

Comune di Viareggio

L

Piano Regolatore del Porto di Viareggio
STUDIO DEI SEDIMENTI DEL PORTO DI
VIAREGGIO

CENTRO INTERUNIVERSITARIO DI BIOLOGIA MARINA ED
ECOLOGIA APPLICATA “ GUIDO BACCI”

maggio 2007

INTRODUZIONE

Al fine di valutare l'eventuale impatto ecologico delle attività che dovrebbero interessare il Porto di Viareggio, si è ritenuto necessario eseguire le seguenti attività:

Nell'area del porticciolo della Madonnina e lungo il prolungamento di via Coppino, si è ritenuto opportuno associare alle tradizionali analisi chimiche e fisiche anche un'indagine ecotossicologica per valutare la pericolosità del materiale da movimentare. A tale scopo è stata impiegata una batteria di saggi biologici in grado di stimare sia la tossicità acuta che quella a lungo termine testando sia l'elutriato (che per il particolare processo di preparazione simula le condizioni che si verrebbero a creare nel caso di movimentazione) sia la matrice solida.

Per quanto riguarda la "Zona del Triangolo", poiché essa dovrà essere dragata per la realizzazione di un nuovo approdo, sono state eseguite le analisi delle caratteristiche fisiche, chimiche ed ecotossicologiche dei sedimenti.

Le analisi chimiche e fisiche (previste dal D.M. 24 gennaio 1996 relativo ai dragaggi portuali) sono state eseguite su un ristretto numero di campioni ma in modo da rappresentare uniformemente la superficie ed il volume da dragare. Lo studio così impostato permette anche di avere una conoscenza dell'eventuale contaminazione dei sedimenti che consenta di procedere nel modo migliore alla successiva caratterizzazione dei sedimenti ai fini del dragaggio.

Per l'intera area portuale è stata determinata, inoltre, la costituzione delle principali biocenosi bentoniche al fine di valutare il possibile impatto che le operazioni di dragaggio potrebbero avere sull'ecosistema nel suo insieme.

CAPITOLO 1 - CAMPIONAMENTO

I punti di campionamento sono stati scelti in modo da indagare uniformemente le aree interessate alla movimentazione del sedimento adottando un differente criterio di indagine stabilito sulla base della possibile destinazione finale del materiale così come descritto nell'introduzione.

Bacino della Madonna e prolungamento di Via Coppino

In queste due aree sono state ubicate due stazioni di campionamento (Fig. 1) caratterizzate sia da un punto di vista fisico-chimico che ecotossicologico secondo il seguente schema:

<i>Bacino della Madonna</i>		<i>Prolungamento Via Coppino</i>	
Campione	Tipologia analisi	Campione	Tipologia analisi
BM1	Saggi biologici	C1	Saggi biologici
BM2	Granulometria, Chimica, Saggi biologici	C2	Granulometria, Chimica, Saggi biologici

Per l'attività analitica, è stata considerata la porzione superficiale del sedimento (0 - 25 cm) prelevato mediante l'utilizzo di una benna Van Veen calata a mano.

Area Triangolino

In questa zona sono state ubicate tre stazioni (Fig. 2) e per ciascuna sono stati prelevati 2 campioni secondo il seguente schema:

Stazione	T1		T2		T3	
Sigla campione	T1a	T1b	T2a	T2b	T3a	T3b
Livello prelevato (cm)	0 - 50	150 - 200	0 - 50	100 - 150	0 - 50	150 - 200
Tipologia analisi	Saggi biol. Chimica Granul. Enterovirus	Chimica Granul.	Chimica Granul.	Saggi biol. Chimica Granul.	Chimica Granul. Enterovirus	Chimica Granul.

Poiché i sedimenti da dragare di questa zona sono ubicati prevalentemente in un'area emersa, il campionamento è stato eseguito a terra mediante l'ausilio di un escavatore meccanico. Il sedimento è stato campionato prelevandolo direttamente dal "cucchiaio" dell'escavatrice lungo uno spessore di 50 cm.

In entrambe le aree, il sedimento raccolto è stato trasferito in apposite bacinelle di acciaio inox, omogenizzato e quindi suddiviso in diverse aliquote per le analisi. La localizzazione esatta dei siti di campionamento è stata effettuata mediante riferimenti noti a terra.

In tutte le stazioni, inoltre, è stata eseguita la determinazione delle principali biocenosi bentoniche al fine di verificare l'eventuale impatto delle attività sugli organismi presenti nell'area portuale.

I campioni per le analisi chimiche sono stati conservati in contenitori di vetro mentre quelli per le analisi microbiologiche e virali, in contenitori sterili di polietilene. Sia i campioni per le analisi chimiche sia quelli per le analisi biologiche sono stati conservati a 4 °C ed analizzati entro 24 ore.

Il campionamento è stato effettuato il giorno 7 febbraio 2003

2.1 Granulometria

La determinazione delle caratteristiche granulometriche prevede tre fasi:

Fase 1: preparazione e trattamento del campione.

I campioni da analizzare sono stati sottoposti ad un trattamento con H₂O₂ a 16 vol. (1:7) per almeno 48h allo scopo di facilitare la separazione dei granuli e favorire la disgregazione del sedimento.

Fase 2: separazione della frazione sabbiosa da quella pelitica.

Ciascun campione è stato separato ad umido in due frazioni granulometriche con setaccio da 63 µm. Le due frazioni, dopo la disgregazione, sono state sottoposte a ripetuti lavaggi con acqua distillata per allontanare i cloruri ed altri elettroliti presenti. Il campione è stato quindi essiccato in stufa. Dalla frazione grossolana (> 63 µm) prima dell'analisi con i setacci, sono stati rimossi oltre ai resti vegetali i bioclasti di dimensioni superiori a quelli dei clasti terrigeni.

Fase 3: analisi delle frazioni ottenute.

La frazione sabbiosa compresa tra 2 mm e 63 µm è stata vagliata mediante setacci della serie ASTM con intervalli di 1ϕ ($\Phi = -\log_2$ della larghezza della maglia espressa in mm). Il sedimento corrispondente a ciascun intervallo è stato pesato ed al termine delle operazioni è stato calcolato il peso dell'intera frazione. Al termine è stata determinata la percentuale delle tre principali frazioni granulometriche: ghiaia (> 2 mm), sabbia e frazione fine (< 63 µm).

2.2 Caratteristiche chimiche

Sostanza organica, azoto totale e fosforo totale

La percentuale di sostanza organica è stata calcolata, in doppio, determinando la perdita di peso, di circa 10 g di sedimento, dopo essiccamento in muffola a 480 °C per 4,5 h.

Per la determinazione dell'azoto totale è stata seguita la metodica n° 19 del D.M. 11 maggio 1992: un'aliquota di circa 10-20 g di sedimento è stata sottoposta ad attacco a caldo a riflusso per 30' con acido solforico concentrato ed acqua ossigenata. L'azoto ammoniacale è stato distillato in ambiente alcalino ed assorbito in acido solforico a titolo noto; l'eccesso di acido solforico è stato successivamente titolato con idrossido di sodio.

