

Il Mar Piccolo di Taranto: elaborazione di un modello concettuale finalizzato alla bonifica/messa in sicurezza del bacino

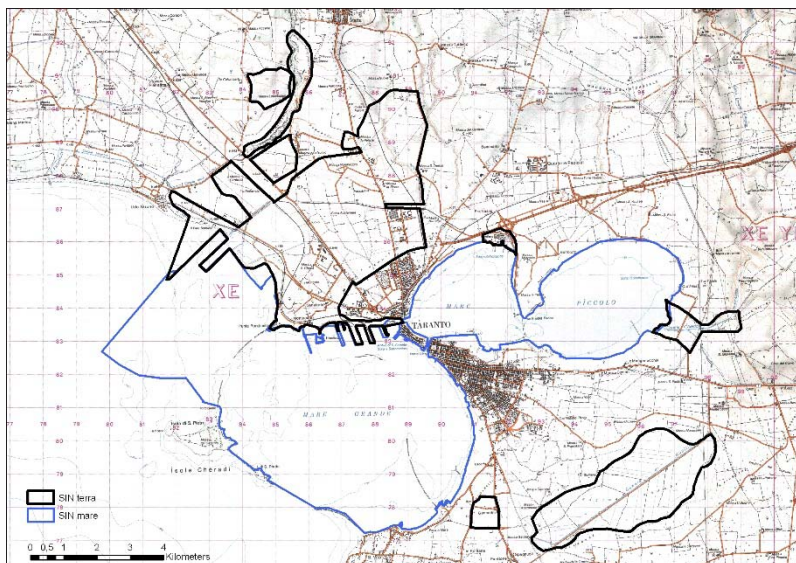
Nicola Ungaro¹, Giuseppe Trinchera¹⁻², Massimo Blonda¹, Domenico Gramegna¹, Mina Lacarbonara¹, Silvia Di Cunsolo¹, Roberta Renna¹

¹ARPA Puglia - ²ISPRA



SITO DI BONIFICA INTERESSE NAZIONALE DI TARANTO (D.M. 10 gennaio 2000)

Perimetrato “a terra” e “a mare”, inserito nel Programma Nazionale di Bonifica e di Ripristino Ambientale (D.M. 18 settembre 2001 n. 468).



CRITICITÀ AMBIENTALI

- ❑ complesso industriale che ha prodotto, nel corso degli anni, emissioni di contaminanti di varia natura (inorganica ed organica);
- ❑ attività militari, portuali, della cantieristica navale, scarichi, ecc., che contribuiscono a incrementare lo stato di compromissione ambientale.



Le situazioni di contaminazione/inquinamento risultano:

- ubiquitarie e diffuse su tutta l'area di Taranto;
- coinvolgono tutte le matrici ambientali (aria, suolo, acque, sedimenti, biota);
- sono sia di tipo “storico” sia “attuale”.

In particolare, per i **due bacini del Mar Piccolo (1° e 2° Seno)** sono state condotte **due attività istituzionali**, a larga scala, **di caratterizzazione dei sedimenti**:

- **“Area 170 ha”** (all’interno del 1° Seno). Nel 2005 nella zona antistante l’Arsenale della Marina Militare (a cura del Commissario Delegato per l’emergenza rifiuti in Puglia);
- **“Mar Piccolo”** (ad esclusione dell’“Area 170 ha”). Nel 2010 nell’area coperta dalla perimetrazione del SIN (a cura del Commissario Delegato per l’Emergenza Ambientale in Puglia).

Le attività di caratterizzazione dei sedimenti **hanno evidenziato, rispetto ai «Limiti di Intervento» sito-specifici stabiliti da ICRAM-ISPRA** e a quelli indicati alla **colonna B della Tabella 1 all’All. 5 – Titolo V del D.Lgs. 152/2006**:

- Per l’**“Area 170 ha”**, **una estesa e rilevante contaminazione da contaminanti organici (PCB) e metalli pesanti** (Arsenico e Mercurio);
- Per il **“Mar Piccolo”** (ad esclusione dell’“Area 170 ha” precedentemente caratterizzata), **una generalizzata contaminazione da metalli** (Mercurio, Zinco, Rame e Piombo), **meno evidente da composti organici (PCB e IPA), prevalentemente riferita al 1° Seno.**

Altri elementi di criticità per l’area del Mar Piccolo – 1° Seno:

- **Superamenti** dei “Tenori Massimi” e dei “Livelli di Azione” (previsti dal Regolamento CE 1881/2006 e dalla Raccomandazione CE 6 febbraio 2006) per le **concentrazioni-TEQ di PCB Dioxin like nei mitili** allevati nel bacino (2010-2011);
- Report sulla **“Contaminazione da policlorobifenili (PCB) nel Mar Piccolo di Taranto”** (rif. Documento Regione Puglia del 2011), che ha confermato le criticità nel il 1° Seno per la presenza di PCB.



