



Linea di ricerca 3.8 – Speciazione e flussi degli inquinanti



Bioaccumulo ed effetti biologici in mitili, policheti e pesci della Laguna di Venezia

Nesto N.¹, Romano S.^{2,3}, Mauri M.³, Da Ros L.¹

¹ *Istituto di Scienze Marine, CNR, Castello 1364/A, Venezia*

² *Istituto di Scienze Marine, CNR, via Gobetti 101, Bologna*

³ *Dipartimento di Biologia Animale, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi, 213/D, Modena*



Obiettivi

Verificare l' idoneità di organismi appartenenti a *taxa* diversi, quali **mitili, policheti e pesci**, ad essere utilizzati come bioindicatori, valutando sia il bioaccumulo sia alcune risposte biologiche (biomarkers) indotte dalla presenza di contaminanti ambientali

.... in particolare:

- in **mitili e pesci**, organismi già largamente utilizzati in Laguna come bioindicatori, testare anche alcuni nuovi biomarkers
- per **i policheti**, meno sperimentati in Laguna come bioindicatori, realizzare uno studio più approfondito, che comprendesse attività sia di campo sia di laboratorio

Organismi utilizzati



- il bivalve *Mytilus galloprovincialis*



- i policheti *Hediste diversicolor* e *Perinereis cultrifera*



- il pesce *Zosterisessor ophiocephalus*

Siti di campionamento



- esemplari di ciascuna specie sono stati campionati stagionalmente in **aprile, luglio, ottobre 2005 e febbraio 2006**) a **S. Giuliano e Sacca Sessola**
- le due aree sono attribuite a tipologie diverse di corpi idrici lagunari, rispettivamente interno e medio (risultati Linea 3.11, WP1, resp. D.Tagliapietra)
- le due aree risentono di fonti d'inquinamento di diversa origine

Analisi chimiche

- ✓ metalli in traccia (**Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Zn, Fe**)
- ✓ microinquinanti organici (**ΣIPA*, ΣPCB,** Aroclor 1254+1260**)

sono stati determinati in:

- parti molli dei mitili (dopo stabulazione di 24 ore in acqua di mare)
- organismi interi per i policheti (dopo stabulazione di 3 giorni in acquario con sabbia quarzifera e acqua di mare)
- filetto senza pelle dei pesci (senza stabulazione)

* **ΣIPA** è relativa ad una miscela di 12 standard: Fluorene; Fenantrene; Fluorantene; Pirene; Benzo[a]Antracene; Crisene; Benzo[b]Fluorantene; Benzo[k]Fluorantene; Benzo[a]Pirene; Dibenzo[a,h]Antracene; Benzo[ghi]Perilene; Indeno[1,2,3-cd]Pirene.

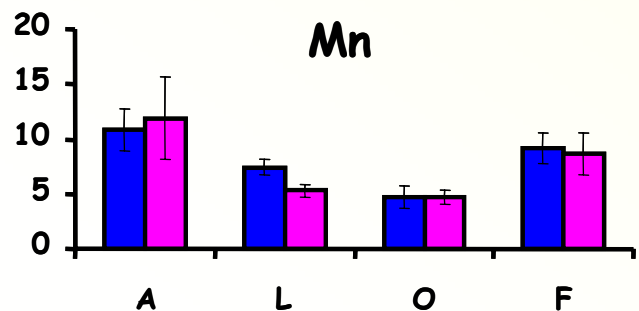
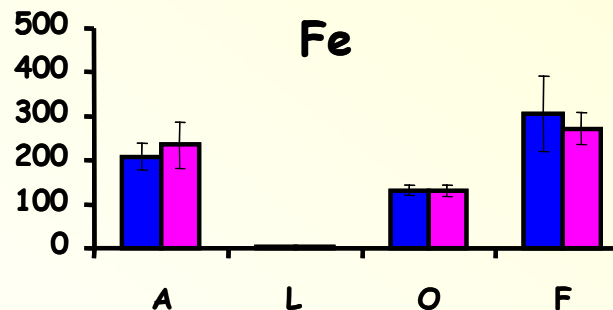
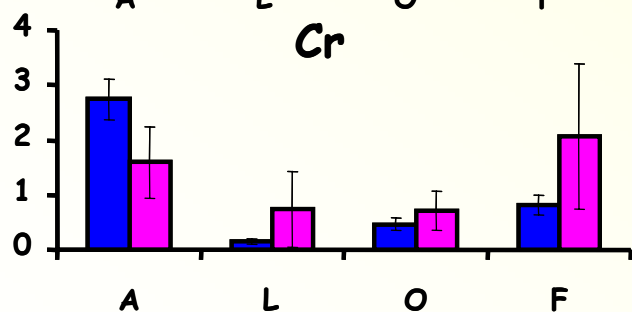
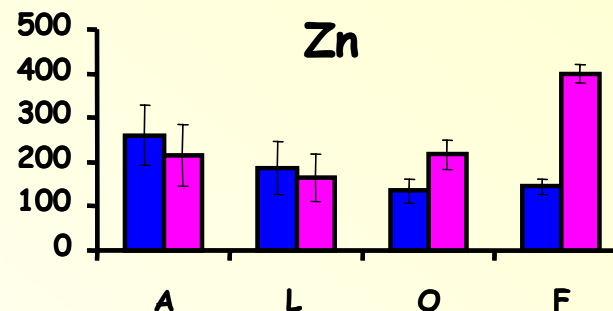
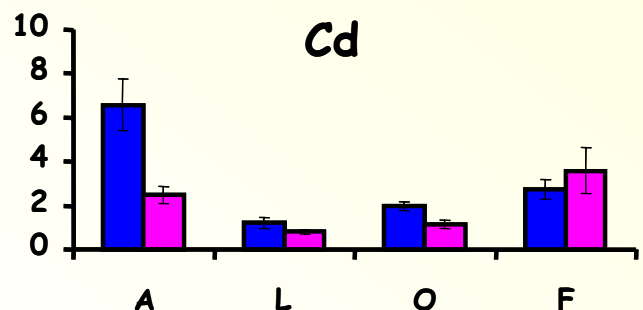
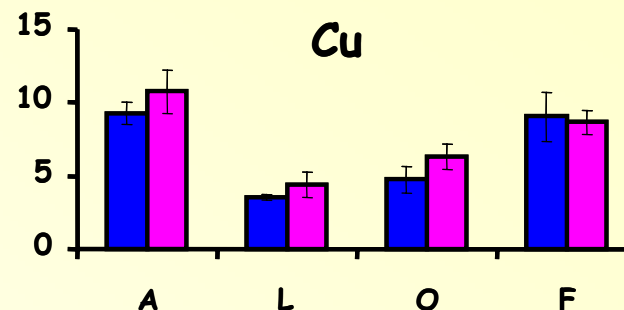
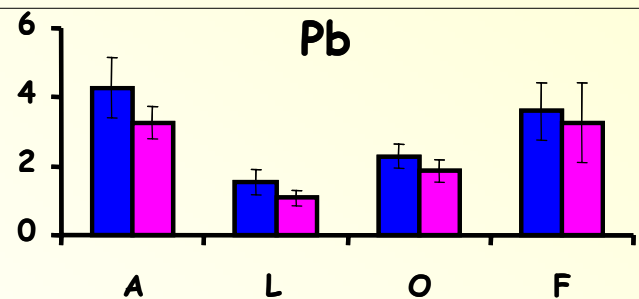
****ΣPCB** è relativa alla somma dei congeneri No. 52-101-110-(118+149)-138-153-180.

Analisi biologiche

- ✓ **biomarker di esposizione:**
 - **metallothioneine** (in tutti)
 - **attività di etossi resorufina-D dietilasi (EROD)** (nei pesci)
 - **metaboliti biliari degli IPA** (nei pesci)

- ✓ **biomarker di effetto:**
 - **malondialdeide (MDA)** (in tutti)
 - **stabilità delle membrane lisosomiali (LMS)** (nei mitili)
 - **lipofuscine (LF)** (nei mitili)
 - **lipidi neutri (LN)** (nei mitili)

Concentrazioni dei metalli ($\mu\text{g g}^{-1}$ dw) in *M. galloprovincialis*



Limiti permessi per il consumo umano

Pb = $2.0 \mu\text{g g}^{-1}$ ww Direttiva CEE 1881/2006

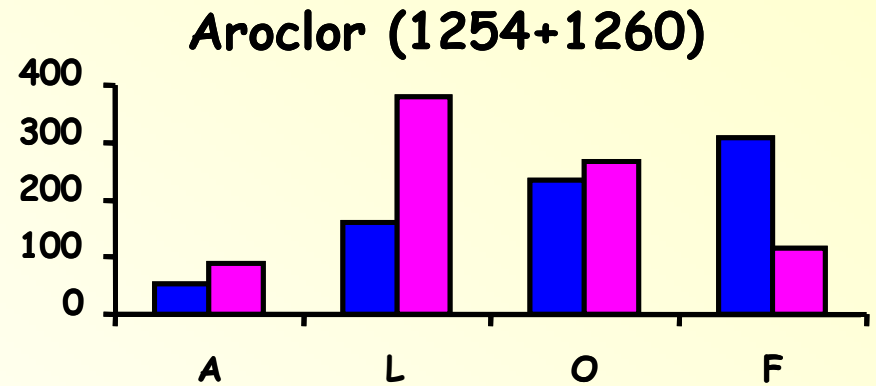
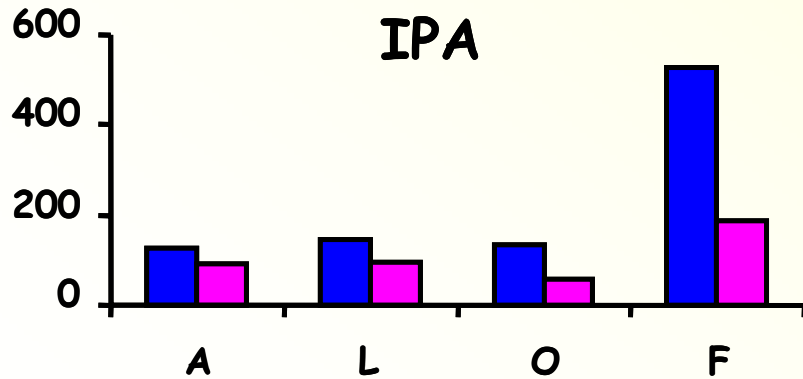
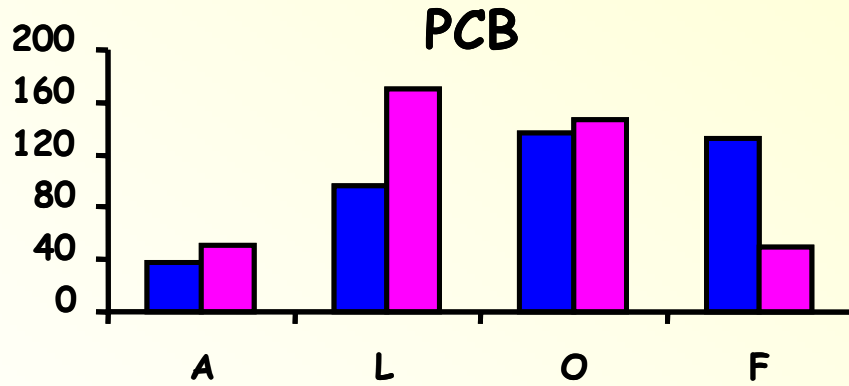
Cd = $1.0 \mu\text{g g}^{-1}$ ww Direttiva CEE 1881/2006