Per la determinazione del fosforo totale (metodo n° 21 del D.M. 11 maggio 1992), il campione è stato mineralizzato a caldo a riflusso per 30' con acido solforico ed acqua ossigenata. I fosfati liberati sono stati determinati per via colorimetrica (Bleu fosfomolibdico).

Il limite di rilevabilità e la percentuale di recupero media rispetto al materiale certificato sono riportati in tabella 2.1.

Idrocarburi totali

Il dosaggio degli Idrocarburi totali non è stato attuato per via gravimetrica, come quanto riportato nel Quaderno IRSA n. 64 (1983): "Metodi analitici per i fanghi" Vol. I, bensì tramite spettrofotometria IR. È stata eseguita una estrazione con tetracloruro di carbonio seguita da una lettura ad infrarosso a lunghezza d'onda di 2927 cm^{-1} . Il limite di rilevabilità e la percentuale di recupero media rispetto al materiale certificato sono riportati in tabella 2.1.

Idrocarburi policiclici aromatici

È stata effettuata una estrazione con 18 g di terra di diatomee in presenza di acqua estratta con diclorometano sotto flusso di azoto.

La determinazione quantitativa è stata effettuata mediante GCMS (Gas Cromatografia con rivelatore a Spettrometria di Massa). Il limite di rilevabilità e la percentuale di recupero media del materiale certificato sono riportati in tabella 2.1.

Sostanze organoclorurate

Circa 10-20 g di sedimento sono stati estratti per dibattimento con miscela acetone/etere di petrolio (1:1); dopo aver aggiunto 40 ml di acqua estratta e 10 ml di soluzione satura di sodio solfato, l'estrazione è stata ripetuta 2 volte con 50 ml di etere di petrolio. L'estratto ottenuto è stato poi concentrato e il residuo sottoposto a trattamento per la rimozione dello zolfo. Il residuo dell'estrazione è stato ripreso in etere di petrolio e successivamente sono stati aggiunti 10 ml di soluzione reagente TBA-solfito e 5 ml di isopropanolo. Il preparato è stato dibattuto 2 volte con 50 ml di acqua estratta e dopo la separazione delle fasi, il surnatante è stato rimosso. Sono seguite 3 estrazioni con 10 ml di etere di petrolio ed infine gli eluati raccolti sono stati concentrati e ripresi con 1 ml di etere di petrolio. La colonna è stata eluita con una prima frazione di 40 ml di etere di petrolio (F1), poi con una seconda frazione di miscela esano/benzene/etile acetato (180 : 19 : 1) (F2). Le frazioni F1 e F2 sono state analizzate con un gascromatografo con rivelatore a cattura di elettroni (ECD). L'identificazione è stata effettuata per confronto con soluzioni standard nelle stesse condizioni, utilizzando colonne di diversa polarità e lunghezza. Il limite di rilevabilità del metodo e la percentuale di recupero è riportata in tabella 2.1.

Tabella 2.1. Limite di rilevabilità strumentale e percentuale di recupero.

Parametro	Limite Determinazione Analitica	Recupero (%)
Idrocarburi totali	0,002 (mg/kg)	87
IPA (singolo parametro)	0,002 (mg/kg)	70 - 80
Composti organoclorurati (singolo parametro)	0,1 (ng/g)	n.d.
PCB (singolo parametro)	0,1 (ng/g)	85

n.d. = non determinato

Metalli

Ogni campione (circa 0,4 g p.s.) è stato mineralizzato in doppio in forno a microonde, con aggiunta di HNO_3 (65 %), HCl (30 %) e HF (40 %) in due fasi successive. La determinazione analitica è stata

effettuata con ICP e per alcuni metalli con Spettrofotometro di Assorbimento Atomico (AAS) con fornello di grafite, eseguendo due misure per ogni campione. La determinazione dell'Hg totale è stata eseguita secondo la metodica dei vapori freddi (CVAAS) mediante riduzione con SnCl₂. Il limite di rilevabilità e la percentuale di recupero media rispetto al materiale certificato (PACS2) sono riportati in tabella 2.2.

Tab. 2.2. Limite di rilevabilità e percentuale di recupero.

Metallo	Limite Rilevabilità della metodica	PACS-2 (%)	MESS-3 (%)
Alluminio	0,1 (%)	96,3	109,5
Arsenico	0,03	-	102,6
Cadmio	0,001	102,4	-
Cromo	1,0	88,9	103,2
Mercurio	0,04	100,3	142,9
Nichel	0,5	101,0	105,7
Piombo	0,2	98,4	92,7
Rame	5,0	105,9	106,9
Zinco	1,0	99,8	101,7
Vanadio	1,0	94,9	96,8

Criterio di valutazione della contaminazione

Per la valutazione della contaminazione da metalli in tracce e inquinanti organici, sono stati presi in considerazione i seguenti limiti riportati in Pellegrini *et al.* 2002:

- PEL (Probable Effect Level), indicato come il livello di contaminazione oltre il quale si può avere un danno biologico;
- TEL (Treshold effect level), valore che potrebbe essere ritenuto vicino a quello di background e quindi normale, che viene preso come riferimento ai fini della movimentazione;
- LCB_s (Livello Chimico di Base), livello da considerare per le sabbie da impiegare per il ripascimento, che deriva anch'esso dal TEL.

2.3 Caratteristiche microbiologiche ed enterovirus

Le analisi sono state eseguite presso i laboratori ARPAL del Dipartimento Provinciale della Spezia seguendo le metodiche CNR - Istituto di Ricerca sulle Acque - indicate nel Quaderno IRSA n° 64: "Metodi analitici per i fanghi" Vol. 1 del 1983.

Enterovirus

Per la determinazione dei virus presenti in questi sedimenti sono state impiegate le tecniche biomolecolari. In particolare la Reverse Transcriptase - Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) (Carducci A. et al., 1997b, Abbaszadegan M. et al., 1999) che mediante l'estrazione dell'RNA virale può rilevare anche virus non coltivabili e di evitare fenomeni di interferenza virale. Con la PCR si determina un'amplificazione dell'RNA estratto e si procede con l'elettroforesi per la definizione del virus. Tuttavia, un risultato positivo ottenuto mediante la tecniche di estrazione degli acidi nucleici non indica necessariamente la presenza di una particella virale infettante, sebbene si possa considerare integra data la rapida degradazione dell'RNA nudo nell'ambiente.

Le analisi sono state affidate al Dipartimento di Virologia dell'Università di Pisa (Prof. Carducci).

