

DERIVAZIONE DEI VALORI CHIMICI DI RIFERIMENTO L1 E L2 LOCALI

- Fulvio Onorati (a), David Pellegrini (b), Chiara Maggi (a), Enrico Bressan (c), Katia Crovatto (d)
- (a) *Centro Nazionale per la Rete dei Laboratori, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma;*
- (b) *Sezione sperimentale per la valutazione del rischio ecologico in aree marino costiere, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Livorno*
- (c) *Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia, Palmanova (Ud)*
- (d) *Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Trieste*

Introduzione

Disporre di valori chimici di riferimento da utilizzare come termine di raffronto è sempre stata una necessità ai fini della valutazione della qualità dei sedimenti e per la conseguente gestione ambientalmente compatibile, nonché una questione dirimente sul piano giuridico.

Tralasciando per il momento le problematiche analitiche in generale e quelle connesse alla speciazione chimica dei metalli in particolare, nonché le questioni legate alla determinazione della frazione bioaccessibile e biodisponibile dei contaminanti e alla loro bioaccumulabilità, la comunità scientifica internazionale riconosce due percorsi distinti per derivare i valori chimici di riferimento: quello basato sul cosiddetto “fondo naturale” e quello fondato sugli effetti biologici.

I valori di fondo naturale, indipendentemente dalla tossicità intrinseca degli elementi, individuano dei valori di riferimento che garantiscono l'assenza di effetti biologici anche a lungo termine nei riguardi della stragrande maggioranza degli organismi che compongono le comunità acquatiche.

La “separazione” del contributo antropico da quello naturale è stato oggetto di numerosi e importanti studi, connessi spesso alla individuazione delle province geochemiche.

I metalli ed elementi in tracce sono costitutivi della crosta terrestre e dei sedimenti, da essa derivati principalmente per fenomeni erosivi, mentre i composti organici di sintesi, essendo appunto di origine antropica, per definizione presentano un fondo naturale nullo.

Il Manuale SNPA 170/17 (Romano *et al.*, 2017), definisce valore di fondo:

“quel valore che permette di distinguere tra le concentrazioni di metalli ed elementi in tracce nei sedimenti marini esclusivamente a carattere naturale da quelle influenzate da impatto antropico.”

In tal senso, profili di concentrazione di metalli ed elementi in tracce in carote indisturbate di sedimento possono essere utilizzati per ricostruire entità e cronologia dell'apporto antropico in aree marino-costiere, attraverso il confronto tra livelli contaminati con quelli depositi anteriormente all'impatto antropico; questi ultimi, essendo caratterizzati da un apporto esclusivamente naturale, sono idonei a definirne la variabilità naturale e il relativo valore di background per ciascun elemento (Siegel *et al.*, 1994; Ligerio *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2010; Bábek *et al.*, 2015).

Di particolare utilità risulta pertanto la datazione basata sul decadimento radioattivo di alcuni radionuclidi aventi breve periodo di dimezzamento (^{210}Pb , ^{137}Cs) che offrono la migliore risoluzione temporale per questi obiettivi.

Decisamente più complesso appare lo sviluppo di criteri per l'individuazione di valori chimici di riferimento su base ecotossicologica, essendo i contaminanti nell'ambiente marino presenti quasi sempre in miscele complesse; per cui l'eventuale effetto biologico misurato è la risultante dell'azione combinata di tutti i contaminanti e della loro interazione dinamica con l'ambiente, risultante talmente complessa e variabile da poter essere affrontata solo in termini probabilistici, sulla base di importanti *data-set* chimico-ecotossicologici.

Negli ultimi decenni sono stati sviluppati numerosi *Sediment Quality Standard* (SQG) basati su database chimici ed ecotossicologici ricavati da diversi approcci sia empirici che teorici.

Tra questi merita un riferimento specifico il "Consensus based". Nell'approccio basato sul consenso la derivazione dei valori di SQG avviene attraverso una procedura sequenziale di raccolta e analisi dei dati disponibili per ciascuna sostanza chimica.

Tutti i dati raccolti vengono valutati criticamente in funzione della comprensibilità delle procedure di derivazione dei valori adottati dallo specifico metodo, del grado di correlazione dei dati di concentrazione con gli effetti biologici misurati per le specie bentoniche, dell'originalità dell'approccio stesso (Crane *et al.*, 2000).

