasi tutti i punti-stazione sono raggruppati in uno spazio molto limitato del plot al punto da poterli considerare pressoché coincidenti. A questo raggruppamento non appartengono i punti rappresentanti la stazione A2 relativamente ai campionamenti del '98 e dell'inverno '99. Questo dato non rimane confermato dai risultati ottenuti nei campionamenti successivi. Infatti, i punti-stazione A2 relativi all'estate '99 e all'inverno '00 vengono inclusi nel gruppo sopra descritto.

### *Mytilus galloprovincialis*

I risultati ottenuti dalle analisi delle concentrazioni dei metalli in traccia nei tessuti molli del bivalve in studio sono riportati in Tabella 4. Non avendo riscontrato differenze rilevanti né tra i due punti di prelievo né, in accordo con altri autori, tra le diverse classi di taglia (Bacci *et al.*, 1979; Martella *et al.*, 1997), vengono riportati i valori medi con il relativo errore standard. A seconda dei metalli (Fig. 3) sono stati identificate tre tipologie di andamento delle concentrazioni. Per Cd e Zn si nota un costante aumento delle concentrazioni nei tre anni di campionamento. Differentemente, i tenori di Hg e Cu rimangono pressoché invariati in tutti i prelievi. Al contrario Cr e Pb mostrano un aumento nella campagna del 1999 ed un decremento nella successiva campagna del 2000.

Nel piano di ordinamento ottenuto dell'nMDS (Fig. 4) sono distinguibili tre raggruppamenti principali in funzione dell'anno di campionamento, mentre risulta quasi irrilevante la differenza tra i due siti di prelievo (più vicino e più lontano dall'anodo di sacrificio).

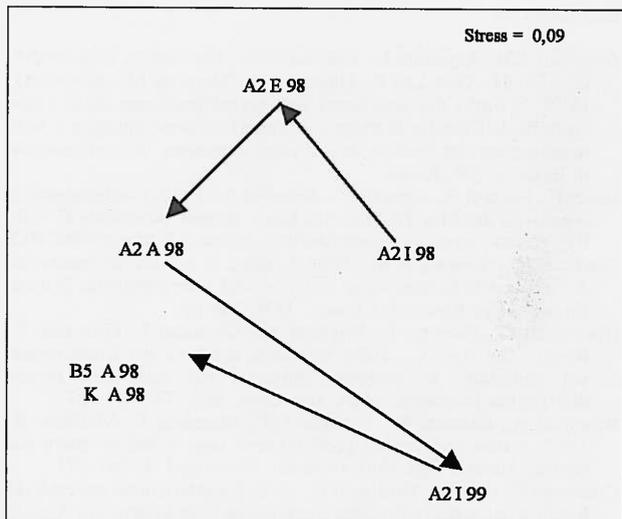


Fig. 2 - Piano di ordinamento ottenuto dal MultiDimensionalScaling. La matrice di (dis)similitudine è stata ottenuta attraverso la Distanza Euclidea. Le frecce indicano le derive temporali della stazione A2 situata sotto la piattaforma. A1, A2 ... B1, ... siti di campionamento; Ao e K: controlli; A, I, E: autunno, inverno, estate; '98, '99 .... anno di campionamento.

## DISCUSSIONE

L'approccio multidisciplinare utilizzato nello svolgimento del presente lavoro ha consentito di avere una visione completa della qualità dell'ambiente marino prossimo alla piattaforma gas-metano Regina. Grazie alla caratterizzazione dei sedimenti superficiali, abbiamo valutato la situazione presente al momento del campionamento, mentre, grazie all'utilizzo degli organismi, che hanno una risposta più lenta, abbiamo anche una visione integrata nel tempo delle eventuali variazioni avvenute e delle risposte del biota a queste ultime.

Questo è stato possibile anche grazie al monitoraggio a medio termine protratto per tre anni. L'attività di monitoraggio svolta nel corso di questo periodo attraverso lo studio dell'accumulo dei metalli nei sedimenti e nel *Mytilus galloprovincialis*, non ha evidenziato fenomeni preoccupanti di impatto ambientale.

L'incremento di concentrazione di Zn e Cd rilevato nei mitili, nonostante piuttosto marcato, porta i tenori dei due metalli a valori pur sempre confrontabili con quelli riportati in letteratura da altri autori nel Mar Adriatico. Tale confrontabilità risulta anche per gli altri metalli in studio (Majori *et al.*, 1978; Martella *et al.*, 1997; Giordano *et al.*, 1991).