“Protocollo di intesa per interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione di Taranto” (26 luglio 2012)

Convenzione Commissario Straordinario per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione di Taranto ed ARPA Puglia (maggio 2013) per la realizzazione del progetto:

Il Mar Piccolo di Taranto: approfondimento tecnico-scientifico sulle interazioni tra il sistema ambientale ed i flussi di contaminanti da fonti primarie e secondarie – Elaborazione di un modello concettuale sito-specifico (Conceptual Site Model)

“PROGRAMMA DI LAVORO”

approfondimenti e studi specialistici, per completare ed integrare il quadro conoscitivo ecologico – ambientale del sito, con particolare riferimento al 1° Seno del Mar Piccolo, a supporto della definizione delle ipotesi e strategie di intervento (bonifica e/o messa in sicurezza), compresa l’ipotesi “0”, ovvero il monitoraggio dell’*evoluzione naturale* del sistema ambientale in assenza di fonti di contaminazioni attive.

Nota: la durata del progetto era stabilita in 9 mesi partire dalla firma della Convenzione, la relazione finale è stata consegnata in data 30/05/2014.



Tre Istituti del CNR (IRSA, IRPI, IAMC)



CONISMA
(U.O Università di Bari e di Milano-Bicocca)



Dipartimento di Ingegneria Civile,
Ambientale, del Territorio, Edile e di
Chimica del Politecnico di Bari

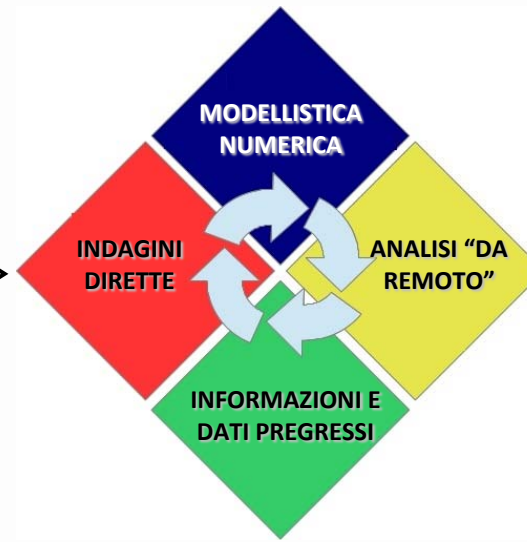
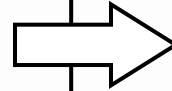


RICERCA, SITI INQUINATI E SISTEMA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

WORKSHOP • ROMA 29-30 gennaio 2015

QUADRO AMBIENTALE

Geologia
Geomorfologia
Batimetria
Biocenosi
Idrografia superficiale
Andamento falda (Profonda e Superficiale)
Circolazione delle acque
Caratteristiche geotecniche dei sedimenti
Qualità (stato chimico) dei sedimenti



FONTI DI CONTAMINAZIONE

Primarie
Apporti terrigeni
Secondarie
Sedimenti contaminati

VIE DI TRASPORTO

Falda
Deflusso superficiale
Erodibilità
Trasporto solido dei sedimenti

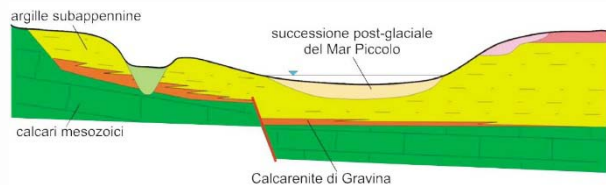
BERSAGLI

Molluschi bivalvi
Ecosistema

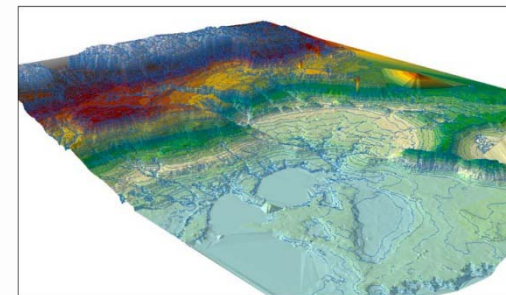
Valutazione degli impatti associati
("rischio") per l'ecosistema acquatico