I valori di SQG che soddisfano i sopracitati criteri di selezione sono raggruppati in due classi di valori (Swartz, 1999) basati sul consenso: le *Threshold Effect Concentrations* (TEC) (concentrazioni di effetto soglia) e le *Probable Effect Concentrations* (PEC) (concentrazioni di probabile effetto). I valori di TEC rappresentano le concentrazioni di uno specifico contaminante al di sotto delle quali sono raramente attesi effetti negativi sugli organismi bentonici, mentre le PEC indicano le concentrazioni di ogni sostanza al di sopra delle quali effetti biologici nocivi sono frequentemente o sempre attesi (MacDonald *et al.*, 1996; Swartz, 1999). Dopo la suddivisione in classi, i valori numerici delle TEC e PEC sono ricavati dalla media geometrica di tutti i valori classificati rispettivamente nella prima e seconda categoria.

In questo modo sono stati calcolati valori di TEC o PEC per ogni sostanza per la quale fossero disponibili in letteratura almeno tre o più valori di riferimento (MacDonald *et al.*, 2000).

I valori di SQG basati sul consenso, in virtù del metodo con cui vengono derivati, sono considerati valori affidabili, poiché costituiscono una sintesi di valori già esistenti riportati da studi scientifici e tengono conto degli effetti della compresenza di miscele di contaminanti nei sedimenti (Swartz, 1999; MacDonald *et al.*, 2000).

L'approccio basato sul consenso, incorporando i criteri numerici derivati da vari metodi, incluso l'equilibrio di ripartizione (EqP) e i metodi *Weight Of Evidence* (WOE), evidenzia i vantaggi e le limitazioni di tutte queste metodiche e i valori risultati sono da considerarsi dei parametri di sintesi unificanti dei dati pubblicati di SQG (MacDonald *et al.*, 2000).

Analogamente anche nei valori di PEC e TEC ricavati con l'approccio sopra descritto si riflettono i limiti e le debolezze di ogni approccio utilizzato per ricavare i valori di SQG (Tabella 1). Non da ultimo occorre considerare che tali valori seppur statisticamente robusti sono stati derivati utilizzando informazioni ecotossicologiche appartenenti a organismi la cui distribuzione geografica raramente comprende il Mar Mediterraneo; piuttosto si tratta di specie rappresentative di realtà ecologiche degli ambienti costieri oceanici del Nord America. Anche le caratteristiche geochemiche dei sedimenti sono piuttosto diverse e non caratterizzate da quella eterogeneità quantitativa e spaziale che contraddistingue i sedimenti costieri italiani. Il Livello Chimico L1 recepito all'interno del DM 173/2016 è la concentrazione di una determinata sostanza presente nella matrice sedimentaria, in miscela con altri eventuali contaminanti, in corrispondenza della quale sono attesi generici effetti tossici e di bioaccumulo con scarsa probabilità.

A livello locale, $L1_{loc}$ per ciascuna sostanza si identifica con il 90° percentile della distribuzione di dati giudicati "non tossici" (*Hazard Quotient*, $HQ < 1$).

Tabella 1. Quadro riepilogativo dei criteri dei principali SQG riconosciuti a livello internazionale