2.4. Caratteristiche ecotossicologiche

Saggio biologico con *Paracentrotus lividus*

Il saggio biologico è basato sulla fecondazione delle uova da parte di gameti maschili esposti alla matrice da testare. Viene eseguita cioè l'esposizione di un numero definito di gameti maschili al campione da testare, dei quali poi si valuta l'efficienza della fecondazione espressa come percentuale di uova fecondate rispetto al controllo (effettuato in acqua di mare naturale filtrata).

In particolare, il saggio prevede l'esposizione dello sperma per 1 h alla matrice da testare, successivamente vengono aggiunte le uova e dopo 20' il test viene bloccato con l'aggiunta di formaldeide. Al termine della prova vengono conteggiate le uova fecondate e calcolata la percentuale di fertilizzazione.

Un ulteriore endpoint è lo sviluppo embrionale che consente di valutare la tossicità a lungo termine che, anche in presenza di una fecondazione normale, può causare uno sviluppo di larve deformi ed incapaci di sopravvivere. Questo endpoint si basa sul calcolo della percentuale di embrioni che raggiungono il normale stadio di pluteo dopo 48 h dalla fecondazione.

Preparazione dell'elutriato

L'elutriato è stato preparato miscelando sedimento e acqua di mare filtrata proveniente da aree marine non impattate in rapporto di 1:4 (d.wt.). Le sospensioni ottenute sono state poste in agitazione per 1 h a temperatura ambiente e centrifugate per 20' a 3000 rpm. Il test è stato effettuato sull'elutriato alle seguenti concentrazioni: 100 %, 50 %, 25 %, eseguendo per ogni campione tre repliche.

Procedimento del test

La zona di campionamento degli organismi è stata scelta accuratamente in modo da escludere aree con particolari fonti di inquinamento antropico. Dopo il prelievo gli organismi sono stati trasportati in laboratorio e mantenuti in un acquario refrigerato per alcuni giorni.

I gameti sono stati fatti espellere mediante l'iniezione di circa 0,5 ml di KCl 1M. I gameti maschili sono stati prelevati "a secco" mentre quelli femminili sono stati recuperati in acqua di mare. Prima di procedere all'esecuzione del test è stata valutata la qualità dei gameti: motilità e potere fecondante per lo sperma e forma, colore e fecondabilità per le uova. I gameti sono stati conteggiati ed opportunamente diluiti in modo da raggiungere un rapporto ottimale sperma-uovo di 15000:1 in ogni provetta.

Lo sperma è stato esposto a varie concentrazioni di elutriato per 60', dopodiché sono state aggiunte le uova; per la prova di fecondazione il test è stato bloccato con formaldeide 20' dopo l'aggiunta delle uova, mentre per lo studio dello sviluppo larvale è stato bloccato dopo circa 48 h cioè fino al raggiungimento del normale stadio di pluteo nel controllo.

Tutta la procedura del test, dalla conservazione degli animali, all'emissione dei gameti, all'esecuzione del saggio è stata condotta alla temperatura di 16-18 °C.

All'inizio del test sono stati monitorati i parametri chimico-fisici degli elutriati che possono influire negativamente sul risultato delle prove al fine di verificare se rientravano nel range di accettabilità:

- temperatura (16-18 °C);
- salinità (34-36 ‰);
- ossigeno disciolto (> 60 %);
- pH (7,8 ± 0,3);
- NH₄⁺ (0-1 mg/l).

Stima della tossicità

Al fine di considerare la percentuale di uova che nel controllo non vengono fecondate (test di fecondazione) o non arrivano a pluteo (test di sviluppo), è stata calcolata la "correzione di Abbott", mediante la seguente formula:

$$\text{Correzione Abbott} = \frac{X - Y}{100 - Y} \cdot 100$$

X = % di uova non fecondate (o embrioni non sviluppati a pluteo) nel campione da testare;

Y = % di uova non fecondate (o embrioni non sviluppati a pluteo) nel controllo.

Il giudizio sulla tossicità dei sedimenti è stato espresso sulla base del valore di EC20 calcolato con il metodo Lichtfield-Wilcoxon (Tabella 2.1).

Tabella 2.1 - Scala di tossicità per *P. lividus*

Tossicità acuta e cronica	Tossicità
$0 < EC20 \leq 25$	Molto alta
$25 < EC20 \leq 50$	Alta
$50 < EC20 \leq 75$	Media
$75 < EC20 \leq 100$	Bassa
$EC20 > 100$	Assente

Nella presente indagine il test è stato considerato accettabile quando è stata trovata una percentuale di fecondazione nel controllo negativo compresa tra 70 % e 90 %.

Saggio biologico con *Corophium orientale*

Questo saggio biologico, consiste nell'espore per un determinato periodo al sedimento tal quale un numero definito di organismi per valutarne l'eventuale mortalità. La durata del saggio è funzione del tipo di tossicità (a breve termine o a più lungo termine) da rilevare. In particolare si considera come tossicità a breve termine la mortalità degli organismi dopo 10 giorni di incubazione e come tossicità a più lungo termine la mortalità dopo 28 giorni.

Campionamento e selezione degli organismi

Gli anfipodi sono stati campionati setacciando il loro sedimento nativo ed immediatamente trasportati in laboratorio, dove sono stati selezionati per il saggio solo gli organismi appartenenti alla classe di taglia 2 - 4 mm. Scartando gli individui giovanili di piccola taglia e quelli di elevata lunghezza (adulti,

femmine ovigere) si utilizzano esemplari che presumibilmente presentano la stessa sensibilità alle sostanze tossiche. Gli anfipodi selezionati, sono stati trasferiti in un recipiente ed acclimatati alle seguenti condizioni di laboratorio:

- Temperatura = 16 ± 2 °C;
- Salinità = 3,6 ‰ (raggiunta gradualmente)
- Luce = continua;
- Ossigeno disciolto = > 60 %.

Sensibilità degli organismi

Per valutare la sensibilità degli organismi impiegati ai contaminanti, è stata calcolata la Concentrazione Letale al 50 % (LC50) cioè la concentrazione alla quale si verifica la morte del 50% degli individui. Il test è stato effettuato in beaker da litro con 500 cc di soluzione acquosa della sostanza di riferimento (CdCl_2) a diverse concentrazioni, immergendovi 20 individui per ogni beaker per 96 h. Alla fine delle 96 h per ogni concentrazione sono stati contati gli organismi e classificati come vivi o morti. Il valore di LC50 è stato calcolato con il metodo Trimmed Spearman-Kärber.

Procedura del saggio

Per l'allestimento dei saggi biologici sono stati messi circa 200 cc di sedimento da testare in beaker da litro con circa 750 cc di acqua di mare filtrata. Per ogni campione sono state allestite quattro repliche e in ogni beaker sono stati inseriti 25 individui. Il numero di anfipodi presenti in ogni beaker è stato verificato mediante un ulteriore conteggio.

All'inizio e al termine del test sono stati registrati i principali parametri chimico-fisici (pH, Temperatura, Salinità, Ione ammonio ed Ossigeno disciolto), al fine di assicurare la buona qualità del saggio biologico.