**SCENARI DI BONIFICA (E MESSA IN SICUREZZA) DEI SEDIMENTI
CONTAMINATI DALLE AREE CRITICHE PRIORITARIE**



Quadro ambientale



- Geologia
- Geomorfologia
- Batimetria
- Biocenosi

- Idrografia superficiale

- Andamento falda
 - Profonda
 - Superficiale

- Circolazione delle acque

- Caratteristiche geotecniche dei sedimenti

- Qualità (stato chimico) dei sedimenti

MODELLO GEO-MORFO-STRATIGRAFICO

RILIEVO GEOFISICO DEI FONDALI (SINGLEBEAM/MULTIBEAM; SIDE SCAN SONAR; SUB BOTTOM PROFILER)

MAPPATURA BIOCENOTICA DEI FONDALI (ROV E TELECAMERA SUBACQUEA)

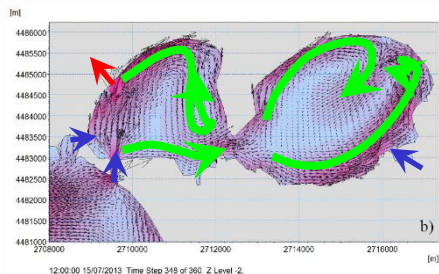
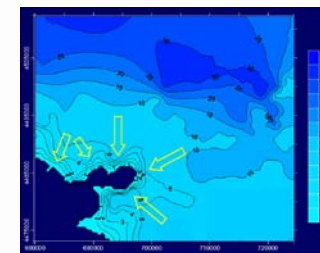
RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE

CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA E CORPI IDRICI SOTTERRANEI

MODELLO DI CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE DEL MAR PICCOLO

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI FONDALI

QUALITA' DEI SEDIMENTI



Quadro ambientale

- **Carattere erosivo** del bacino;
- **Carattere fluviale relitto** di entrambi i Seni ed immissione di importanti flussi idrici da parte dei principali immissari in corrispondenza degli eventi meteorologici più importati (ad es. alluvione del 15 ottobre 1883);
- **Sedimentazione olocenica** (recente) negli ultimi 10 ka si attesterebbe **1 mm/anno** (media).

- **Depositi Olocenici** tra 0.5 m e gli 11 m (età antropica 5 m);
- **Depositi alluvionali recenti** tra 1 m e 20 m;
- **Depositi marini terrazzati** (affioranti in settori marginali) tra 5 m e 30 m;
- **Argille subappenniniche** da 10 m a 65 m;
- **Calcareniti di Gravina** con spessori inferiori ai 2-3 m;
- **Calcari mesozoici** dai -20 m ai -80 m di profondità, decrescenti verso il Golfo di Taranto.

- **Sorgenti/citri**: fratturazione corpo carbonatico e possibilità che il carico idrostatico possa aprire nuove vie di flusso;
- **Instabilità dei versanti** delle depressioni dei citri e delle **falesie**; attivazione di movimenti gravitativi (ondazioni anomale).

- Estrema **dinamicità dei fondali** data dalle caratteristiche geologiche e stratigrafiche del substrato e dalla variabilità delle emissioni di acqua dolce dai “citri” (fenomeni di intensa risalita d’acqua in pressione).

- **Eteropia orizzontale del fondale** (curve granulometriche);
- **la percentuale di argilla** (componente delle Argille azzurre risedimentate) **aumenta con la profondità** (dai 11 12 m di fondale) e si riduce quella di sabbia, mentre il limo si mantiene costante;
- **I Bioclasti** (con dimensioni maggiori di 1 mm) sono un **elemento di disomogeneità** della matrice argillosa-limosa, incidendo sulla regolarità dell’andamento della compressione e sulla resistenza al taglio (caratteristiche meccaniche);
- **I parametri geotecnici** (contenuto d’acqua naturale, indice dei vuoti, indice di plasticità, indice di liquidità, ecc.) **evidenzerebbero un comportamento “fluido” del materiale**; la consistenza plastica e fluido-plastica potrebbe dipendere dalle caratteristiche chimiche del fluido interstiziale (mix di acqua di mare, sostanze organiche, contaminanti, ecc.);
- **La composizione mineralogica** (fillosilicati, quarzo, feldspati e carbonati) **non presenta variazioni significative con la profondità**.