Denominazione SQG	Acronimo	Descrizione
Threshold Effect Concentration		
<i>Lowest Effect Level</i>	LEL	I sedimenti sono classificati da non contaminati a marginalmente contaminati. Nessun effetto sulla maggioranza degli organismi bentonici è atteso al di sotto di questo valore (Persaud <i>et al.</i> , 1993).
<i>Threshold Effect Level</i>	TEL	Rappresenta la concentrazione al di sotto della quale effetti avversi sono attesi solo raramente (MacDonald, 1994).
<i>Effects Range Low</i>	ERL	Rappresenta la concentrazione chimica al di sotto della quale effetti avversi sarebbero raramente osservati (NOAA, 1999).
<i>Threshold Effect Level (test con Hyalella Azteca)</i>	TEL-HA28	Rappresenta la concentrazione al di sotto della quale effetti avversi per la sopravvivenza o la crescita dell'amfipode <i>Hyalella Azteca</i> sono attesi raramente (mediante test condotti per 28 giorni) (US EPA, 1996).
<i>Minimal Effect Threshold</i>	MET	I sedimenti sono classificati da non contaminati a marginalmente contaminati. Nessun effetto sulla maggioranza (85%) degli organismi bentonici è atteso al di sotto di questo valore (EC e MENVIQ, 1992).
<i>Chronic Equilibrium Threshold</i>	CET	Rappresenta la concentrazione nei sedimenti che produce una concentrazione nell'acqua interstiziale inferiore a un criterio di qualità delle acque cronico. (Zarba, 1992; US EPA, 1997).
Probable Effect Concentration		
<i>Severe Effect Level</i>	SEL	I sedimenti sono classificati significativamente contaminati. Effetti avversi sono attesi sulla maggioranza degli organismi bentonici al di sopra di questo valore (Persaud <i>et al.</i> , 1993).
<i>Probable Effects Level</i>	PEL	Rappresenta la concentrazione al di sopra della quale effetti avversi sono attesi frequentemente (MacDonald <i>et al.</i> 1994).
<i>Effects Range Median</i>	ERM	Rappresenta la concentrazione chimica al di sopra della quale effetti avversi sarebbero frequentemente osservati (NOAA, 1999).
<i>Probable Effects Level (test con Hyalella Azteca)</i>	PEL-HA28	Rappresenta la concentrazione al di sopra della quale effetti avversi per la sopravvivenza o la crescita dell'amfipode <i>Hyalella Azteca</i> sono attesi frequentemente (mediante test condotti per 28 giorni) (USEPA, 1996).
<i>Toxic Effect Threshold</i>	TET	I sedimenti sono classificati significativamente contaminati. Effetti avversi sono attesi sulla maggioranza (90%) degli organismi bentonici al di sopra di questo valore (EC e MENVIQ, 1992).

Livelli chimici di riferimento L1 e L2 dell'Allegato Tecnico al DM 173/2016

Di fronte al complesso quadro tecnico-scientifico e all'esigenza di tutelare anche la salute umana, il tavolo tecnico istituito dall'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) che coinvolgeva tecnici dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS), nonché di diverse Agenzie Regionali convenne di adottare un approccio piuttosto cautelativo nella individuazione di valori chimici di riferimento per la valutazione della qualità dei sedimenti ai fini di una gestione ambientalmente compatibile.

Tale approccio è scaturito negli attuali livelli di riferimento L1 e L2 dell'Allegato tecnico al DM 173/2016, che incrociano diverse fonti e criteri, come dettagliato in Tabella 2.

Tabella 2. Livelli chimici di riferimento vigenti e loro origine ai sensi del DM 173/2016

Parametro	L1	L2
Elementi in tracce	[mg/kg] ps	
Arsenico	12 ¹	20 ⁶
Cadmio	0,3 ¹	0,80 ⁴
Cromo	50 ¹	150 ⁴
Cr VI	2 ¹	2 ¹
Rame	40 ²	52 ⁴
Mercurio	0,3 ¹	0,80 ⁴
Nichel	30 ⁷	75 ⁴
Piombo	30 ¹	70 ⁴
Zinco	100 ²	150 ⁴
Contaminanti organici	[µg kg-1] ps	
Composti organostannici	52	725
Σ PCB	8 ¹	60 ⁶
Σ DDD	0,8 ¹	7,8 ⁵
Σ DDE	1,8 ¹	3,7 ⁵
Σ DDT	1,0 ¹	4,8 ⁵
Clordano	2,3 ³	4,8 ⁵
Aldrin	0,2 ¹	10 ⁶
Dieldrin	0,7 ¹	4,3 ⁵
Endrin	2,7 ³	10 ⁶
α-HCH	0,2 ¹	10 ⁶
β-HCH	0,2 ¹	10 ⁶
γ-HCH (Lindano)	0,2 ¹	1,0 ⁵
Eptacloro epossido	0,6 ³	2,7 ⁵
HCB	0,4 ¹	50 ⁵
Idrocarburi C>12	Non disponibile	50000 ⁶
Σ IPA (16 congeneri)	900 ³	4000 ⁵
Antracene	24 ¹	245 ⁵
Benzo[a]antracene	75 ³	500 ⁶
Benzo[a]pirene	30 ¹	100 ⁶
Benzo[b]fluorantene	40 ¹	500 ⁶
Benzo[k]fluorantene	20 ¹	500 ⁶
Benzo[g,h,i]perilene	55 ¹	100 ⁶
Crisene	108 ³	846 ⁵
Indenopirene	70 ¹	100
Fenantrene	87 ³	544 ⁵
Fluorene	21 ³	144 ⁵
Fluorantene	110 ¹	1494 ⁵
Naftalene	35 ¹	391 ⁵
Pirene	153 ³	1398 ⁵
TE PCDD,PCDF(Diossine e Furani) e PCB diossina simili	2 x 10 ⁻³ (1)	1 x 10 ⁻² (6)