Alla fine del 10° giorno, il sedimento (da testare e di controllo) è stato setacciato per recuperare gli organismi che sono stati classificati come vivi o morti. Gli anfipodi sono stati considerati morti se dopo una leggera stimolazione non mostravano alcun movimento degli arti.

Analisi dei dati ed elaborazioni statistiche

Il saggio biologico è considerato valido quando la mortalità media nel sedimento di controllo è ≤ 15 % e la mortalità nella singola replica per l'intero periodo di esposizione è ≤ 20 %. La percentuale media (\pm la deviazione standard) degli anfipodi morti nel periodo di esposizione considerato, è stata calcolata sia nei sedimenti da testare sia nel sedimento di controllo. I dati di mortalità di ogni campione sono quindi confrontati con quelli del sedimento di controllo. Inizialmente i dati sono stati testati per verificare la distribuzione normale mediante il test di *Shapiro-Wilk*. Se la distribuzione risulta normale è stato applicato il test T di Student per verificare la significatività statistica ($p < 0,05$) della differenza tra gli organismi morti nel sedimento da testare e quelli morti nel sedimento di controllo. Prima di applicare il test T, è stata verificata l'omogeneità delle varianze per scegliere il tipo di test T più opportuno. Nel caso in cui i dati non seguono una distribuzione normale è stato impiegato il test non parametrico Wilcoxon's Rank Sum Test.

Criterio di valutazione della tossicità

La valutazione della tossicità è stata eseguita prendendo in considerazione due parametri:

1. la mortalità ritrovata nei campioni da testare corretta con la formula di Abbott in modo da considerare anche la mortalità "naturale" che si riscontra nel sedimento di controllo (Δm);
2. la differenza statistica ($p < 0,05$) fra il numero di individui morti nel sedimento da analizzare e quelli morti nel sedimento di controllo.

La scala adottata per la valutazione della tossicità è riportata in tabella 2.2.

Tabella 2.2 - Scala di tossicità relativa a *C. orientale*.

Giudizio Tossicità	
$\Delta m < 10$ $p \geq 0,05$	Assente
$\Delta m \leq 10$ $p < 0,05$ oppure $\Delta m \geq 10$ $p \geq 0,05$	Bassa
$10 < \Delta m \leq 20$ $p < 0,05$	Media
$20 < \Delta m \leq 40$ $p < 0,05$	Alta
$\Delta m > 40$ $p < 0,05$	Molto alta

Il valore numerico di Δm è stato stabilito sulla base dell'esperienza acquisita in questi anni. E' stata fissata cioè la soglia di $\Delta m = 10\%$ come valore discriminante della tossicità a breve. I valori successivi di Δm sono stati determinati secondo una scala geometrica.

Saggio biologico con *Vibrio fischeri*

Su ciascun campione sono stati applicati due diversi test (elutriato e fase solida), utilizzando acqua di mare sintetica al 3,3 % sia come controllo che diluente.

Preparazione dell'elutriato

Un'aliquota di sedimento è stata diluita con acqua marina artificiale, nelle proporzioni 1:4 (peso secco/volume) e tenuto in agitazione meccanica per un'ora. Successivamente il campione è stato centrifugato a 3500 rpm per 20 minuti in condizioni refrigerate, infine è stato recuperato il sovrantante ed utilizzato per i test.

Il saggio SPT (fase solida) è stato eseguito a partire da un'aliquota prelevata da un subcampione mantenuto in agitazione ottenuto miscelando 7 g di sedimento in 35 ml di diluente.

Il risultato del saggio viene espresso sia in TU (Unità Tossiche = $100/EC_{50}$) che consente di ottenere una relazione diretta fra tossicità e riduzione della bioluminescenza, sia come S.T.I. (Sediment Toxicity Index) che permette di esprimere la reale tossicità acuta del campione rispetto alla tossicità naturale di un sedimento di riferimento avente le medesime caratteristiche granulometriche.

Il giudizio qualitativo dei campioni è stato formulato adottando i criteri illustrati nelle tabelle 2.3 e 2.4.

Tabella 2.3 - Scala di tossicità adottata per l'elutriato e la fase solida.

Variab. Biolum. (%)	Test t (p)	LEGENDA	S.T.I.
$\Delta \leq 5$	Qualunque	Assente	$0 \leq STI \leq 1$
$5 < \Delta \leq 20$	$\leq 0,05$	Bassa	$1 < STI \leq 3$
$20 < \Delta \leq 40$	$\leq 0,05$	Media	$3 < STI \leq 6$
$40 < \Delta \leq 80$	$\leq 0,05$	Alta	$6 < STI \leq 12$
$\Delta > 80$	$\leq 0,05$	Molto alta	> 12

Criterio per la valutazione complessiva della tossicità a breve termine

Il criterio adottato rispetta il "principio di cautela", secondo il quale è sufficiente che un solo saggio biologico dia un responso positivo affinché complessivamente il sedimento considerato risulti tossico, anche se con diversa tossicità: bassa, media, alta o molto alta. E' stata considerata la seguente espressione (Pellegrini *et al.* 2001) che tiene conto dei valori di tossicità dei singoli saggi biologici:

$$Y = 0,374 \cdot \sum T_i$$

Y = valore di tossicità integrato relativo ai saggi utilizzati;

T_i = valore di tossicità espresso da ciascun saggio biologico.

Il giudizio di tossicità complessivo è riportato in tabella 2.4.

Tabella 2.4 - Valore di Y e giudizio di tossicità

VALORE DI Y	TOSSICITÀ
Y = 0	Assente
0 < Y ≤ 1	Bassa
1 < Y ≤ 2	Media
2 < Y ≤ 3	Alta
3 < Y < 6	Molto alta

CAPITOLO 3 - RISULTATI

3.1 - Granulometria

I risultati delle analisi granulometriche sono riportati in Tab. 3.1.1

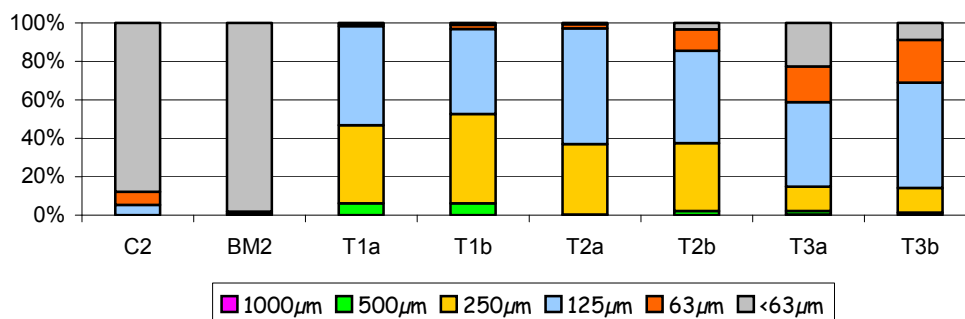
In tutti i campioni la componente sabbiosa è presente in percentuale elevata, ad eccezione dei campioni C2 e BM2 nei quali è rispettivamente il 12,11 % e l' 1,76 %, mentre la frazione fine è prevalente.