Cr = $13.0 \mu\text{g g}^{-1}$ ww FDA guidelines, 1983

S. Giuliano

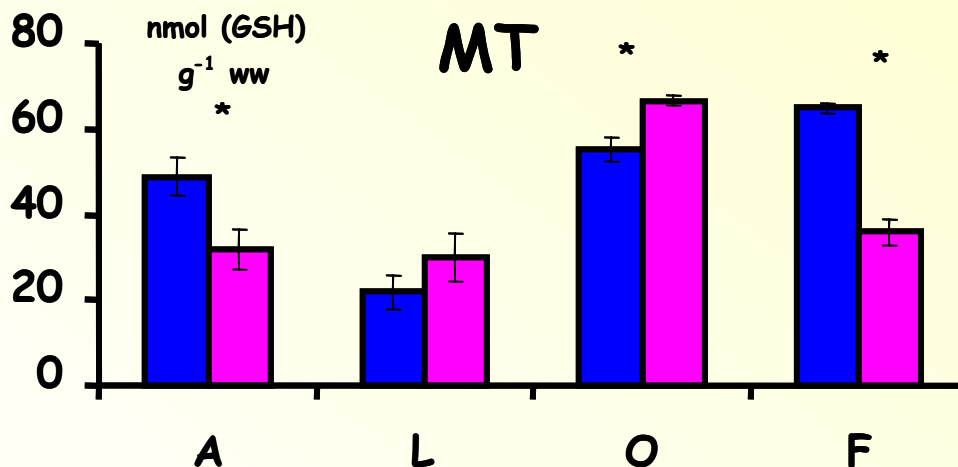
Sacca Sessola

Concentrazione dei microcontaminanti organici (ng g⁻¹dw) in *M. galloprovincialis*



 S. Giuliano  Sacca Sessola

Biomarker di esposizione e di effetto più responsivi in *M. galloprovincialis*

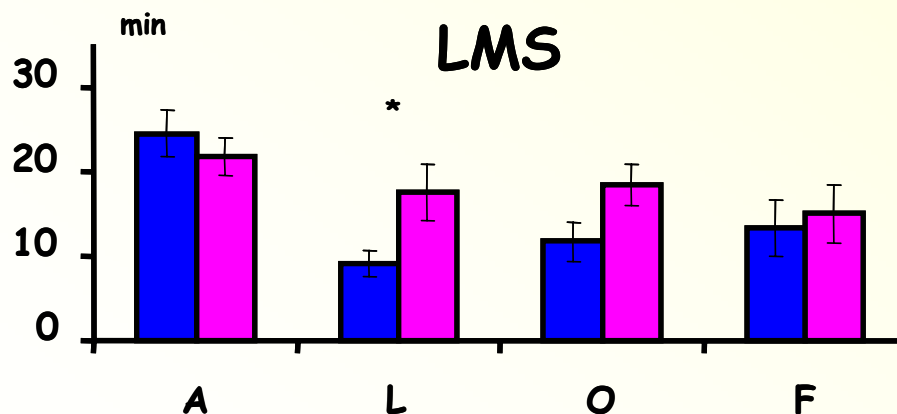


SG

A	*	n.s.	*
J		*	*
		O	*
			F

SS

A	n.s.	*	n.s.
J		*	n.s.
		O	*
			F



SG

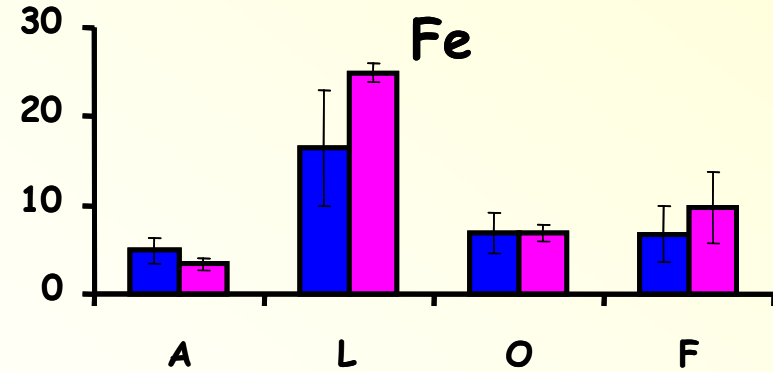
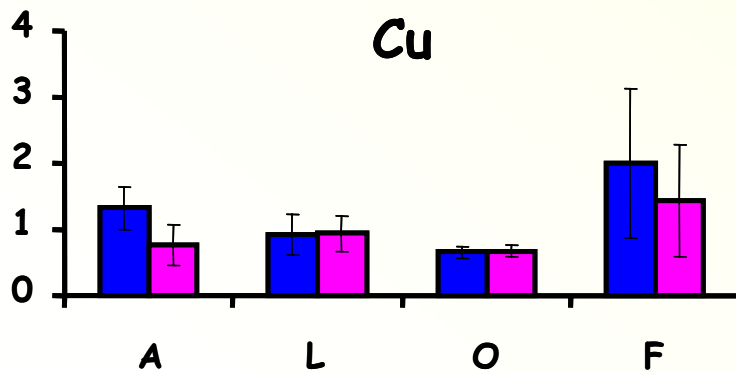
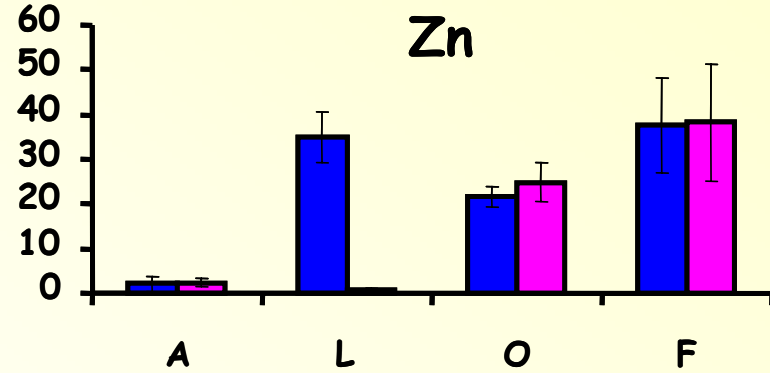
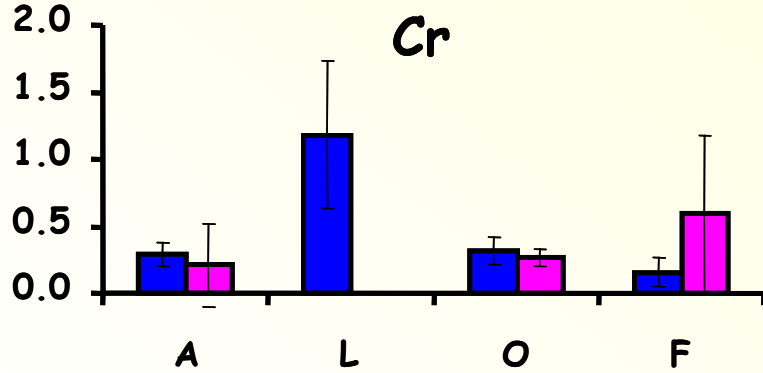
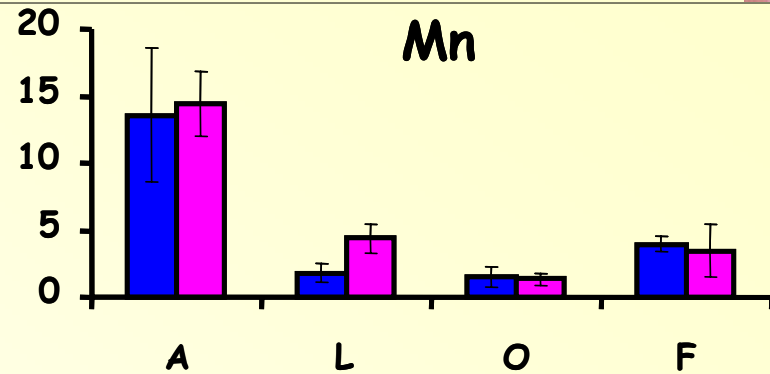
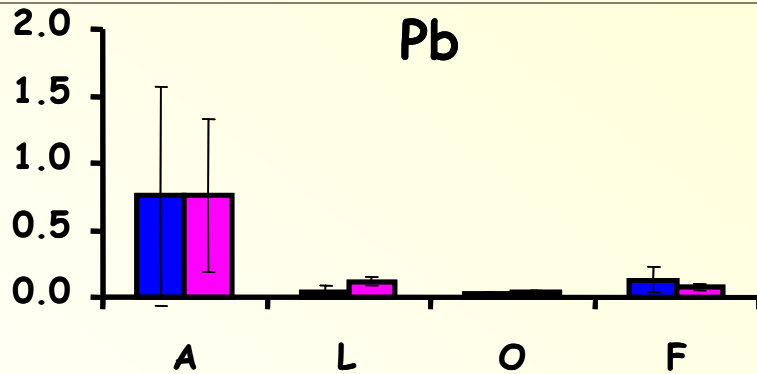
A	***	**	n.s.
J		n.s.	n.s.
		O	n.s.
			F