1. Standard di Qualità Ambientale (SQA) per sedimenti marini di cui al DL.vo 172/2015; 2. Livello Chimico di Base (LCB) di cui al manuale APAT-ICRAM (2007), ovvero 90° percentile del Set dati marini non tossici (derivato dal LEL di Persoud *et al.*, 1989); 3. Livello Chimico di Base (LCB) di cui al manuale APAT-ICRAM (2007), ovvero 90% del Threshold Effect Level (TEL) di letteratura (MacDonald *et al.*, 2002); 4. Livello Chimico Limite (LCL) basato su dati sperimentali di cui al manuale APAT-ICRAM (2007), ovvero *Probable Effect Level* (PEL) secondo la procedura di McDonald *et al.*, 1996; 5. Livello Chimico Limite (LCL) basato su dati di letteratura di cui al manuale APAT-ICRAM (2007), ovvero *Probable Effect Level* (PEL) secondo la procedura di McDonald *et al.*, 1996; 6. Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC), colonna A Tabella 1 Allegato Parta IV, Titolo V, DL.vo 152/2016 (verde pubblico); 7. Ex DM 367/2004; ps: peso secco

Tale approccio cautelativo spiega il motivo per cui molti valori di riferimento appartenenti al livello L1 derivino direttamente dagli SQA di cui al DL.vo 172/2015.

Così come quest'ultimo disposto prevede la facoltà di assumere SQA diversi dai valori nazionali in presenza di anomalie geochimiche o comunque di valori di fondo naturale più elevati, purché dimostrati scientificamente, anche il DM 173/2016 (paragrafo 2.4.2 dell'Allegato Tecnico) prevede di assumere valori chimici di riferimento diversi dai valori nazionali L1 e L2:

“I valori di riferimento L1 relativi agli elementi in tracce possono essere sostituiti su base locale dai valori corrispondenti al cosiddetto fondo naturale e inseriti nei piani di gestione dei bacini idrografici”. In alternativa, i valori di riferimento L1 per la totalità dei parametri chimici possono altresì essere sostituiti su base locale ($L1_{loc}$) secondo quanto riportato nell'Appendice 2D”.

Nel caso in cui il valore di $L1_{loc}$ calcolato per un “elemento in tracce” risulti uguale o superiore al valore di L2 nazionale, dovrà essere stabilito dall'Autorità competente al rilascio, sulla base delle indagini del sistema nazionale delle agenzie e con il supporto degli Enti scientifici nazionali (ISPRA, ISS, Consiglio Nazionale delle Ricerche-CNR), un valore di L2 “locale”, seguendo il medesimo criterio utilizzato per il calcolo dell'L2 nazionale”.

A tal fine l'Appendice 2D fornisce una dettagliata procedura per l'individuazione dei Livelli L1 a livello locale, basata sull'integrazione di dati di 3 linee di evidenza: chimica, ecotossicologia e bioaccumulo.

Studio della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

L'attività di determinazione dei Livelli Chimici di riferimento locali nell'arco costiero della Regione Friuli Venezia Giulia (FVG) è stata richiesta dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente ARPA-FVG e dalla Direzione Centrale Ambiente della Regione, la quale ha inserito tale tematica tra i “Focus” per la programmazione di ARPA nel DGR 2563 del 23 dicembre 2016, “Approvazione delle linee di indirizzo per la programmazione 2017-2019 di ARPA-FVG”; tale indicazione è stata quindi recepita nel “Programma annuale 2017 e programma pluriennale 2017-2019 dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del FVG” di cui al Decreto del Direttore Generale 173 del 30 dicembre 2016 e declinata nel “Budget per l'anno 2017” di cui al Decreto del Direttore Generale 70 del 17 maggio 2017.