Tabella 3.1.1. Distribuzione granulometrica, percentuali di ghiaia sabbia e frazione pelitica.

Campione	2000 μm	sabbia	<63 μm
C2	0,00	12,11	87,89
BM2	0,00	1,76	98,24
T1a	0,00	99,56	0,44
T1b	0,00	99,04	0,96
T2a	0,00	99,37	0,63
T2b	0,00	96,74	3,26
T3a	0,00	77,38	22,62
T3b	0,00	91,16	8,84

In questi due campioni si nota anche una composizione granulometrica molto omogenea, mentre negli altri la frazione sabbiosa presenta una distribuzione di particelle di dimensioni comprese tra 500 e 63 μm (Fig. 3.1.2)

Figura 3.1.2 Distribuzione granulometrica e percentuali delle principali classi .



3.2 - Sostanza organica

In tabella 3.2.1 viene riportata la percentuale di sostanza organica di ciascun campione.

I campioni più ricchi sono quelli del bacino turistico della Madonnina e del prolungamento di via Coppino, che presentano anche la maggior percentuale di frazione pelitica.

Tabella 3.2.1 Percentuale di sostanza organica

Campione	Sostanza Organica (%)
T1a	0,7
T1b	0,8
T2a	0,7
T2b	1,7
T3a	2,4
T3b	2,3
BM2	11,3
C2	9,8

3.3 - Nutrienti

Le concentrazioni di azoto e fosforo sono riportate in Tab. 3.3.1

I campioni C2 e BM2 presentano le concentrazioni più elevate di azoto e fosforo. Nel campione BM2 la concentrazione di azoto risulta particolarmente alta e conferma la presenza di una consistente quantità di sostanza organica. Da mettere in evidenza che questi due campioni sono caratterizzati da granulometria fine che indica una bassa energia del fondale con assenza di rimescolamento e situazione di possibile anossia.

Lo spostamento verso i valori più alti del rapporto N/P conferma la prevalenza di azoto di origine organica e la scarsa ossigenazione dei sedimenti.

Tabella. 3.3.1 Concentrazioni di azoto e fosforo.

Campione	Azoto mg/Kg ss	Fosforo mg/Kg ss	Rapporto N/P
T1a	244	168	1,5
T1b	175	164	1,1
T2a	210	180	1,2
T2b	308	276	1,1
T3a	684	244	2,8
T3b	490	250	2,0
BM2	1888	588	3,2
C2	712	289	2,5

3.4. Metalli

In tabella 3.4.1 sono riportate le concentrazioni dei metalli pesanti (mg/Kg s.s.).

Tabella 3.4.1 Concentrazioni dei metalli pesanti.

Campione	Al (%)	As	Cd	Cu	Ni	Hg	Cr	Pb	Zn
T1a	4,1	6,0	0,07	7,1	39,8	0,03	66,1	13,8	36,8
T1b	3,8	6,6	0,08	8,0	42,7	n.r.	52,0	14,7	39,5
T2a	4,7	6,3	0,07	10,7	42,0	0,03	57,0	17,4	53,3
T2b	3,0	9,0	0,08	18,6	48,6	0,04	66,6	17,9	75,9
T3a	5,0	7,3	0,13	26,8	58,5	0,07	106,6	22,7	75,7
T3b	3,2	6,4	0,08	14,0	57,0	0,08	78,8	16,6	58,6
BM2	6,0	8,7	0,27	117,6	75,7	0,27	139,7	37,9	257,6
C2	6,8	10,4	0,23	113,2	93,4	0,27	175,0	42,6	319,9

Area Triangolino

I valori delle concentrazioni sono inferiori al Livello Chimico di Base per sabbie destinate al ripascimento in tutti i campioni ad eccezione del T2b per quanto riguarda Cu, Ni e Zn, e del campione T3a relativamente a Cd, Cu, Ni, Cr e Zn.

Bacino della Madonnina e prolugamento di via Coppino

Nei due campioni analizzati, la maggior parte dei metalli supera il valore di TEL e Cu e Zn superano anche il valore di PEL.

La maggiore concentrazione trovata nei sedimenti delle due aree, è sicuramente dovuta all'elevata percentuale di frazione pelitica che gli conferisce una capacità di adsorbimento superiore rispetto ai campioni dell'area del Triangolino, anche a causa della maggiore superficie complessiva delle particelle.

3.5. Idrocarburi

Le concentrazioni degli idrocarburi $C<12$ e $C>12$ (Tab. 3.5.1) risultano generalmente piuttosto basse rispetto a quelle di altre aree portuali. Si nota che il campione C2 presenta una concentrazione di idrocarburi pesanti abbastanza elevata e superiore al limite riportato nella colonna A del D. M. 471/99.

Tabella 3.5.1. Idrocarburi

Campione	Idrocarburi totali	Idrocarburi C<12	Idrocarburi C>12
	mg/Kg ss	mg/Kg ss	mg/Kg ss
T1a	22,39	0,054	22,336
T1b	19,36	0,030	19,330
T2a	15,89	0,007	15,883
T2b	24,92	0,013	24,907
T3a	19,75	0,045	19,705
T3b	19,85	0,040	19,810
C2	70,39	0,165	70,225
39,197			

3.6. Idrocarburi Policiclici Aromatici

Le concentrazioni degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) sono riportate in tabella 3.6.1. Gli IPA analizzati nella presente indagine sono quelli riportati nelle Linee Guida Canadesi (LCG) per la protezione della vita acquatica (CCME, 2001), ad eccezione di acenaftalene e del naftene, mentre manca la determinazione del naftalene. Nella tabella, i valori che superano i limiti di LCBs sono indicati con un asterisco (*), mentre quelli che superano i limiti del TEL sono indicati con due asterischi (**).

Area del Triangolino

Nessun composto supera il PEL ed ugualmente nessuno degli IPA totali supera né il TEL né i LCBs. Prendendo in considerazione i singoli idrocarburi, il Fenantrene ha un valore che supera il TEL nel campione T3b, la concentrazione di Antracene supera il TEL nei campioni T1b, T2b e T3b, mentre quella di Pirene lo supera nel campione T3b. Risulta evidente che le concentrazioni più alte sono presenti nello strato più profondo.

Bacino della Madonna e prolugamento di via Coppino

Anche in queste due aree nessun composto ha una concentrazione superiore al PEL ed ugualmente nessuno degli IPA totali supera il TEL ad eccezione del Pirene nel campione BM2.

Tabella 3.6.1. Idrocarburi Policiclici Aromatici.