SS

A	n.s.	n.s.	n.s.
J		n.s.	n.s.
		O	n.s.
			F

■ S. Giuliano ■ Sacca Sessola

Concentrazioni dei metalli ($\mu\text{g g}^{-1}$ dw) in *Z. ophiocephalus*



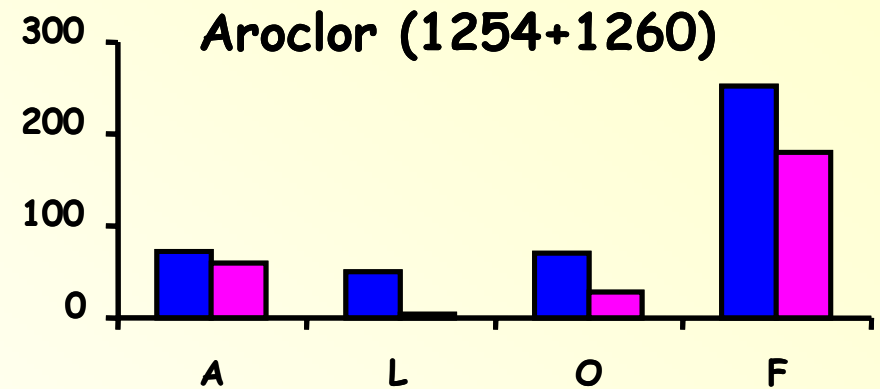
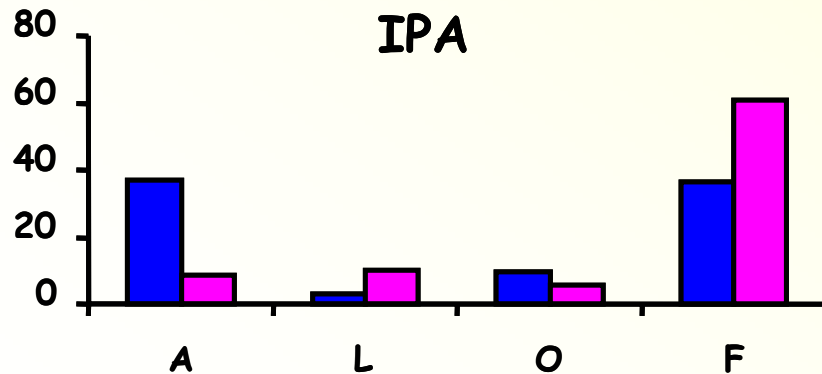
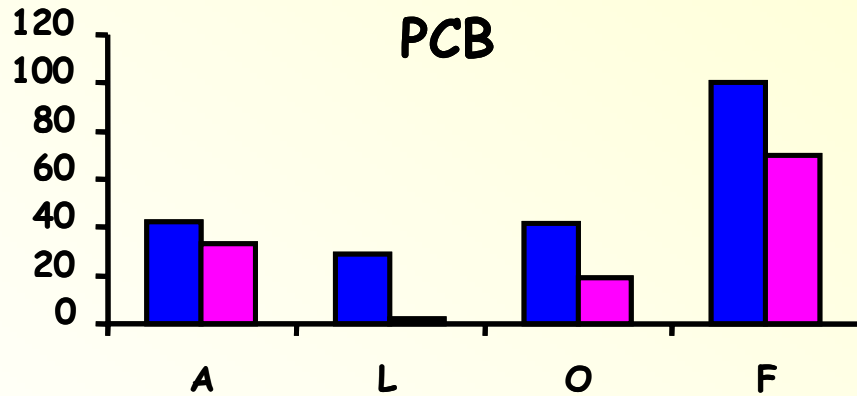
Limiti permessi per il consumo umano:


Pb = 0.2 mg kg^{-1} ww (CCFAC ML, 2001); Cd = 8.0 mg kg^{-1} ww (Health Criteria US EPA, 1983)

Cu = 10.0 mg kg^{-1} ww (FAO guidelines, 1983); Zn = 50.0 mg kg^{-1} ww (FAO guidelines, 1983)

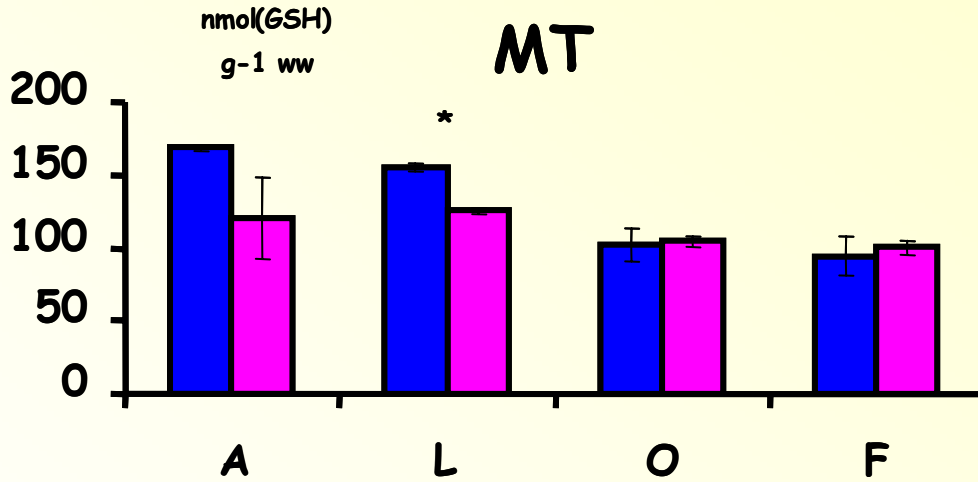
■ S. Giuliano ■ Sacca Sessola

Concentrazione dei microcontaminanti organici (ng g⁻¹dw) in *Z. ophiocephalus*



 S. Giuliano  Sacca Sessola

Biomarker di esposizione più responsivi in *Z. ophiocephalus*

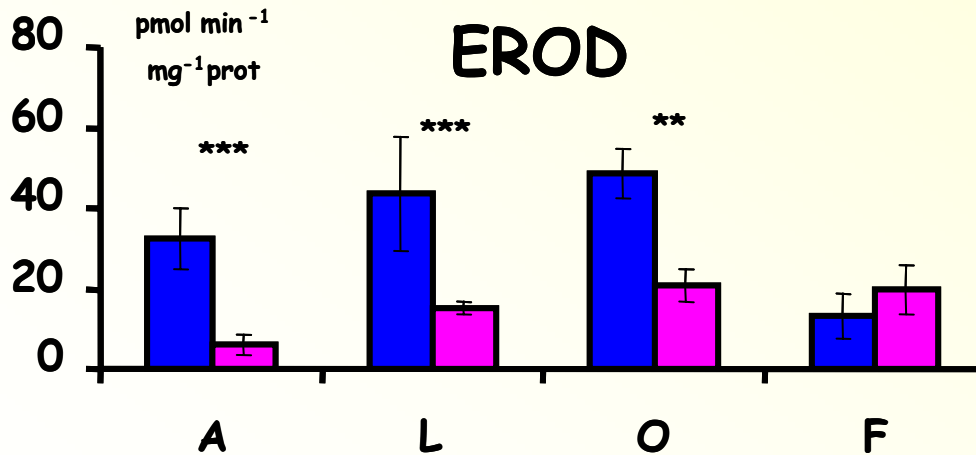


SG

A	*	*	*
J		*	*
O			ns
F			

SS

A	ns	ns	ns
J		*	*
O			ns
F			



SG

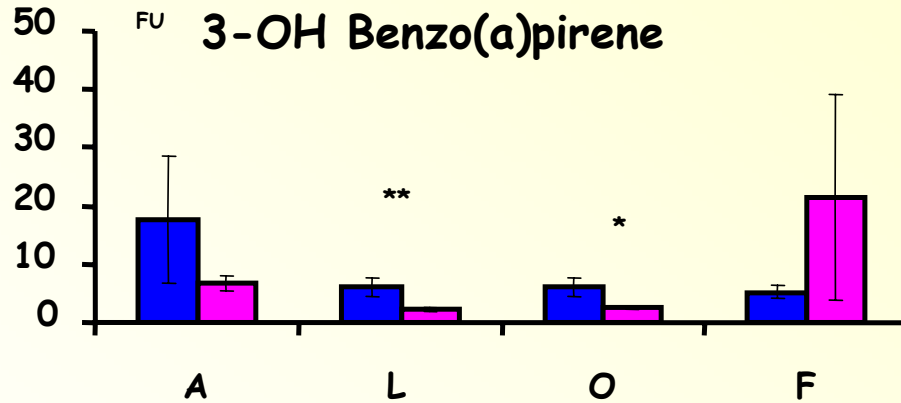
A	ns	ns	*
J		ns	**
O			**
F			

SS

A	**	**	ns
J		ns	ns
O			ns
F			

■ S. Giuliano ■ Sacca Sessola

Biomarker di esposizione responsivi ed efficaci per IPA in *Z. ophiocephalus*

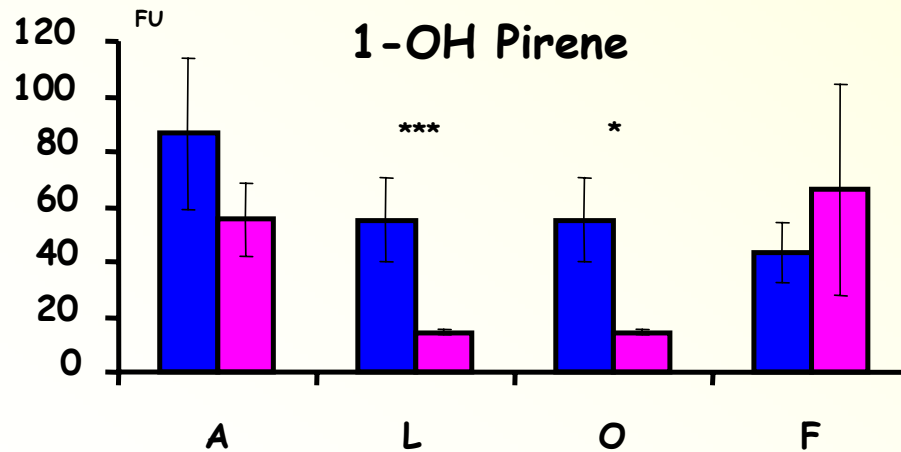


SG

A	n.s.	*	n.s.
J		n.s.	n.s.
		O	n.s.
			F

SS

A	***	**	n.s.
J		n.s.	n.s.
		O	n.s.
			F



SG

A	n.s.	*	n.s.
J		n.s.	n.s.
		O	n.s.
			F

SS

A	**	**	n.s.
J		n.s.	n.s.
		O	n.s.
			F

■ S. Giuliano ■ Sacca Sessola

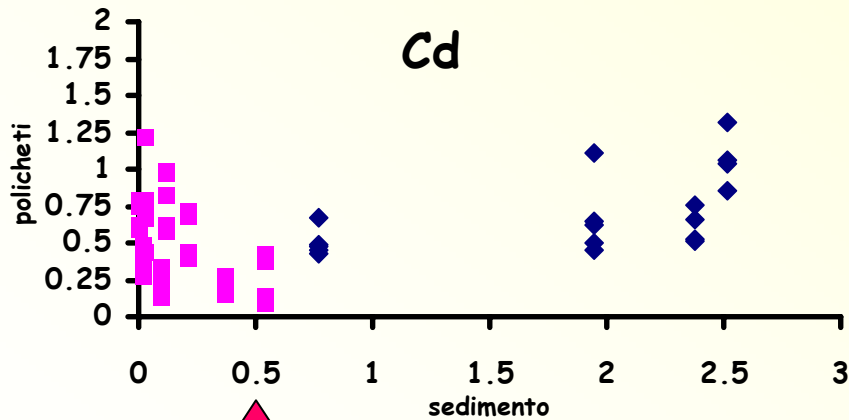
Conclusioni 1 - studio stagionale mitili e pesci