- **Elevata biodiversità** presente nel 1 Seno (es. comunità del **fouling** e in prossimità dei citri) contribuisce al mantenimento dei sottili equilibri ecologici all’interno del bacino, nonostante gli impatti antropici presenti (compresa mitilicoltura);
- **Elevate capacità di autoregolazione e di reazione del sistema bio-ecologico**.

Quadro ambientale

- **Il reticolo idrografico superficiale principale** presente nell'area è quello del **Galeso**;
- **Il reticolo secondario** "potenziale" è relativo ad un **decorso superficiale delle acque meteoriche dell'area industriale**, sulla base dei dati morfologici ed altimetrici.

- **Unica falda idrica profonda** (carsica) a ricarica naturale e circolante nelle rocce carbonatiche del substrato mesozoico;
- La falda idrica profonda **costituisce la circolazione idrica più importante della regione** (include l'intera Murgia);
- Le **direzioni principali** dei deflussi sotterranei della falda idrica profonda **convergono** principalmente **verso il Mar Piccolo**, per l'effetto drenante delle sorgenti costiere (subaeree e sommerse - citri).

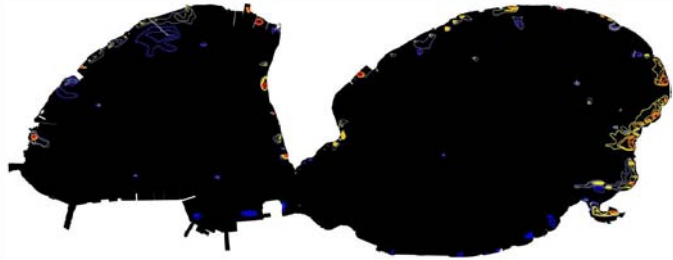
- **La falda superficiale** è in condizione di **pluri-falde** tra loro (in genere) non interconnesse;
- La falda superficiale è **a ricarica naturale** ed a letto di sedimenti pelitici impermeabili (argille);
- Le pluri-falde sono presenti nei livelli dei depositi olocenici e delle successioni plio-pleistoceniche (depositi marini sabbie e calcareniti che poggiano sulle argille);
- Le pluri-falde sono **di limitata potenza, bassa soggiacenza, limitate potenzialità idrogeologiche**.

- Fattori che favoriscono la **"venuta a giorno"** della falda superficiale, o l'efflusso in altri corpi idrici sotterranei:
 - **affioramento delle argille** che interferiscono sulla continuità spaziale;
 - **cigli di scarpate** (lineazioni geomorfologiche che naturalmente dividono, mediante terrazzi di origine marina, il complesso idrogeologico in più corpi acquiferi, non necessariamente in continuità idraulica lungo gli stessi);
 - **intervento antropico** (cave, trincee, scavi, manufatti impermeabili) provocano segmentazioni nella "naturale" circolazione sotterranea.

- Modello di **circolazione "invernale"** delle acque **del Mar Piccolo**:
 - **Nel 1 seno**, intenso flusso costiero nella parte nord-est, che si richiude in vortice orario in profondità, e strutture vorticose locali, influenzate dai getti in transito nei canali di ingresso e nel canale di collegamento;
 - **Nel 2 seno**, due vortici opposti con intensità rilevanti sui rami esterni.

- Modello di **circolazione "estivo"** delle acque **del Mar Piccolo**:
 - **Nel 1 seno**, si osserva la presenza di due vortici opposti, con maggiori intensità in prossimità dell'idrovora ILVA;
 - **Nel 2 seno**, due vortici opposti con intensità rilevanti sul ramo ascendente del vortice più orientale.

Fonti di contaminazione

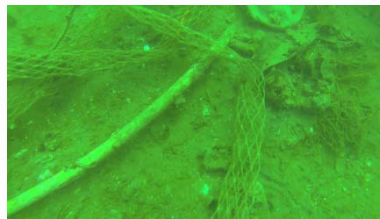


FONTI PRIMARIE DI CONTAMINAZIONE – VALUTAZIONE DELLE ANOMALIE TERMICHE

FONTI PRIMARIE DI CONTAMINAZIONE – CAMPIONAMENTO INTEGRATIVO ACQUE 1 SENO

FONTI PRIMARIE DI CONTAMINAZIONE – VIDEOISPEZIONE DEI FONDALI

FONTI PRIMARIE DI CONTAMINAZIONE – CONCENTRAZIONE DI METALLI E PCB DAI CITRI



	Cd	Cu	Ni	Pb	Hg	Mn	Fe	Zn
	µg/l							
Citro Galese	0.007	0.753	0.293	0.041	0.011	0.031	9.515	3.740
Citro Citrello	0.011	1.042	0.242	0.156	0.009	0.027	10.616	0.772
Citro Lecopre	0.008	0.701	0.036	0.131	0.005	0.016	8.390	0.483
Staz. 2 Mar Piccolo	0.043	1.958	0.831	0.248	nd	1.970	39.39	6.73