Campioni	<u>Naftene</u>	<u>Acenaftalene</u>	<u>Acenaftene</u>	<u>Flurene</u>	<u>Fenantrene</u>	Antracene	<u>Flurantene</u>	<u>Pirene</u>	B(a)Antracene	<u>Crisene</u>	<u>B(k)Fluorantene</u>	<u>B(b)Fluorantene</u>	<u>B(a)Pirene</u>	<u>I(1,2,3-c,d)Pirene</u>	<u>D. B. (a, h)Antrace ne</u>	<u>B(g,h,i) Perilene</u>	IPA TOTALI
T1a	<0,002	<0,002	<0,002	0,004	0,010	<0,002	<0,002	0,012	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,037	<0,002	<0,002	<0,002	0,063
T1b	<0,002	<0,002	<0,002	0,008	0,012	0,044	<0,002	0,019	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,039	<0,002	<0,002	<0,002	0,122
T2a	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,014	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,026	<0,002	<0,002	<0,002	0,040
T2b	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,039*	0,007	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,029	<0,002	<0,002	<0,002	0,075
T3a	<0,002	<0,002	<0,002	0,004	0,071*	0,006	0,016	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,016	<0,002	<0,002	<0,002	0,113
T3b	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,078**	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,076*	<0,002	<0,002	<0,002	0,154
C2	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,005	0,015	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,012	<0,002	<0,002	<0,002	0,032
B.M.2	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,034	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,075*	<0,002	<0,002	<0,002	0,109

3.8. Policlorobifenili

Nelle Tabelle 3.8.1 e 3.8.2 sono riportate rispettivamente le concentrazioni di tutti i Policlorobifenili (PCB) analizzati e quelle dei cogeneri previsti nel quadro minimo dei parametri da considerare per il materiale da movimentare (ICRAM 2002). Per la valutazione di questi dati si fa riferimento ai valori di TEL e PEL canadesi che si riferiscono esclusivamente alla somma dei cogeneri riportati in tabella 3.8.2.

Tabella 3.8.1. Policlorobifenili (ng/g p.s.).

Campione	T1a	T1b	T2a	T2b	T3a	T3b	C2	BM2
C28	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C31	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C52	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,19	0,10	<0,1	<0,1
C77	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C99	0,22	<0,1	<0,1	<0,1	1,13	<0,1	1,60	0,50
C101	0,57	<0,1	<0,1	<0,1	3,24	<0,1	2,86	1,54
C105	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C118	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,93	0,15	3,57	2,14
C126	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C128	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C138	1,05	<0,1	0,22	<0,1	3,79	0,40	5,58	2,87
C153	0,64	<0,1	0,04	<0,1	3,77	0,26	3,64	2,10
C157	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C169	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,11	<0,1	<0,1	<0,1
C170	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C180	0,15	<0,1	0,01	<0,1	1,45	<0,1	2,16	0,58
C187	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,62	<0,1	0,77	<0,1
Pcb totali	2,63	0,00	0,27	0,00	20,23	0,91	20,18	9,73

Area del Triangolo

I campioni T1a e T3a contrassegnati da un asterisco, superano il valore di TEL che è stato proposto come livello chimico di base per i sedimenti da movimentare (1 ng/g). Questi campioni non risultano

pertanto idonei al ripascimento superando il valore limite previsto. E' opportuno rilevare che il campione T3a presenta una concentrazione di PCB totali particolarmente elevata.

Per quanto riguarda gli altri cogeneri analizzati (Tab. 4.3.4) le concentrazioni sono basse o addirittura inferiori al limite di rilevabilità.

Bacino della Madonnina e prolugamento di via Coppino

Entrambi i campioni non superano il valore di PEL (189 ng/g p.s.) ma oltrepassano il valore di TEL. In particolare il campione C2 presenta una concentrazione di PCB totali molto elevata. Anche per queste due aree gli altri cogeneri analizzati (Tab. 4.3.4) hanno concentrazioni basse o inferiori al limite di rilevabilità.

Tabella 3.8.2. Policlorobifenili (ng/g s.s.) previsti nel quadro minimo dei parametri da considerare per il materiale da movimentare (ICRAM 2002)

Campione	C28	C52	C101	C118	C138	C153	C170	C180	PCB totali
T1a	<0,1	<0,1	0,57	<0,1	1,05	0,64	<0,1	0,15	2,41*
T1b	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,00
T2a	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,22	0,04	<0,1	0,01	0,27
T2b	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,00
T3a	<0,1	3,19	3,24	2,93	3,79	3,77	<0,1	1,45	18,37*
T3b	<0,1	0,10	<0,1	0,15	0,40	0,26	<0,1	<0,1	0,91
C2	<0,1	<0,1	2,86	3,57	5,58	3,64	<0,1	2,16	17,81*
BM2	<0,1	<0,1	1,54	2,14	2,87	2,10	<0,1	0,58	9,23*

3.9. Analisi microbiologica.

Dall'analisi microbiologica dei sedimenti (Tabella 3.9.1) emerge la presenza di contaminazione fecale solo per quanto riguarda i campioni C2 e BM2. In questi campioni, la presenza di spore di clostridi denuncia uno stato di carenza di ossigeno emersa anche dall'analisi dei nutrienti e del rapporto tra azoto e fosforo (Tab. 3.3.1).

Valori bassi di Coliformi totali e spore di clostridio si riscontrano nel campione T1b, mentre nei campioni T2a e T3a sono presenti solo spore di clostridio.

Tabella 3.9.1. Analisi microbiologica.

Campione	Coliformi totali UFC/g	Coliformi fecali UFC/g	Streptococchi fecali UFC/g	Spore Clostridi s.r. UFC/g	Salmonella 25/g
T1a	<10	<10	<10	<10	assente
T1b	10	<10	<10	10	assente
T2a	<10	<10	<10	20	assente
T2b	<10	<10	<10	<10	assente
T3a	<10	<10	<10	10	assente
T3b	<10	<10	<10	<10	assente
C2	40	10	200	450	assente
BM2	110	<10	430	2800	assente

3.10. Enterovirus

L'analisi degli Enterovirus (Tab. 3.10.1) è risultata negativa.

Tabella 3.10.1. Analisi degli Enterovirus

Campione	ANALISI BIOMOLECOLARE DIRETTA (RT-PCR)
T1b	Negativa per la presenza del genoma di enterovirus
T3a	Negativa per la presenza del genoma di enterovirus

3.11. Saggio biologico con *Paracentrotus lividus*

I gameti impiegati per testare i campioni hanno mostrato una EC50 nei confronti del rame pari a 19,48 µg/l, concentrazione che si colloca nel range di accettabilità per l'esecuzione del test (17,37 - 21,85).

I parametri chimico-fisici di controllo sono rientrati tutti nei limiti di accettabilità previsti dal saggio biologico.