- ✓ le concentrazioni di PCB e IPA sia in mitili che in pesci sono risultate sensibilmente inferiori rispetto a precedenti campagne di misura effettuate nelle stesse aree durante gli anni '90; quelle dei metalli sono risultate invece simili (Fossato et al., 2000)
- ✓ sia i livelli dei contaminanti che alcune risposte biologiche hanno mostrato ampie fluttuazioni stagionali, determinate soprattutto dal ciclo biologico degli organismi e dalla disponibilità di cibo
- ✓ i biomarker più responsivi sono risultati le metallothioneine e la stabilità delle membrane lisosomiali nei mitili, l'attività dell'enzima etossiresorufina dietilasi-EROD ed i metaboliti biliari degli IPA (soprattutto 3-OH Benzo(a)pirene e 1-OH Pirene) nei pesci

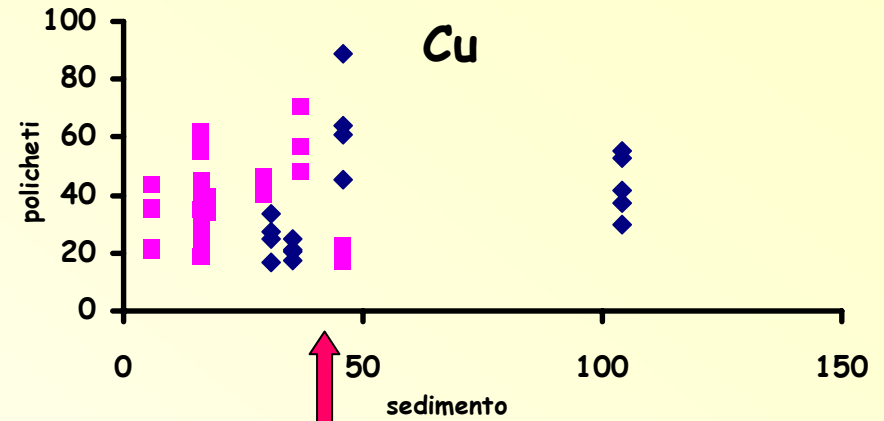
Siti di prelievo dei policheti a S. Giuliano



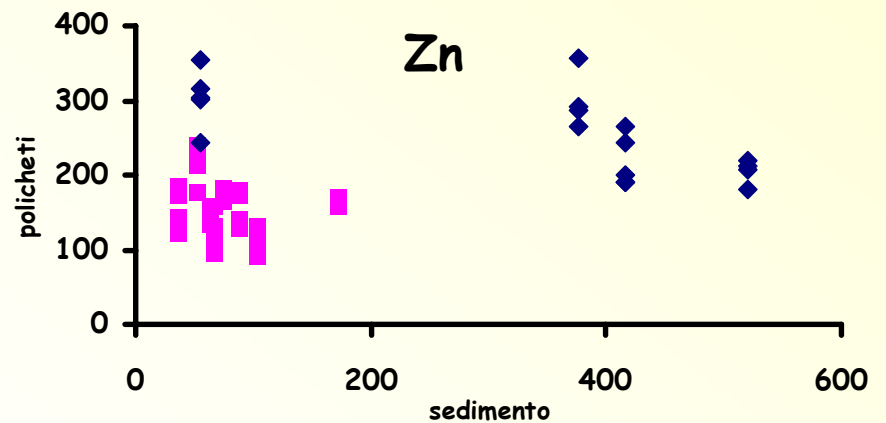
Relazioni tra concentrazione metalli ($\mu\text{g g}^{-1}$ dw) nei policheti *vs* sedimenti



Soglia di cambiamento di risposta biologica ($0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ dw)

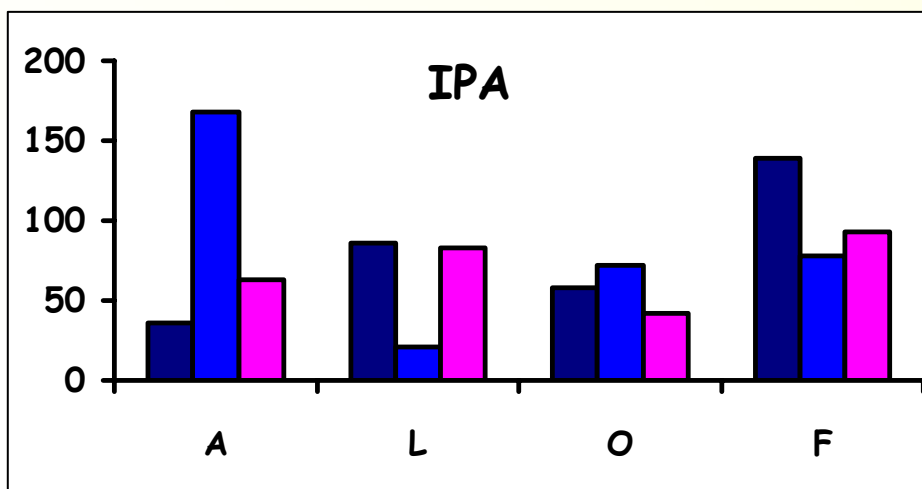
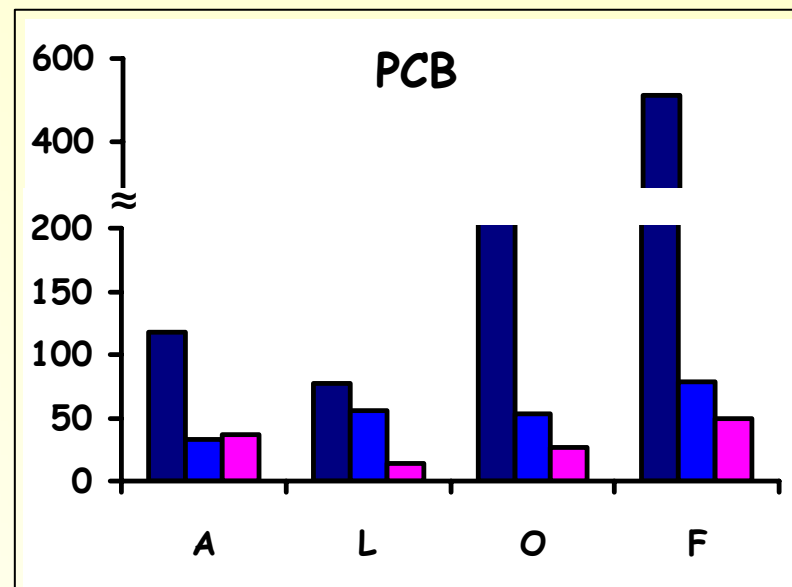
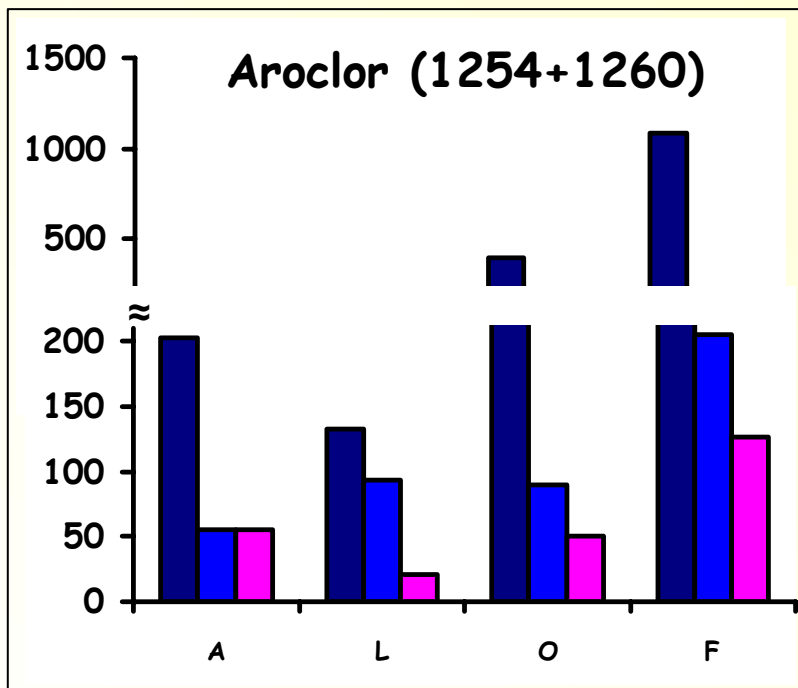


Soglia di cambiamento di risposta biologica ($45-50 \mu\text{g g}^{-1}$ dw)



■ *P. cultrifera* ◆ *H. diversicolor*

Concentrazione dei microcontaminanti organici (ng g⁻¹) nei policheti *H. diversicolor* e *P. cultrifera*



- H. diversicolor*
- P. cultrifera* S. Giuliano
- P. cultrifera* Sacca Sessola



Fattori di accumulo biota/sedimento per i metalli

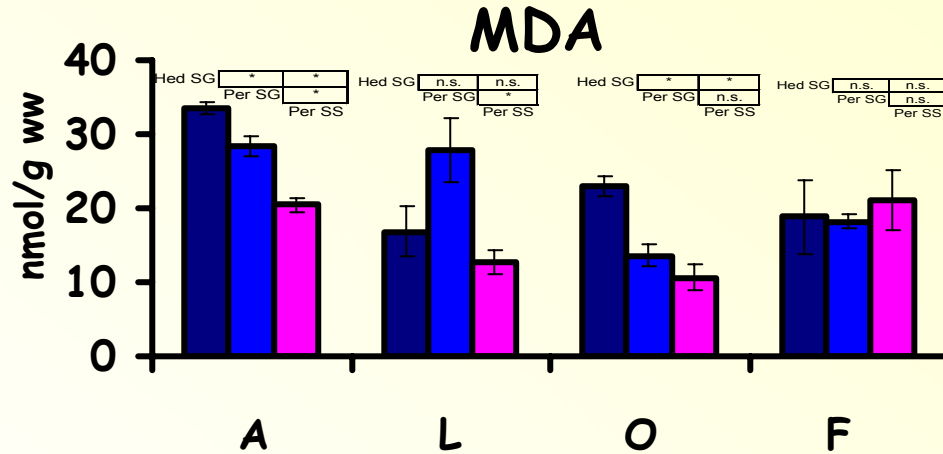
	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Zn	Fe
<i>H. diversicolor</i>	<1	<1	<1	0.5-1	<1	1-5	<1
<i>P. cultrifera</i>	<1	1-10	<1	1-5	<1	1-5	<1