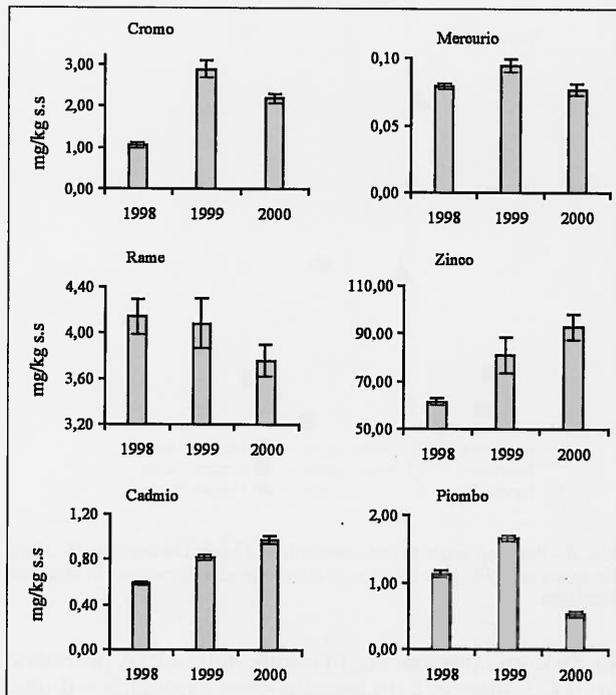


Fig. 3 - Andamento delle concentrazioni medie (mg/kg s.s. ± ES) dei metalli determinate nei tessuti molli di *Mytilus galloprovincialis* nei tre anni di campionamento.

Gli aumenti osservati potrebbero esser imputati alla presenza della piattaforma sia perché sono a carico di due dei metalli che presentano anomalie di concentrazione anche nei sedimenti prelevati sotto la struttura (sito A2), sia perché, limitatamente allo Zn l'aumento connesso alle attività delle piattaforme è già stato rilevato da altri autori (Mauri *et al.*, 1998; Frascari *et al.*, 2000).

Di più difficile interpretazione risulta l'andamento della concentrazione del Cr. Questo metallo cresce nel '99 e diminuisce nel '00 mantenendo, tuttavia, valori che risultano doppi rispetto al primo campionamento del '98. Nei sedimenti non si notano forti oscillazioni, sebbene i valori di concentrazione più alti riscontrati nelle sei campagne si osservino alla fine del '98 ed all'inizio del '99. Si potrebbe ipotizzare che, non essendo state rilevate concentrazioni particolarmente elevate, il metallo in questione sia molto biodisponibile.

Dei tre metalli sopracitati, l'interesse maggiore va rivolto al Cd, data la sua elevata tossicità. Zn e Cr, al contrario, sono due dei metalli definiti «essenziali», cioè con un ruolo biologico ben definito. Ad esempio,

Tab. 4 - Concentrazioni medie (mg/kg s.s. ± ES) dei metalli determinate nei tessuti molli di *Mytilus galloprovincialis* nei tre anni di campionamento.

	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn
1998	0,59 ± 0,01	1,06 ± 0,06	4,14 ± 0,15	0,08 ± 0,002	1,13 ± 0,05	61,40 ± 1,24
1999	0,82 ± 0,03	2,88 ± 0,20	4,08 ± 0,22	0,09 ± 0,005	1,65 ± 0,04	80,95 ± 7,60
2000	0,98 ± 0,03	2,17 ± 0,10	3,76 ± 0,14	0,08 ± 0,004	0,54 ± 0,04	92,67 ± 5,35

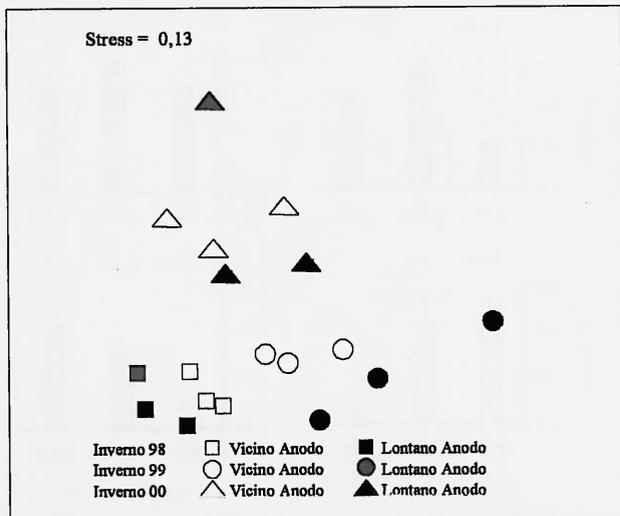


Fig. 4 - Piano di ordinamento ottenuto dal MultiDimensionalScaling. La matrice di (dis)similitudine è stata ottenuta attraverso la Distanza Euclidea.

lo Zn è un componente integrale della DNA polimerasi. Il Cd, invece, è un metallo «non essenziale» il quale non ha alcuna funzione biologica ancora accertata e viene accumulato nell'organismo.