I dati relativi alla fecondazione sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 3.11. Saggio biologico con *Paracentrotus lividus*

Campione	Conc. (%)	Uova fec.			Media fec. (%)	Media non fec. (%)	Correzione Abbott	EC20 (%)
Controllo	-	86	86	88	86,7	13,3	0,0	
	100	12	10	8	10,0	90,0	88,5	
BM1	50	65	70	68	67,7	32,3	21,9	34,2
	25	72	75	77	74,7	25,3	13,8	
BM2	100	37	39	30	35,3	64,7	59,2	
	50	71	74	72	72,3	27,7	16,5	48,4
	25	82	84	81	82,3	17,7	5,0	
C1	100	38	42	41	40,3	59,7	53,5	
	50	68	68	70	68,7	31,3	20,8	40,8
	25	76	78	78	77,3	22,7	10,8	
C2	100	12	10	9	10,3	89,7	88,1	
	50	58	62	60	60,0	40,0	30,8	31,5
	25	70	76	74	73,3	26,7	15,4	
T1a	100	70	71	72	71,0	29,0	18,1	
	50	85	82	82	83,0	17,0	4,2	117,1
	25	86	85	85	85,3	14,7	1,5	
T2b	100	31	30	31	30,7	69,3	64,6	
	50	73	73	75	73,7	26,3	15,0	45,4
	25	78	83	81	80,7	19,3	6,9	

In tutti i campioni è presente un'elevata tossicità ad esclusione del campione T1a che invece presenta assenza di tossicità.

3.12. Saggio biologico con *Corophium orientale*

I parametri chimico-fisici di controllo riportati di seguito rientrano tutti nei limiti di accettabilità del saggio biologico.

Tabella 3.12.1 Parametri chimico-fisici di controllo

campione	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH₄ (mg/l)	O₂ (%)
Cont.	17,2	3,8	8,47	0,5	105,6
BM1	17,1	3,8	8,84	0,5	104,7
BM2	17,6	3,8	8,86	n.r.	104,1
C1	17,3	3,7	8,81	0,5	103,2
C2	17,4	3,7	8,86	n.r.	106,2
T1a	17,5	3,8	8,81	n.r.	107,0
T2b	16,9	3,7	8,81	n.r.	102,1

Il valore di LC50 è pari a 2,16 (1,53 - 3,03) mg/l che rientra nei valori medi ritrovati per questa popolazione, evidenziando una buona sensibilità degli organismi.

I risultati ottenuti con *C. orientale* a breve termine cioè dopo 10 giorni di esposizione al sedimento sono riportati in tabella 3.12.2. Tutti i campioni mostrano assenza di tossicità a breve termine ad eccezione del C2 che viene classificato con tossicità bassa.

Tabella 3.12.2. Saggio biologico con *Corophium orientale* a 10 giorni

Campione	N° ind. morti				Mortalità media (%)	Correzione Abbott	test F (p)	test T (p)	Tossicità
Riferimento	0	0	2	2	4 ± 4,6	0,0	1,0000	1,0000	
BM1	2	2	1	0	5 ± 3,8	1,0	0,7656	0,7502	assente
BM2	3	2	3	2	10 ± 2,3	6,3	0,2848	0,0591	assente
C1	0	5	2	2	9 ± 8,2	5,2	0,3665	0,3308	assente
C2	5	6	2	2	15 ± 8,2	11,5	0,3665	0,0588	bassa
T1a	2	2	1	2	7 ± 2,0	3,1	0,2026	0,2782	assente
T2b	2	1	1	5	9 ± 7,6	5,2	0,4384	0,3026	assente

In tabella 3.12.2. si riportano i risultati del saggio biologico a lungo termine, cioè dopo 28 giorni di esposizione.

Mentre, come si è detto, nel breve periodo (10 giorni) si osserva una generale assenza di tossicità dei sedimenti ad eccezione del C2 che presenta bassa tossicità, a lungo termine si riscontra una tossicità bassa nei campioni C1 e T1a, una media tossicità nei campioni C2, BM1 e T2b mentre nel campione BM2 si ha una tossicità alta.

Tabella 3.12.2. Saggio biologico con *Corophium orientale* a 28 giorni

Campione	N° ind. morti				Mortalità media (%)	Correzione Abbott	test F (p)	test T (p)	Tossicità
Riferimento	1	0	3	3	7 ± 6,0	0,0	1,0000	1,0000	
BM1	6	7	8	3	24 ± 8,6	18,3	0,5644	0,0179	media
BM2	9	6	4	8	27 ± 8,9	21,5	0,5374	0,0097	alta
C1	1	4	13	0	18 ± 23,7	11,8	0,0495	0,4270	bassa
C2	4	4	4	7	19 ± 6,0	12,9	1,0000	0,0300	media
T1a	4	8	3	3	18 ± 9,5	11,8	0,4681	0,0984	bassa
T2b	4	4	5	5	18 ± 2,3	11,8	0,1511	0,0141	media

3.13. Saggio biologico con *Vibrio fischeri*

Si riportano nelle tabelle 3.13.1a e 3.13.1b i risultati del saggio biologico eseguito sull'elutriato e in tabella 3.13.2 i dati relativi al test eseguito sulla fase solida.

Tabella 3.13.1a - Risultati del saggio *V. fischeri* relativi all'elutriato

Camp.	Incubazione: 5'				Incubazione: 15'			
	Δ biol. (%)	Limiti di conf. al 95%	T	p	Δ biol. (%)	Limiti di conf. al 95%	t	p
BM1	-1,52	-6,06 - 3,01	-3,639	0,007	1,90	-2,01 - 5,81	-1,374	0,207
BM2	2,87	-1,21 - 6,96	2,676	0,028	14,68	11,19 - 18,17	15,357	<0,001
C1	-1,12	-3,90 - 1,67	-1,791	0,111	3,50	1,61 - 5,39	5,683	<0,001
C2	3,47	0,57 - 6,38	2,026	0,077	6,48	4,67 - 8,29	9,260	<0,001
T1a	-0,35	-3,08 - 2,39	1,239	0,251	-2,15	-5,21 - 0,92	-0,871	0,409
T2b	-1,04	-4,74 - 2,66	-0,801	0,446	-2,35	-4,75 - 0,04	3,222	0,012

Tabella 3.13.1b - Risultati del saggio *V. fischeri* relativi all'elutriato

Campione	Δ bioluminesc. media (%)	Tossicità
BM1	0,19 ± 2,42	assente
BM2	8,78 ± 8,35	bassa
C1	1,19 ± 3,26	assente
C2	4,98 ± 2,13	assente
T1a	-1,25 ± 1,27	assente
T2b	-1,70 ± 0,93	assente