Fattori di accumulo biota/sedimento per gli inquinanti organici

	PCB	IPA
<i>H. diversicolor</i>	1-10	<1
<i>P. cultrifera</i>	10-40	<1

Biomarker di esposizione e di effetto nei policheti

H. diversicolor e *P. cultrifera*



Hed SG

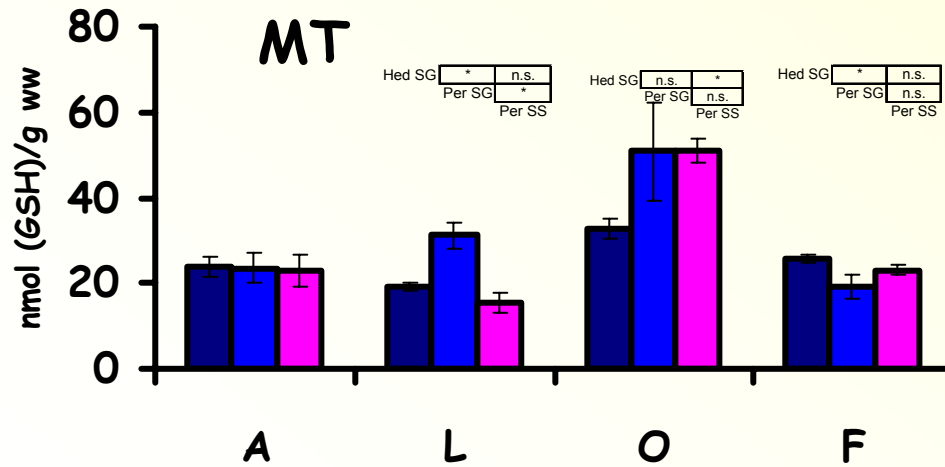
A	*	*	*
J		n.s.	n.s.
O			n.s.
F			

Per SG

A	n.s.	*	*
J		*	*
O			*
F			

Per SS

A	*	*	n.s.
J		n.s.	n.s.
O			*
F			



Hed SG

A	n.s.	n.s.	n.s.
J		*	*
O			*
F			

Per SG

A	n.s.	*	n.s.
J		*	*
O			*
F			

Per SS

A	n.s.	*	n.s.
J		*	*
O			*
F			

Conclusioni 2 - studio stagionale policheti



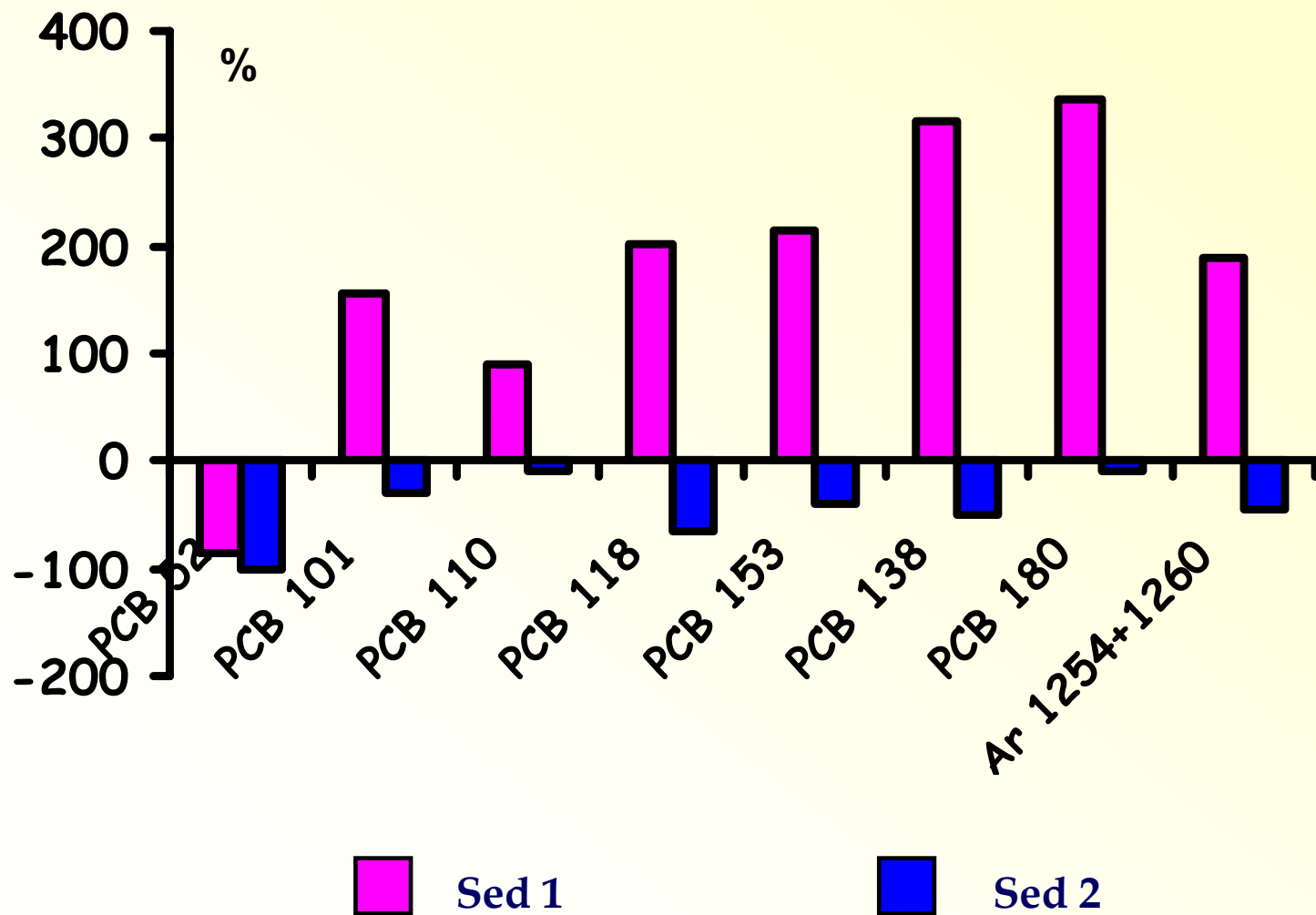
- ✓ le due specie di policheti hanno mostrato capacità regolative per la maggior parte dei metalli; l'attivazione di meccanismi di accumulo avviene quando le concentrazioni ambientali superano un valore soglia. Inoltre, hanno mostrato buone capacità di accumulare PCB; gli IPA vengono invece efficacemente metabolizzati
- ✓ la specie *P. cultrifera* ha mostrato maggiore capacità di accumulo (in particolare per Cd e PCB)
- ✓ i risultati ottenuti per i biomarker malondialdeide e metallotioneine indicano preliminarmente effetti endogeni non trascurabili che mascherano e rendono di difficile valutazione il loro significato di risposta agli inquinanti



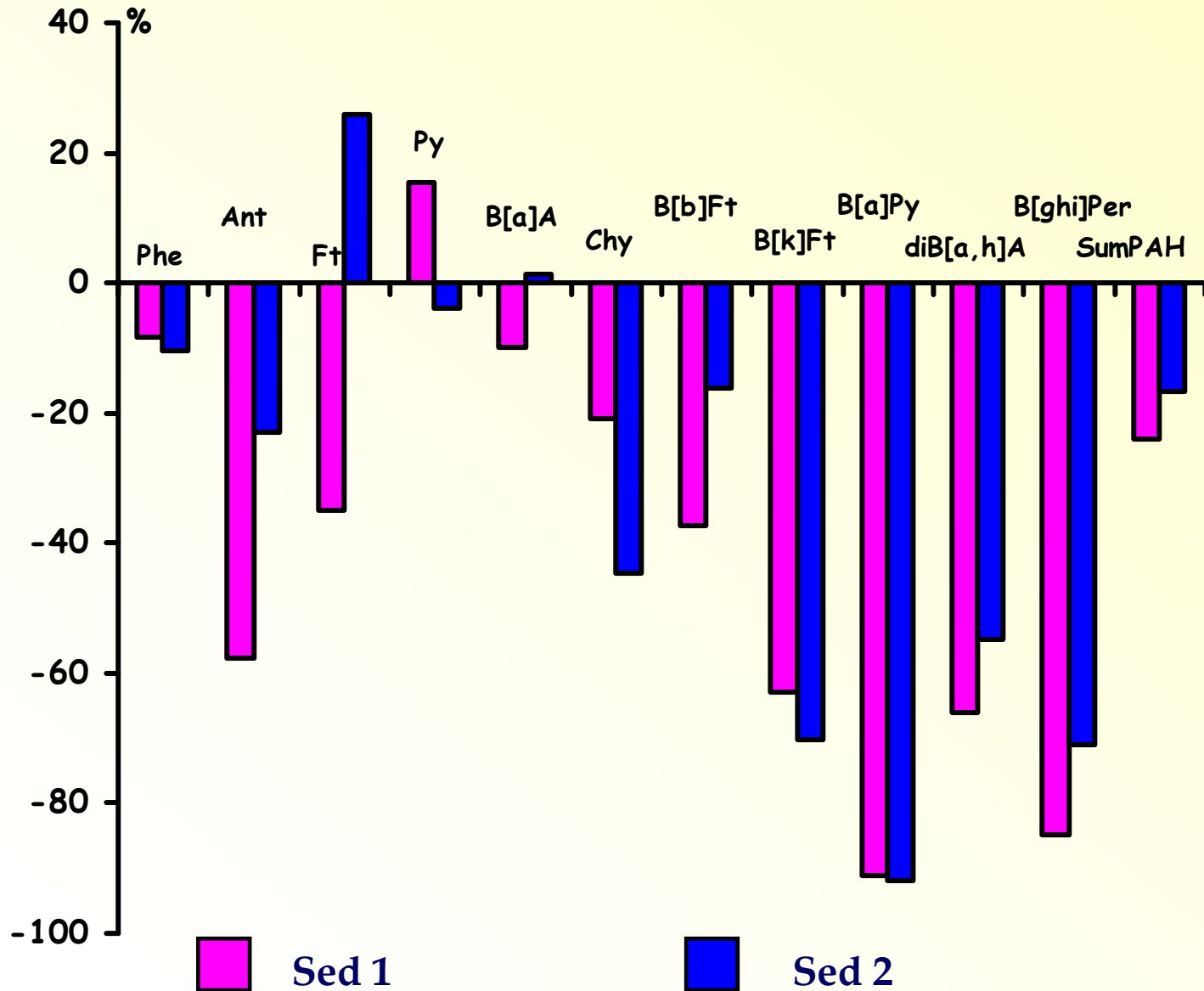
Esperimento di esposizione a sedimenti naturali diversamente contaminati

	PCB ng g ⁻¹ dw	IPA ng g ⁻¹ dw
Sedimento 1	33	3500
Sedimento 2	3	100

Variazione percentuale del contenuto di PCB dopo 25 giorni di esposizione



Variazione percentuale del contenuto di IPA dopo 25 giorni di esposizione



Conclusioni 3 - esperimento di laboratorio policheti

- ✓ significativo accumulo di tutti i PCB esaminati e di Aroclor (1254+1260) nei policheti esposti per 25 giorni al sedimento più contaminato
- ✓ confermata l'ipotesi, formulata in seguito ai risultati dello studio stagionale, che questi organismi accumulano PCB dai sedimenti;
- ✓ le variazioni del contenuto di IPA, specifiche per ciascun singolo composto esaminato, indicano una diminuzione delle concentrazioni, probabilmente in relazione alle capacità di metabolizzazione degli organismi.