Da una visione complessiva dei risultati ottenuti si può ipotizzare che ci siano state delle alterazioni dell'ambiente marino e che queste siano limitate alla zona in prossimità della piattaforma (A2). Sembra, inoltre, dall'indagine sui sedimenti superficiali che l'ecosistema abbia avuto un lento, ma efficiente recupero. Al contrario, la componente biologica, presenta alcuni indizi di un recupero ancora in atto. Infatti, sebbene Cd e Zn mostrino incremento di concentrazione anche negli ultimi campionamenti, Cr e Pb nel 2000 tendono a diminuire. Questi andamenti contrastanti indicano che il recupero nella componente biologica avviene in ritardo rispetto a quella abiotica ed in maniera differenziata per ciascun metallo.

#### RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano O. Spinelli e R. Micheli (CIBM, Livorno) per l'assistenza nell'esecuzione delle analisi. Si ringraziano, inoltre, tutti i colleghi che hanno partecipato alle attività di campionamento.

(ms. pres. l'8 novembre 2002; ult. bozze il 5 marzo 2003)

#### BIBLIOGRAFIA

- Angeloni A.S., Angiolini L., Bortoluzzi G., Frascari F., Frignani M., Ghedini N., Giordani P., Guerzoni S., Mengoli M., Rovatti G., 1979. Il ruolo dei sedimenti nell'eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna: caratterizzazione chimica e sedimentologica dei fondali. In: Atti del convegno 'Eutrofizzazione in Italia', CNR, Roma.
- Bacci E., Focardi S., Leonzio C., Renzoni A., 1979. Contaminanti in organismi del Mar Tirreno. Atti Conv. Scient. Nazionale C.N.R., P.F. «Oceanografia e Fondi Marini»; Roma 5-7 Marzo: 885-912.
- Clarke K.R., Warwick R.M., 1994. Change in marine communities. An approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council, U.K. 144 pp.
- Bortoluzzi G., Frascari F., Frignani M., Giordani P., Guerzoni S., Rovatti G., Turci C., 1984. Influenza del Po e dei fiumi minori sul contenuto di sostanze nutritive nei sedimenti marini dell'Emilia Romagna. *Mem. Soc. Geol. Italy* 77: 483-497.
- Brambati A., Ciabatti M., Fanzutti G.P., Marabini F., Marocco R., 1983. A new sedimentological textural map of the northern and central Adriatic Sea. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.* 1: 267-271.
- Colantoni P., Curzi P., Galligani P., 1978. Caratteristiche generali del fondo e del sottofondo della piattaforma continentale tra Ancona e la foce del fiume Reno. In: Calantoni P., Galligani P. (eds). Ricerche sulla piattaforma continentale dell'alto Adriatico. CNR, Quad. n. 1.
- Fabbri D., Gabbianelli G., Locatelli C., Lubrano D., Trombini C., Vassura I., 2001. Distribution of mercury and other heavy metals in core sediments of the northern Adriatic Sea. *Wat., Air. Soil Pollut.* 129: 143-153.
- Frascari F., Marcaccio M., Spagnoli F., Modica A., 2000. Effects of offshore drilling activities on the geochemical and sedimentological processes in the Northern Adriatic Coastal area. *Littoral* 102 (1): 225-240.
- Giani M., Gabellini M., Pellegrini D., Costantini S., Beccaloni E., Giordano R., 1994. Concentration and partitioning of Hg, Cr and Pb in sediments of dredge and disposal sites of the Northern Adriatic Sea. *Sci. Total Environ.* 158: 97-112.
- Giordano R., Arata P., Chiaravalli L., Rinaldi S., Giani M., Cicero A.M., Costantini S., 1991. Heavy metals in mussels and fish from Italian coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 22: 10-14.
- Majori L., Nedoclan G., Modonutti G.B., Daris F., 1978. Study of seasonal variations of some trace elements in the tissue of *Mytilus galloprovincialis* taken in the gulf of Trieste. *Rev. Int. Océanogr. Méd.* 69: 37-43.
- Martella L., Nelli L., Bargagli R., 1997. La diffusione degli elementi in tracce lungo le coste del Salento. Valutazioni preliminari mediante *Mytilus galloprovincialis* Lam. *Acqua e Aria* 3: 111-117.
- Mauri M., Polimeni R., Modica A., Ferraro M., 1998. Heavy metal bioaccumulation associated with drilling and production activities in Middle Adriatic Sea. *Fres. Envir. Bull.* 7: 60-70.
- Moriarty F., 1990. Ecotoxicology: the study of the pollutants in ecosystems. Second edition, Academic Press, New York.
- Phillips D.J., 1978. Use of biological indicator organisms to quantitative organochlorine pollutants in aquatic environments - a review. *Environ. Poll.* 16 (3): 167-229.