Nell'ambito delle attività “Focus 21” (Parte 2), l'ARPA-FVG con il supporto di ISPRA ha quindi formulato e attuato nel 2017 uno specifico progetto dal titolo “Supporto alla Regione nell'iter applicativo del nuovo DM attuativo dell'art. 109 del TUA e nella determinazione dei valori di riferimento locali”. Si tratta del primo progetto appositamente realizzato per individuare valori chimici di riferimento locali, in sostituzione degli L1 nazionali, utilizzando l'approccio di cui all'Appendice 2D dell'Allegato tecnico del DM 173/2016, nell'intento di affrontare in particolare le problematiche connesse alle elevate concentrazioni di mercurio nei sedimenti costieri della Regione.

Le fasi principali in cui è stata suddivisa l'attività sono state:

1. prelievo di 120 campioni lungo l'areale costiero, distribuiti in maniera rappresentativa della variabilità dei contaminanti, sulla base delle conoscenze pregresse, comprese quelle derivanti dal monitoraggio effettuato ai sensi della Direttiva 2000/60;
2. analisi ecotossicologiche su tutti i campioni con una batteria di saggi biologici costituita da *Aliivibrio fischeri* (su fase solida) per la 1^a tipologia, *Pheodactylum tricorutum* (su fase liquida) per la 2^a tipologia e *Crassostrea gigas* (su fase liquida) per la 3^a tipologia;

3. selezione di circa 40 campioni privi di pericolo ecotossicologico ($HQ < 1$) e di circa 40 campioni con presenza di pericolo ecotossicologico ($HQ > 1$) su cui eseguire le analisi chimiche;
4. selezione ulteriore di circa 20 campioni di sedimento privi di pericolo ecotossicologico su cui eseguire le prove di bioaccumulo con il polichete *Hediste diversicolor* per quei parametri per i quali determinare il valore $L1_{loc}$;
5. coinvolgimento di ISPRA, per il supporto nella stima dei valori chimici di riferimento.

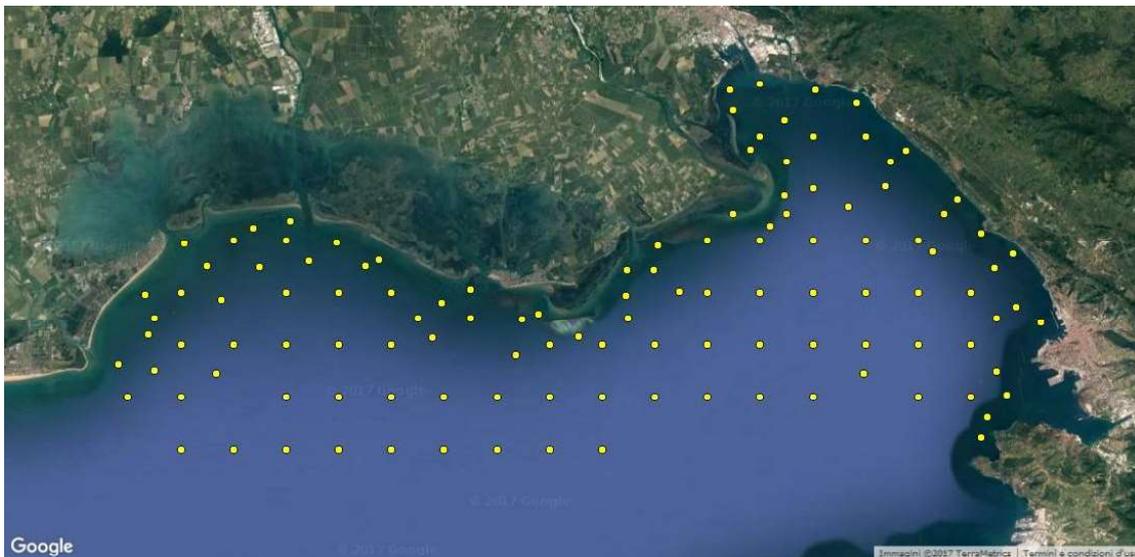


Figura 1. Ubicazione dei 120 punti di campionamento iniziali (Fonte: dati originali ARPA-FVG sovrapposti su mappa GoogleEarth – Maps Data: Google, @2017 TerraMetrics)

In funzione delle analisi chimiche su 37 campioni privi di pericolo ecotossicologico e della loro elaborazione statistica secondo quanto previsto dall'Appendice 2D dell'Allegato Tecnico del DM 173/2016, sono stati selezionati i parametri chimici da monitorare per la stima del bioaccumulo sui tessuti liofilizzati del polichete esposto in laboratorio ai sedimenti.