PCB (ng/l)	Citro Galese	Citro Citrello	Citro Lecopre	Staz. 2 Mar Piccolo
18	ND	0.08	0.08	ND
31	ND	0.08	0.08	0.06
28	ND	0.08	0.08	0.07
92	ND	0.03	0.03	0.04
84	ND	0.04	0.06	0.05
99	0.03	0.09	0.03	0.10
101	ND	0.08	0.08	0.16
99	ND	0.04	0.08	0.03
100	0.03	0.09	0.03	0.03
101	ND	ND	0.08	ND
103	ND	ND	0.08	ND
100	ND	0.06	0.08	0.07
103	0.04	0.09	0.03	0.05
104	ND	ND	0.08	ND
106	ND	0.11	0.06	ND
105	0.06	0.13	0.05	0.11
105	ND	0.08	0.08	ND
106	ND	0.06	0.08	0.06
107	ND	ND	0.08	ND
103	ND	ND	0.08	ND
106	ND	ND	0.08	ND
107	ND	ND	0.08	ND
106	ND	ND	0.08	ND
107	ND	ND	0.08	ND
100	ND	0.03	0.08	0.06
100	ND	ND	0.08	ND
100	ND	ND	0.08	ND
PCB 128	0.08	1.04	0.21	1.08

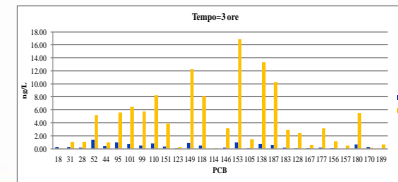
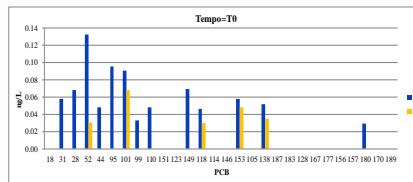
- Primarie
 - Apporti terrigeni
- Secondarie
 - Sedimenti

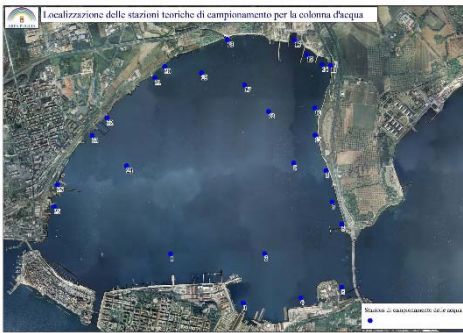
FONTI SECONDARIE DI CONTAMINAZIONE – CONCENTRAZIONE DI METALLI E PCB NEI SEDIMENTI

FONTI SECONDARIE DI CONTAMINAZIONE – CONCENTRAZIONE DI METALLI E PCB NEI SEDIMENTI DELLE SORGENTI

FONTI SECONDARIE DI CONTAMINAZIONE – RISOSPENSIONE DEI SEDIMENTI (METALLI E PCB)

PCB (ng/g ps)	stazione 1	stazione 2	PCB (ng/g ps)	Galese	Citrello
18	2.4	6.3	18	ND	13.7
31	4.9	11.7	31	ND	13.1
28	4.9	12.9	28	ND	14.4
92	74.2	168.7	92	0.5	16.8
84	17.1	13.5	84	ND	10.8
99	82.2	170.3	99	0.3	34.8
101	160.8	197.4	101	0.7	30.6
99	80.8	194.0	99	0.6	10.3
100	116.4	228.9	100	2.2	36.4
101	51.2	88.1	101	0.6	4.7
103	1.2	5.2	103	0.4	30.2
100	157.3	290.8	100	0.4	149
103	122.9	193.9	103	0.6	31.5
104	1.2	3.2	104	ND	0.3
104	37.7	72.4	104	0.4	5.3
103	261.3	385.8	103	2.2	36.8
106	38.7	41.8	106	0.3	6.1
108	237.5	302.9	108	1.8	35.3
107	126.7	232.8	107	0.6	20.1
103	43.1	85.2	103	0.2	12.4
106	30.2	79.0	106	0.3	5.1
107	7.1	42.4	107	ND	1.0
104	42.5	64.8	104	0.4	7.4
106	15.6	27.2	106	ND	1.6
107	7.1	12.2	107	1.06	20.4
100	220.0	273.8	100	0.6	9.2
100	97.5	117.7	100	ND	0.7
100	1.3	5.1	100	ND	0.7
PCB 128	1996	3270	PCB 128	14	343
PCB totale <=3 ppm (%)	43	52			