Ringraziamo:

- Giancarlo Campesan e Daniele Cassin (ISMAR Venezia)
per le analisi degli inquinanti organici negli organismi
- Vanessa Moschino (ISMAR Venezia) per l'istochimica dei
mitili

Grazie per l'attenzione

Esposizione di policheti a sedimenti naturali diversamente contaminati da PCB ed IPA

RACCOLTA E PREPARAZIONE DEI SEDIMENTI

- I sedimenti sono stati raccolti a Tresse e Palude della Rosa, successivamente setacciati (diametro setaccio 1.5 mm) e conservati a 4°C al buio per due settimane prima dell'allestimento delle vasche sperimentali.
- Per ciascun sedimento sono state allestite quattro vasche di polipropilene (30x20x13 cm). Ciascuna vasca è stata riempita con uno strato di 3 cm circa di sedimento, che è stato successivamente ricoperto con 3 litri di acqua di mare filtrata (36 PSU). In ogni vasca è stata inoltre dotata di aerazione
- Un sub campione di sedimento è stato conservato a -20°C per le analisi chimiche.

RACCOLTA E PREPARAZIONE DEI POLICHETI

- Circa 300 organismi (5 ± 1 cm di lunghezza) sono stati raccolti nel sito di Sacca Sessola;
- posti in acquari aerati contenenti sabbia quarzifera ed acqua di mare (20°C ; 34 ± 1 PSU) per un periodo di 2 settimane;
- durante questo periodo gli organismi non sono stati alimentati e sono stati sottoposti ad un fotoperiodo di 12 ore luce e 12 ore buio.

ALLESTIMENTO E SVOLGIMENTO DEL TEST DI ESPOSIZIONE

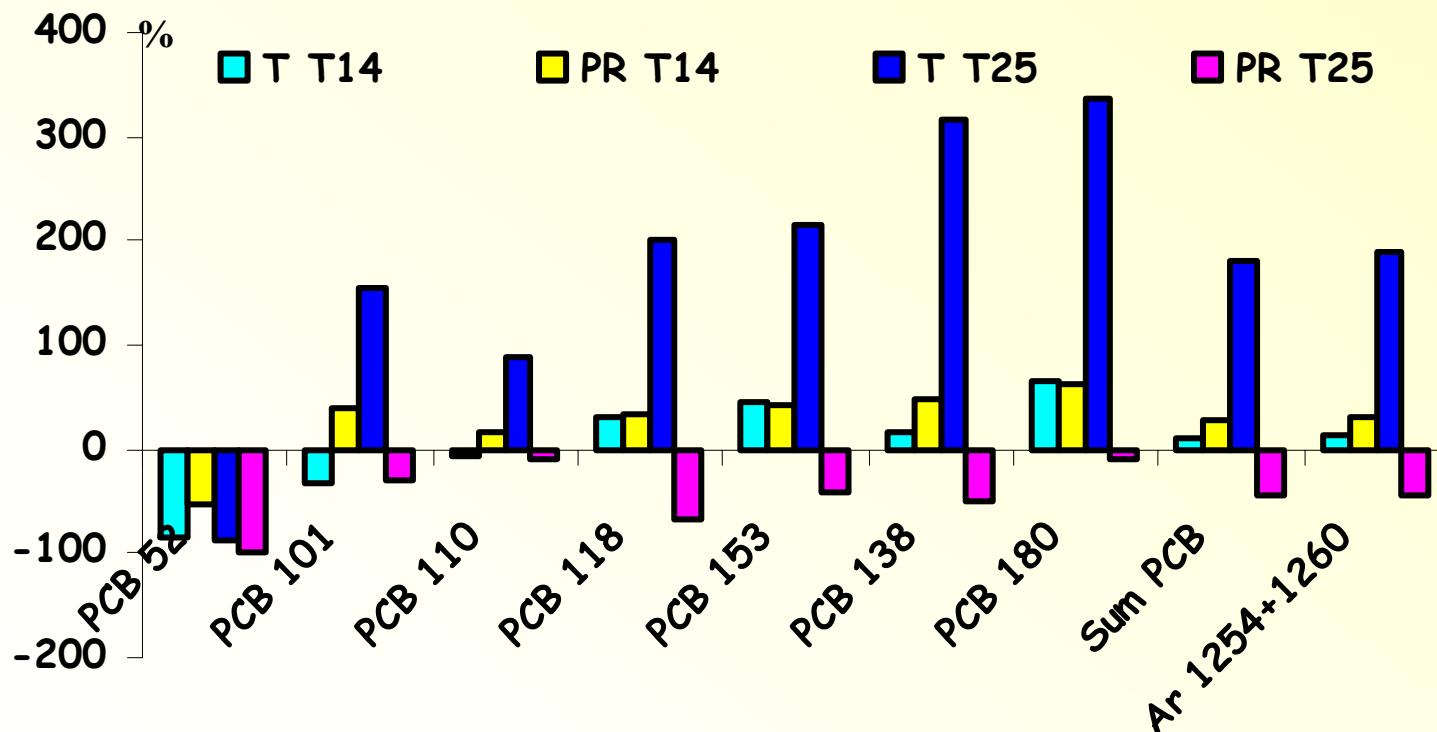
- In ciascuna vasca. sono stati distribuiti 30 organismi precedentemente acclimatati;
- sono stati mantenuti ad una temperatura costante di 20°C e ad un fotoperiodo di 12 ore luce e 12 ore buio;
- i prelievi sono stati effettuati ai tempi: T0 (campione iniziale dopo l'acclimatazione), T14 (dopo 14 giorni) e T25 (dopo 25 giorni);
- Dopo ogni prelievo i campioni sono stati stabulati in acquario con sabbia quarzifera e acqua di mare (20°C ; 34 ± 1 PSU) per 3 giorni;
- i campioni prelevati sono stati diversamente processati per le analisi chimiche (bioaccumulo di PCB ed IPA) e biologiche (contenuto di malondialdeide, MDA).

	T	PR
PCB 52	2.48 ± 1.22	0
PCB 101	3.15 ± 1.38	0.30 ± 0.03
PCB 110	1.95 ± 0.17	0.46 ± 0.01
PCB 118	3.08 ± 0.47	0.29 ± 0.03
PCB 153	10.30 ± 2.04	0.96 ± 0.27
PCB 138	6.38 ± 2.11	0.50 ± 0.09
PCB 180	5.02 ± 3.09	0.29 ± 0.14
Somma PCB	32.37 ± 3.96	2.81 ± 0.28
Ar 1254+1260	67.16 ± 3.90	6.30 ± 1.05
Nafthalene	0.00	0.00
Acenaftilene	0.00	0.00
Acenaftene	5.57 ± 0.23	0.00
Fluorene	30.88 ± 4.33	0.00
Fenantrene	338.85 ± 44.27	5.85 ± 1.41
Antracene	18.68 ± 5.04	2.20 ± 0.02
Fluorantene	673.41 ± 40.25	14.93 ± 2.75
Pirene	889.69 ± 377.95	18.47 ± 10.67
Benzo[a]antracene	202.21 ± 16.59	9.25 ± 1.18
Crisene	223.97 ± 41.46	9.96 ± 1.84
Benzo[b]fluorantene	283.24 ± 38.36	13.16 ± 3.45
Benzo[k]-fluorantene	203.52 ± 11.95	8.71 ± 1.00
Benzo[a]pirene	314.82 ± 33.83	9.24 ± 2.88
diBenzo[a,h]antracene	28.20 ± 4.14	0.64 ± 0.08
Benzo-[g,h,i]perilene	357.60 ± 82.62	6.68 ± 2.12
Indeno[1,2,3-cd]pirene	0.00	0
Somma IPA	3570.64 ± 620.24	99.08 ± 25.71

Contenuto di inquinanti organici (ng g⁻¹ dw) nei sedimenti di Tresse (T) e Palude della Rosa (PR), utilizzati nell'esperimento di esposizione.

NB - Il contenuto di PCB nel sedimento di Tresse è risultato circa 10 volte superiore rispetto a quello di Palude della Rosa. I congeneri PCB 153, PCB 138 sono risultati i più abbondanti in entrambi i siti. Le concentrazioni di IPA nel sedimento di Tresse sono risultate addirittura 35 volte superiori rispetto a quello di Palude della Rosa, e in entrambi i siti hanno evidenziato una presenza maggiore di pirene e fluorantene.