I parametri che sono stati ricercati nei tessuti del polichete sono: As, Cr_{tot} , Hg, Ni, Pb, Zn, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene.

I risultati dei test ecotossicologici sono stati elaborati con il tool applicativo SediquaSoft 109.0[®], messo a disposizione da ISPRA, al fine di determinare il pericolo ecotossicologico (HQ) di ciascun campione e la relativa classe di pericolo secondo i criteri di integrazione ponderata previsti dal DM 173/2016.

I risultati delle analisi chimiche sui campioni aventi pericolo ecotossicologico assente ($HQ < 1$) sono stati utilizzati per la determinazione dei Livelli Chimici locali ($L1_{loc}$); in particolare, per ciascun parametro analizzato (e presente nella Tabella 2.5 dell'Allegato Tecnico del DM 173/2016), è stato calcolato il 90° percentile della distribuzione dei risultati chimici.

I valori chimici $< LOQ$ sono stati sostituiti con la metà del limite stesso, in analogia a quanto previsto per l'applicazione degli standard di qualità ambientale dei corpi idrici (cfr. p.to 13 del paragrafo A.2.8 dell'Allegato 1, DL.vo 172/2015).

Le elaborazioni delle risultanze ottenute hanno condotto ai valori di riferimento $L1_{loc}$ di cui alla Tabella 3.

Tabella 3. $L1_{loc}$ - 90° percentile dei dati privi di pericolo ecotossicologico (HQ < 1)

Sostanza	90° percentile dati privi di pericolo ecotossicologico
Elementi in tracce	mg/kg
Arsenico	13,84
Cadmio	0,21
Cromo	96,4
Rame	28,4
Mercurio	9,83
Nichel	68,8
Piombo	37,8
Zinco	115,8
Contaminanti organici	µg/kg
Composti organostannici	0,5
Σ PCB	5,4
Σ DDD	0,36
Σ DDE	0,24
Σ DDT	0,28
Σ IPA(16 congeneri)	355
Benzo[a]antracene	36
Benzo[a]pirene	41
Benzo[b]fluorantene	53
Benzo[k]fluorantene	27
Benzo[g,h,i]perilene	42
Crisene	39
Indenopirene	43
Pirene	64

Le successive analisi di bioaccumulo su 18 campioni hanno collocato n. 16 campioni in classe di pericolo di bioaccumulo “Slight”, in conformità ai requisiti previsti dalla procedura di cui all’Appendice 2D dell’Allegato Tecnico del DM 173/2016 “(...) almeno 15 campioni con bioaccumulo ricadente nella classe «Absent» o «Slight», secondo quanto riportato nell’Appendice 2 E”.

Considerazioni specifiche riguardo al parametro mercurio

Dallo studio condotto è emerso, nel caso del mercurio, un valore $L1_{loc}$ decisamente superiore al valore di $L2$ stabilito a livello nazionale dall’allegato tecnico, e le analisi statistiche dei dati disponibili rispetto alla batteria di saggi biologici utilizzata non hanno evidenziato differenze attribuibili al mercurio tra la popolazione dei campioni tossici e quella dei non tossici.

Analogamente, per ciò che concerne le analisi del bioaccumulo, la concentrazione tissutale media di Hg negli individui di *H. diversicolor* al termine del periodo espositivo è risultata del tutto paragonabile (considerando l’incertezza analitica e la variabilità biologica degli organismi) a quella degli individui di controllo precedente all’esposizione. Sotto il profilo ambientale, tali dati sono confrontabili anche con le risultanze supplementari su *Chamelea* spp. (anni 2006-2017)

messe a disposizione dalla Direzione centrale ambiente ed energia della Regione Friuli Venezia Giulia (FVG) e prodotte da ARPA-FVG.

In casi come questo, ovvero quando il valore di $L1_{loc}$ supera il valore di L2 nazionale, il DM 173/2016 prevede il coinvolgimento degli Enti scientifici nazionali (ISPRA, CNR e ISS) per l'individuazione di valori di L2 locale. Coerentemente con la norma, la Direzione Centrale Ambiente ed Energia della Regione FVG ha quindi chiesto agli enti scientifici deputati un supporto istituzionale alla individuazione degli L2 locali. Si è avviata così una collaborazione tra ISS, CNR e ISPRA che, attraverso interlocuzioni, riunioni, esami di dati supplementari e pareri ufficiali, hanno convenuto ad alcune importanti considerazioni preliminari.