Tabella 3.13.2 Risultati del saggio *V. fischeri* relativi alla fase solida

Camp.	Sabbia < 1mm (%)	Pelite (%)	Tox Naturale (TU)	Soglia Tox Stimata (TU)	Tox Misurata (TU)	Range di conf. al 95% (TU)	R ² (%)	S.T. I.	TOX
BM1	1,76	98,24	268	343	1081	870 - 1341	98,82	3,15	media
BM2	1,76	98,24	268	343	1879	1206 - 2925	96,19	5,47	media
C1	12,11	87,89	240	307	1744	1653 - 1840	99,92	5,68	media
C2	12,11	87,89	240	307	708	626 - 800	99,43	2,30	bassa
T1a	99,56	0,44	1	2	7	3 - 19	83,56	3,84	media
T2b	96,74	3,26	9	12	5	1 - 20	91,24	0,43	assente

Il saggio biologico con *V. fischeri* applicato all'elutriato mostra una generale assenza di tossicità e quindi non evidenzia la presenza di composti facilmente rilasciabili nell'ambiente acquoso. Diversa è la situazione per quanto riguarda la tossicità del sedimento privato dell'acqua interstiziale, si osserva infatti, che per la quasi totalità dei campioni esso presenta una tossicità media ad eccezione dei campioni C2 e T2b che hanno invece una tossicità bassa e assente rispettivamente. Dal saggio con *V. fischeri* si può ipotizzare che i contaminanti presenti nei sedimenti siano adesi alla matrice e che l'azione meccanica della loro movimentazione non dovrebbe essere sufficiente a liberare gli inquinanti nell'ambiente circostante.

3.14. Valutazione sintetica della tossicità acuta

Sulla base dei risultati dei singoli saggi biologici si riporta in tab. 3.14.1 una valutazione complessiva della tossicità acuta espressa dalla batteria di saggi biologici impiegati.

Tabella 3.14.1 una valutazione complessiva della tossicità

Campione	<i>P. lividus</i>	<i>C. orientale</i>	<i>V. fischeri</i> (elutriato)	<i>V. fischeri</i> (fase solida)	Tossicità complessiva
BM1	3	0	0	2	1,87
BM2	3	0	1	2	2,24
C1	3	0	0	2	1,87
C2	3	1	0	1	1,87
T1a	0	0	0	2	0,75
T2b	3	0	0	0	1,12

L'indagine ecotossicologica evidenzia in generale una discreta tossicità acuta dei sedimenti analizzati. Si osserva, in particolare che i sedimenti antistanti l'area della banchina della Madonnina e lungo il

prolungamento di via Coppino manifestano una tossicità medio-alta mentre nell'area del Triangolino si osserva che una tossicità evidente (classificata come media) è presente nel campione T2b mentre il campione T1a mostra una bassa tossicità. E' da rilevare, inoltre, che in questi due campioni la tossicità è manifestata da un solo saggio biologico. Vale a dire che su quattro saggi impiegati, solo uno è risultato con evidente tossicità mentre gli altri tre non mostrano alcun effetto.

Considerazioni conclusive

Dai risultati dell'indagine emerge quanto segue:

Area del Triangolo

1. In tutti i campioni la componente sabbiosa è presente in percentuale molto elevata ad eccezione del campione T3a che contiene il 22,62 % di frazione fine.
2. Le concentrazioni dei metalli sono inferiori al Livello Chimico di Base per sabbie destinate al ripascimento in tutti i campioni ad eccezione del T2b per quanto riguarda Cu, Ni e Zn, e del campione T3a relativamente a Cd, Cu, Ni, Cr e Zn.
3. Le concentrazioni degli idrocarburi ($C<12$ e $C>12$) risultano generalmente piuttosto basse.
4. Per quanto riguarda gli IPA, il valore di TEL è superato dal Fenantrene nel campione T3b, dall'Antracene nei campioni T1b, T2b e T3b, e dal Pirene nel campione T3b. E' da notare che le concentrazioni più alte sono presenti nello strato più profondo.
5. I pesticidi presentano concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità.
6. I campioni T1a e T3a presentano valori di PCB totali superiori al TEL con una concentrazione particolarmente elevata nel campione T3a.
7. L'analisi microbiologica non evidenzia una contaminazione fecale né da enterovirus.
8. L'indagine ecotossicologica evidenzia una tossicità media per il campione T2b e bassa per il T1a. E' da rilevare, comunque, che la tossicità è manifestata da un solo saggio biologico su quattro impiegati.

Bacino della Madonnina e prolugamento di via Coppino

1. L'analisi granulometrica indica una prevalenza rilevante di frazione fine.
2. I due campioni sono ricchi di sostanza organica e di azoto e fosforo.
3. Nei due campioni analizzati, la maggior parte dei metalli supera il valore di TEL e Cu e Zn superano anche il valore di PEL.
4. Il campione C2 presenta una concentrazione di idrocarburi pesanti abbastanza elevata e superiore al limite riportato nella colonna A del D. M. 471/99.
5. Le concentrazioni degli IPA totali non superano il TEL anche se il Pirene nel campione BM2 supera il proprio valore di TEL.
6. I pesticidi presentano concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità.
7. Per i PCB, entrambi i campioni non superano il valore di PEL (189 ng/g p.s.) ma oltrepassano il valore di TEL. In particolare il campione C2 presenta una concentrazione di PCB totali molto elevata.
8. L'analisi microbiologica evidenzia una lieve contaminazione fecale e presenza di spore di clostridi che denunciano carenza di ossigeno.
9. L'indagine ecotossicologica evidenzia una discreta tossicità medio-alta dei sedimenti.

Lo studio delle biocenosi rileva che in tutta l'area non sono presenti specie di particolare interesse scientifico o naturalistico e che, quindi, la movimentazione dei fondali, pur comportando una probabile variazione nella distribuzione dei popolamenti, non dovrebbe modificare l'ecosistema in modo significativo.

In conclusione per quanto riguarda l'area del Triangolino si ritiene che i sedimenti possano essere riutilizzati per ripascimento solo dopo adeguate operazioni che prevedano una separazione meccanica della frazione fine per i campioni T2b e T3a per ridurre la contaminazione da metalli ed un trattamento per ridurre la contaminazione da IPA nei campioni profondi e da PCB in quelli superficiali. Per quanto riguarda la movimentazione di questi sedimenti, visti i loro livelli di contaminazione, si ritiene che possa essere sufficiente adottare i normali accorgimenti di natura prudenziale.

Per quanto concerne la movimentazione dei sedimenti del Bacino della Madonna e del prolugamento di via Coppino si suggerisce di adottare opportune misure cautelative (ad es. dragaggio meccanico, utilizzo di "barriere" ecc.) atte a ridurre la dispersione del materiale particolato e dei contaminanti ad esso associati per mitigarne gli effetti sull'ambiente circostante. In considerazione, inoltre, della granulometria particolarmente fine dei sedimenti, si consiglia di eseguire un monitoraggio in corso d'opera allo scopo di ottimizzare le misure cautelative adottate e un monitoraggio successivo per verificare l'eventuale trasporto dei contaminanti fuori dal porto.