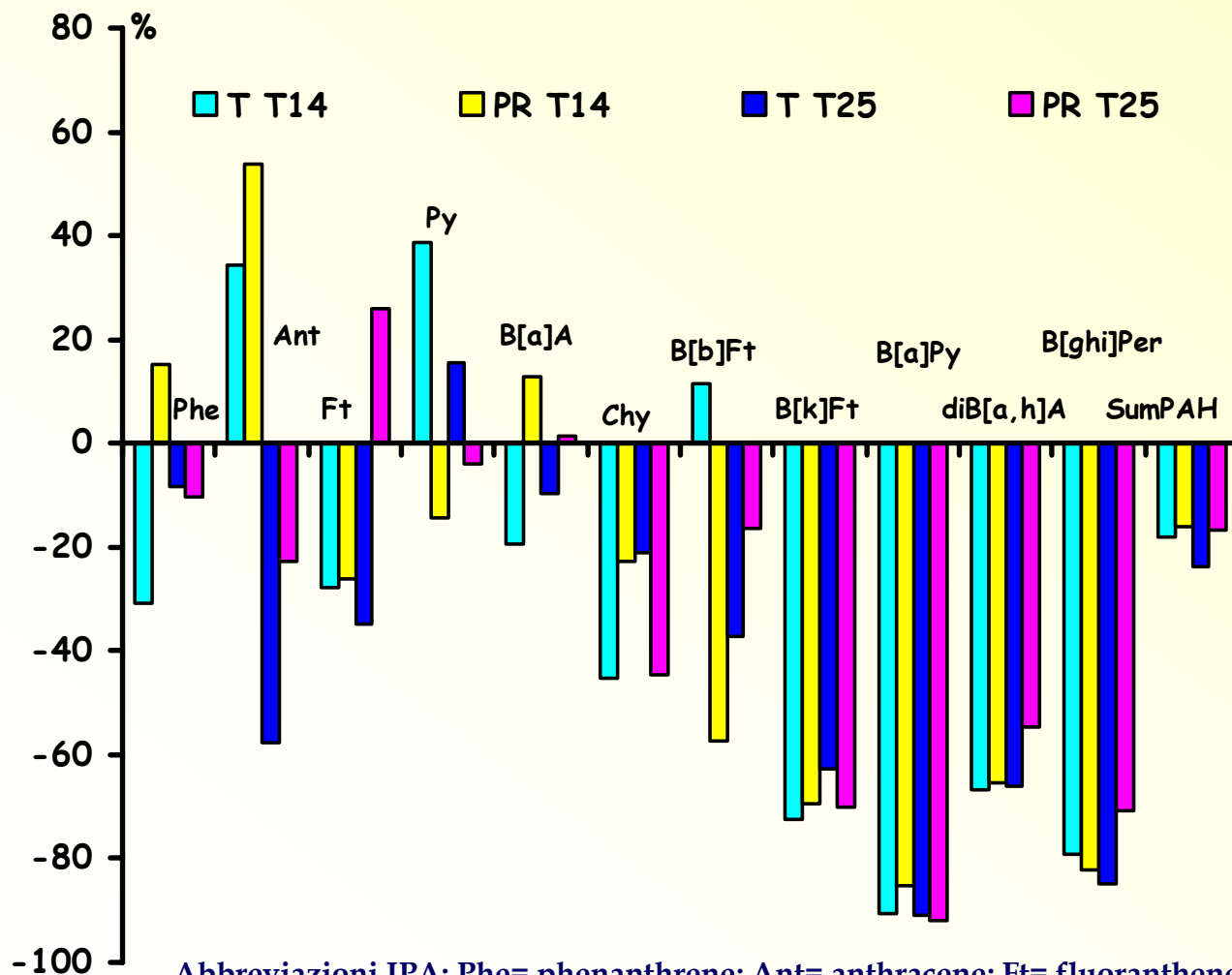
Variazione percentuale del contenuto di PCB nei campioni di *P. cultrifera* esposti per 14 e 25 giorni a sedimenti differentemente contaminati (T= Tresse, PR= Palude della Rosa), rispetto al campione di riferimento processato al tempo zero.



Legenda:

- T T14= campione esposto al sedimento di Tresse per 14 giorni;
- PR T14= campione esposto al sedimento di Palude della Rosa per 14 giorni;
- T T25= campione esposto al sedimento di Tresse per 25 giorni;
- PR T25= campione esposto al sedimento di Palude della Rosa per 25 giorni.

Variazione percentuale del contenuto di IPA nei campioni di *P. cultrifera* esposti per 14 e 25 giorni a sedimenti differentemente contaminati (T= Tresse, PR= Palude della Rosa), rispetto al campione di riferimento processato al tempo zero.



Legenda:

- T T14= campione esposto al sedimento di Tresse per 14 giorni;

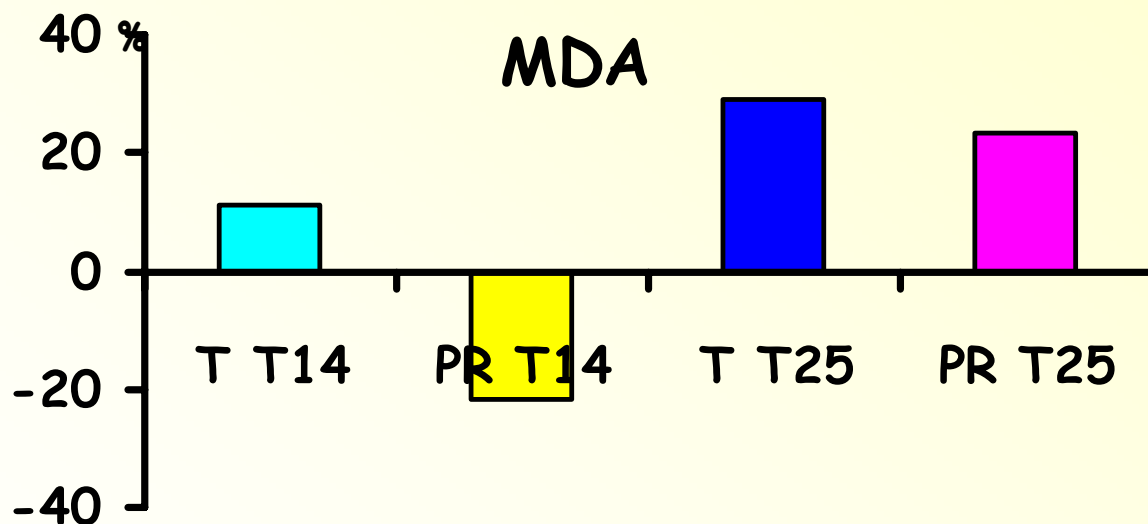
- PR T14= campione esposto al sedimento di Palude della Rosa per 14 giorni;

- T T25= campione esposto al sedimento di Tresse per 25 giorni;

- PR T25= campione esposto al sedimento di Palude della Rosa per 25 giorni.

Abbreviazioni IPA: Phe= phenanthrene; Ant= anthracene; Ft= fluoranthene; Py =pyrene; B[a]A= benz[a]anthracene; Chy= chrysene; B[b]Ft= benzo[b]fluoranthene; B[k]Ft= benzo[k]-fluoranthene; B[a]Py= benzo[a]pyrene; diB[a,h]A= dibenz[a,h]anthracene; B[g,h,i]Per= benzo-[g,h,i]perylene.

Variazione percentuale del contenuto di MDA nei campioni di *P. cultrifera* esposti per 14 e 25 giorni a sedimenti diversamente contaminati (T= Tresse, PR= Palude della Rosa), rispetto al campione di riferimento processato al tempo zero.



Legenda:

- T T14= campione esposto al sedimento di Tresse per 14 giorni;
- PR T14= campione esposto al sedimento di Palude della Rosa per 14 giorni;
- T T25= campione esposto al sedimento di Tresse per 25 giorni;
- PR T25= campione esposto al sedimento di Palude della Rosa per 25 giorni.

Conclusioni

- significativo bioaccumulo di tutti i PCB esaminati e di Aroclor (1254+1260) nei policheti esposti per 25 giorni al sedimento più contaminato, mentre una lieve diminuzione è stata evidenziata nel campione esposto al sedimento di controllo
- si conferma l'ipotesi, emersa durante lo studio stagionale, che questi organismi possono essere considerati buoni indicatori della qualità dei sedimenti lagunari dal punto di vista della contaminazione da PCB.
- i campioni esposti ad entrambi i tipi di sedimento per 14 giorni hanno evidenziato andamenti meno chiari, sottolineando la necessità di tempi di esposizione più lunghi per il raggiungimento dello "stato stazionario" per la maggior parte dei residui di contaminanti nei tessuti, come previsto dalle procedure ufficiali EPA.
- le variazioni del contenuto di IPA sono risultate molto differenti a seconda dei singoli composti esaminati, sebbene in generale sia stata osservata una diminuzione delle concentrazioni sia nei campioni esposti al sedimento inquinato che in quelli esposti al sedimento pulito, molto probabilmente in relazione alla minor possibilità di accumulo per questo tipo di inquinanti, che vengono facilmente rimossi dall'organismo attraverso l'attivazione di sistemi enzimatici di detossificazione molto efficienti.
- La malondialdeide ha confermato, anche per i policheti, la sua caratteristica di indice di stress generico, influenzabile da numerosi fattori, anche di tipo manipolativo, e quindi scarsamente affidabile per descrivere gli effetti biologici degli inquinanti in studi ambientali.

2° ESPERIMENTO

Esperimenti di esposizione di policheti della specie *P. cultrifera* a metalli presenti in fango naturale e a una soluzione contenente 100 µg/l di Cd

RACCOLTA E PREPARAZIONE DEI SEDIMENTI

- Per il **test con fango naturale** sono stati raccolti sedimenti a Tresse successivamente setacciati (diametro setaccio 1.5 mm) e conservati a 4°C al buio fino all'allestimento delle vasche sperimentali.
- Per il **test di controllo** ed il **test di esposizione a 100 µg/l di Cd**, è stata utilizzata come sedimento una sabbia quarzifera. Ciascuna vasca è stata riempita con uno strato di circa 5 cm di sedimento a cui sono stati aggiunti circa 10 litri di acqua di mare artificiale pulita al 33‰ e CdCl₂ fino alla concentrazione nominale di 100 µg Cd/l

RACCOLTA E PREPARAZIONE DEI POLICHETI

- Circa 500 organismi (5 ± 1 cm di lunghezza) sono stati raccolti nel sito di Sacca Sessola
- posti a stabulare in acquarii aerato contenenti sabbia quarzifera ed acqua di mare artificiale (20°C ; 33 ± 1 PSU) per 3 giorni

ALLESTIMENTO E SVOLGIMENTO DEL TEST DI ESPOSIZIONE

- **Test di Controllo (C):** 185 organismi messi in acquario contenente sabbia quarzifera ed acqua di mare artificiale;
- **Test di esposizione a fango naturale (F):** 100 organismi messi in acquario contenente fango complesso ed acqua di mare artificiale;
- **Test di esposizione a Cd $100 \mu\text{g/l}$ (A):** 190 organismi messi in acquario contenente sabbia quarzifera ed acqua di mare artificiale contaminata con Cd $100 \mu\text{g/l}$ aggiunto come CdCl_2 .