Sotto il profilo ambientale, considerando la peculiare situazione geochemica locale caratterizzata da elevate concentrazioni di Hg totale il cui equilibrio chimico con la frazione biodisponibile-bioaccessibile risulta tutt'altro che costante e difficilmente determinabile (considerata anche la scarsa disponibilità di metodologie analitiche standardizzate), la specifica batteria di saggi utilizzata si è rivelata non in grado di discriminare gli effetti biologici della presenza di mercurio nei sedimenti. Analogamente il polichete *H. diversicolor*, che non è annoverata tra le specie indicate per la stima del bioaccumulo ai sensi della Direttiva 2000/60 (successivi recepimenti), non ha risentito di una esposizione protratta di 28 gg ai sedimenti costieri con le concentrazioni di Hg che caratterizzano l'area di studio.

D'altro canto, i dati di bioaccumulo di Hg su pesci e altri prodotti della pesca riferiti agli anni 2010-2012, (resi disponibili da ARPA) presentano valori sensibilmente più alti di quelli riscontrati nelle vongole e di cui circa un terzo evidenzia concentrazioni di mercurio superiori al limite sanitario del Regolamento 1881/2006.

Stante quanto sopra, in relazione alla pericolosità ambientale dell'elemento, definito contaminante Pericoloso Prioritario ai sensi della Decisione 2455/2001/EU e della Direttiva 2008/105/CE, tutti gli Istituti scientifici coinvolti nel supporto, hanno suggerito in via cautelativa di non applicare al momento tale valore locale, poiché il caso specifico necessita di ulteriori approfondimenti, soprattutto sotto il profilo sanitario.

Bibliografia

- APAT-ICRAM (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici; Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare). *Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini*. Roma: APAT-ICRAM; 2007. Disponibile all'indirizzo: <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00006700/6770-manuale-apat-icram-2007.pdf/>; ultima consultazione 20 giugno 2022
- Bábek O, Grygar TM, Faměra M, Hron K, Nováková T, Sedláček J. Geochemical background in polluted river sediments: How to separate the effects of sediment provenance and grain size with statistical rigour? *Catena* 2015;135:240-53.
- Crane JL, MacDonald DD, Ingersoll CG, Smorong DE, Lindskoog RA, Severn CG, Berger TA, Field LJ. 2000. *Development of a framework for evaluating numerical sediment quality targets and sediment contamination in the St. Louis River area of concern*. Washington, DC: US Environmental Protection Agency; 2000.
- Ligero RA, Barrera M, Casas-Ruiz M, Sales D, López-Aguayo F. Dating of marine sediments and time evolution of heavy metal concentrations in the Bay of Ca'diz, Spain. *Environmental Pollution* 2002;118:97-108.
- Liu E, Shen J, Yang L, Zhang E, Meng X, Wang J. Assessment of heavy metal contamination in the sediments of Nansihu Lake Catchment, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 2010;161:217-27.

- MacDonald DD, Carr RS, Calder FD, Long ER, Ingersoll C. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology* 1996;5:253-78.
- MacDonald DD, Ingersoll CG, Berger TA. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2000;39:20-31.
- Persaud D, Jaagumagi R, Hayton A. Development of provincial sediment quality guidelines. Water resources branch. Toronto, ON: Ministry of the Environment; 1989. p.19.
- Romano E, Bergamin L, Canepa M, Maggi C, Ausili A, Bergamin L, Pierfranceschi G, Venti F, Finoia MG, Salmeri A, Croudace IW. *Definizione delle province geochemiche a mare e dei relativi valori di fondo nei sedimenti marini*. Roma: ISPRA; 2017. (Manuali e Linee Guida 170/2017). Disponibile all'indirizzo: https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2018/05/MLG_170_17_Province_geochemiche2.pdf; ultima consultazione 20 giugno 2022.
- Siegel FR, Slaboda M, Stanley DJ. Metal pollution loading, Manzalah Lagoon, Egypt: implications for aquaculture. *Environmental Geology* 1994;32:89-98.
- Swartz RC. Consensus sediment quality guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures. *Environmental Toxicology and Chemistry* 1999;18:780-87.
- Wang S, Cao Z, Lan D, Zheng Z, Li G. Concentration distribution and assessment of several heavy metals in sediments of west-four Pearl River Estuary. *Environmental Geology* 2008;55:963-75.