Il protocollo di esposizione ha seguito la seguente procedura:

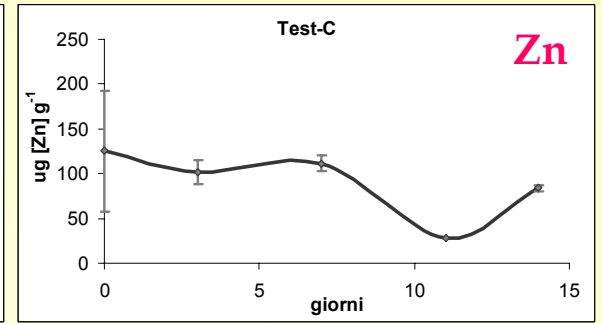
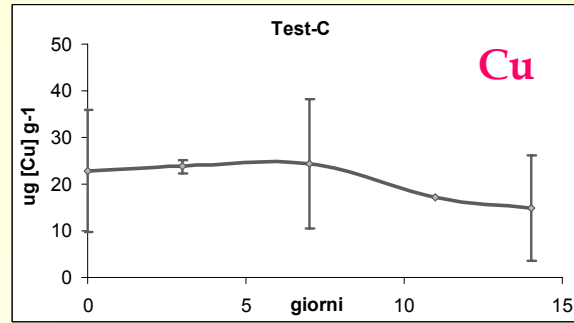
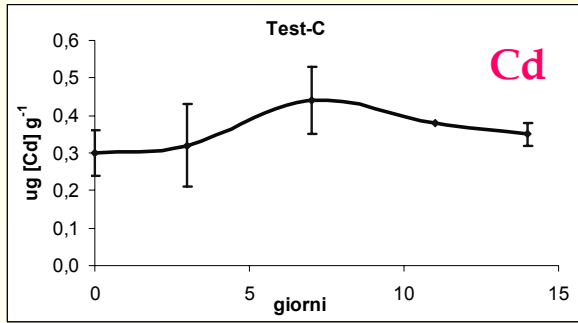
- **Stesse condizioni di laboratorio (fotoperiodo, temperatura e salinità) della fase di stabulazione;**
- **campionamento di sabbia quarzifera e fango complesso prima dell'esposizione;**
- **durata periodo totale di esposizione: 14 giorni;**
- **controllo giornaliero dei parametri chimico-fisici nelle vasche di esposizione;**
- **prelievi geometrici: 0, 3, 6-7, 14 giorni in esposizione;**
- **cambio di acqua ogni 6-7 gg;**
- **somministrazione di cibo standard per filtratori di acquario (Liquifry marine) ogni 6-7 gg;**
- **stabulazione degli individui per le 24 ore successive a ciascun prelievo;**
- **i campioni di policheti prelevati sono stati conservati a -20°C fino alle analisi;**
- **metalli esaminati: Cd, Cu e Zn.**

Concentrazioni di Cd, Cu e Zn nelle matrici ambientali di esposizione.

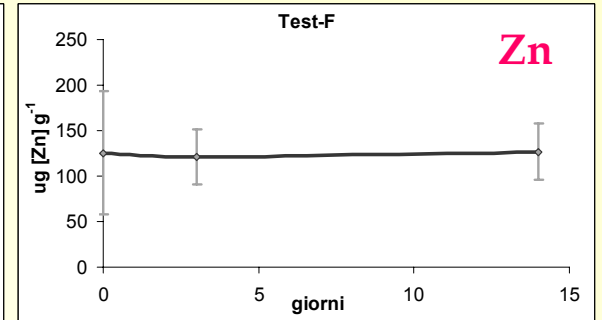
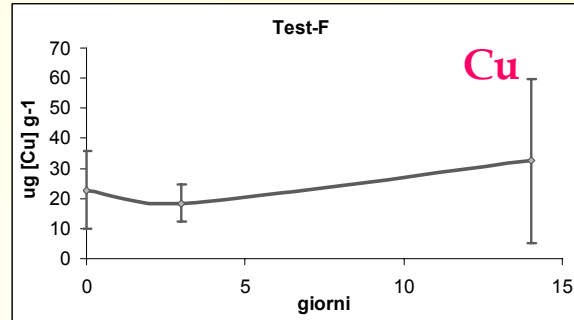
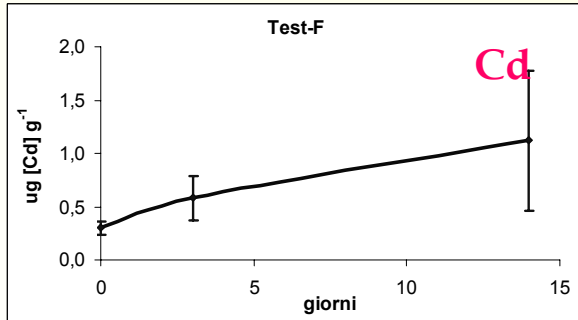
matrice	Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$)
sedimenti nativi	0.39	30.5	77.1
sabbia quarzifera	0.02	0.00001	0.00001
fango T ₀	4.37	59.8	633
fango T ₁₄	5.46	65.2	661
acqua artificiale* ($\mu\text{g l}^{-1}$)	0.0008	0.003	0.0009

**valori estratti da Shimek, 2002*

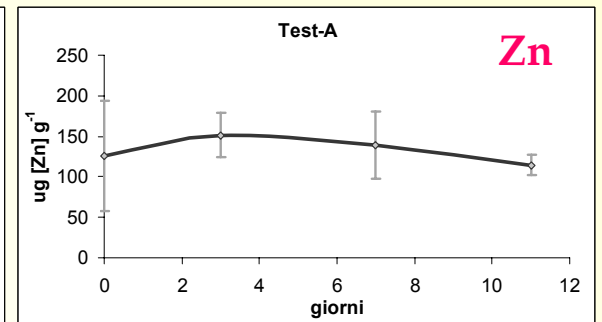
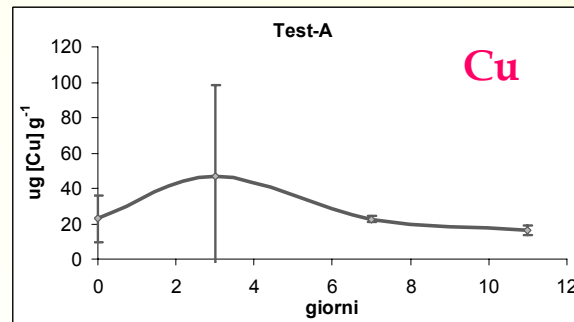
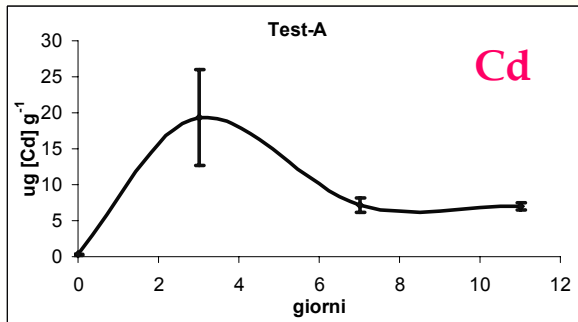
Test di controllo (C)



Test di esposizione a fango naturale (F)



Test di esposizione a acqua contaminata con 100 µg Cd/l (A)



Fattori di bioaccumulo (BSAF, BAF) di Cd, Cu e Zn in funzione del tempo di esposizione

		<i>Fattore di Bioaccumulo (l/Kg)</i>		
	t (giorni)	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>
C	0	0,79	0,75	1,62
	3	19,9	7915	113019
	7	27,4	8130	123921
	11	23,7	5725	30840
	14	21,8	4959	93420
F	0	0,79	0,75	1,62
	3	0,13	0,31	0,19
	14	0,21	0,50	0,19
A	0	0,79	0,75	1,62
	3	194	15600	168411
	7	72,0	7518	154542
	11	70,2	5378	126900

Nota: C indica il test di controllo; F indica il test di esposizione a fango naturale; A indica il test di esposizione ad 100 µg [Cd] Kg-1 disciolti in acqua artificiale

- Presenza di un meccanismo di regolazione dell'assunzione corporea di Cd con uno steady-state che viene raggiunto già dal 7° giorno di esposizione;
- probabile sinergismo nei confronti dell'assunzione del Cu, tramite l'attivazione facilitata di un processo di bioconcentrazione di un metallo essenziale quando questo risulta scarsamente disponibile (0.003 µg L-1) in ambiente (Chapman et al., 2000);
- scarsa mobilità dello Zn nei nereidi, una volta bioaccumulato

Conclusioni

I risultati ottenuti da questi esperimenti confermano l'ipotesi che le popolazioni naturali di *H. diversicolor* e *P. cultrifera* della Laguna di Venezia si comportino in modo simile rispetto a comparabili disponibilità di metallo ambientale. Infatti:

- 1) per quanto riguarda Cd, *P. cultrifera* esposta ad alte concentrazioni sperimentali regola i propri valori corporei su livelli paragonabili a quelli presentati in natura da *H. diversicolor* del sito SG più inquinato;
- 2) per quanto riguarda Cu, i livelli corporei raggiunti durante l'esposizione sperimentale si collocano nello stesso intervallo di quelli delle popolazioni naturali a parità di concentrazione ambientale;
- 3) i processi di assunzione-escrezione per Zn sono fortemente regolati in entrambe le specie considerate (*H. diversicolor* e *P. cultrifera*), ma con risposte di bioaccumulo e livelli di regolazione differenti, infatti a parità di disponibilità di metallo *H. diversicolor* regola i propri livelli di concentrazione corporea su valori più alti rispetto a *P. cultrifera*.

Valori medi e i relativi intervalli di variazione (min-max) di differenti tipologie di inquinanti inorganici ed organici misurati durante quattro campagne stagionali (apr. 2005 - feb. 2006) in organismi appartenenti a differenti gruppi trofici provenienti da due zone della Laguna Centrale (S. Giuliano e Sacca Sessola).

Gruppi Trofici	Molluschi filtratori	Policheti detritivori	Policheti detritivori	Necton carnivoro/detritivoro
Specie	<i>M. galloprovincialis</i>	<i>P. cultrifera</i>	<i>H. diversicolor</i>	<i>Z. ophiocephalus</i>
Pb ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.)	2.64 (1.08-4.27)	1.15 (0.69-1.49)	1.57 (1.32-2.14)	0.37 (0.03-0.76)
Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.)	2.57 (0.80-6.59)	0.43 (0.0004-0.8)	0.71 (0.5-1.07)	nd
Cr ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.)	1.16 (0.16-2.75)	0.2 (0.09-0.42)	0.4 (0.25-0.64)	0.42 (0.002-1.18)
Cu ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.)	7.10 (3.55-10.7)	37.05 (20.3-56.1)	43.05 (21.0-64.9)	1.20 (0.66-2.00)
Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.)	7.83 (4.68-11.8)	13.49 (7.89-20.7)	12.25 (8.33-20.7)	5.85 (1.36-14.42)
Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.)	215 (135-400)	156 (113-217)	237 (205-304)	19.30 (0.79-38.17)
Fe ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.)	161.48 (3.81-306)	342 (236-491)	441 (283-754)	10.18 (3.36-24.92)
^a sum PCB (ng g^{-1} p.s.)	102 (37-171)	43 (14-79)	237 (77-514)	42 (2-100)
Aroclor (1254+1260) (ng g^{-1} p.s.)	201 (54-379)	87 (21-204)	454 (132-1086)	89 (4-253)
^b sum IPA (ng g^{-1} p.s.)	170 (56-527)	77 (21-168)	80 (36-139)	21 (3-61)

NB - Poiché in *Z. ophiocephalus* il rapporto [conc. Inquinante] fegato/ [conc. Inquinante] filetto è di circa: 4 per gli IPA, 80 per i PCB e compreso tra 0.6 e 11.8 per i differenti metalli considerati (Fossato et al., 2000) è possibile ipotizzare le concentrazioni corporee per ciascun contaminante (filetto più il contributo calcolato dell'accumulo nel fegato). Alla luce di queste considerazioni può essere evidenziato un **probabile fenomeno di biomagnificazione** solamente per quanto riguarda i **PCB**.