Apporti da fonti di contaminazione

DA POTENZIALI SECONDARIE

- Risospensione sedimenti dell'area "170 ha" (stazioni 1 e 2)
- Trasporto sedimenti "Canale Citrello"

DA POTENZIALI PRIMARIE

- **Cromo totale** ($\mu\text{g/L}$): Stazioni 17 e 8: 0,5 $\mu\text{g/L}$; Stazioni 13 e 18: 0,4 $\mu\text{g/L}$
- **Cadmio** ($\mu\text{g/L}$): Stazioni 3 e 13: 0,4 $\mu\text{g/L}$; Stazioni 8, 20 e 23: 0,3 $\mu\text{g/L}$
- **Piombo** ($\mu\text{g/L}$): Stazione 13: 7,3 $\mu\text{g/L}$
- **Sommatoria IPA** ($\mu\text{g/L}$): Stazione 22 (c/o Idrovore ILVA): circa 0.5 $\mu\text{g/l}$; Stazione 13 (Canale Citrello) e stazione 11, rispettivamente circa 0.15 $\mu\text{g/l}$ e 0.1 $\mu\text{g/l}$
- **Benzo(a)pirene** ($\mu\text{g/L}$): Stazione 22 e stazione 9 con concentrazioni rispettivamente di 0,03424 $\mu\text{g/L}$ e 0,0017 $\mu\text{g/L}$
- **Sommatoria TEQ PCDD/F + DL-PCB**: Stazione 22 (c/o Idrovore ILVA): 0.7068 pg/l ; Stazione 24 (ipotesi nuovo citro): 0.5354 pg/l ; Stazione 19 e 20 (citra Galeso): rispettivamente 0.259 pg/l e 0.4285 pg/l
- **Concentrazioni di PCB** (Sommatoria PCB): Stazione 13 (Canale Citrello): circa 2251 pg/l ; Stazione 22 (c/o Idrovore ILVA): circa 4652 pg/l ; Stazione 17 e 18 (Galeso): rispettivamente 1080 pg/l e circa 1024 pg/l ; Stazioni dalla 1 alla 5: valori compresi tra massimi di circa 677 pg/l (stazione 4) e 644 pg/l (stazione 2) ad un minimo di 256 pg/l (stazione 5)

- **Punti critici**: Stazione di campionamento n. 22, **nei pressi delle Idrovore ILVA**; Stazione di campionamento n. 13, **canale Citrello**



Scenari di valutazione degli apporti da fonti primarie e secondarie (approccio speculativo)

Per quanto attiene le concentrazioni misurate per gli inquinanti nelle acque del 1° Seno (metalli pesanti e microinquinanti organici), è possibile speculare sulla distribuzione spaziale di alcuni di essi, sebbene si debba ribadire che la disponibilità dei dati si riferisce ad un'unica campagna di monitoraggio, condotta in collaborazione con Magistrato alle Acque di Venezia, utilizzando un Campionatore ad Alto Volume (CAV).

In sintesi, tra i metalli le cui concentrazioni hanno superato gli Standard di Qualità Ambientale previsti dalle Tabelle 1A e 1B del D.M. 56/2009, il **Cadmio** presenta i **valori più alti** nelle zone soggette ad apporti idrici superficiali **in prossimità di insediamenti industriali** (ex Cantieri Tosi-Foce Citrello, Arsenale, zona industriale di Taranto), così **come il Piombo** (nello specifico nella zona ex Cantieri Tosi-Foce Citrello).

Tra i microinquinanti organici indagati, alcuni hanno superato gli Standard di Qualità Ambientale previsti dalla Tabella 1A del D.M. 56/2009, ed in particolare gli indicatori della contaminazione da **IPA**; anche in questo caso i **valori più alti** sono stati riscontrati in zone soggette ad apporti idrici superficiali **in prossimità di insediamenti industriali** (zona industriale di Taranto e Arsenale).

Le concentrazioni di **PCB** (sommatoria), pur non essendo disponibile nella normativa italiana un valore limite per la matrice “acque”, hanno invece evidenziato una distribuzione che può essere messa in relazione a **differenti apporti terrigeni** (non solo quelli in prossimità di insediamenti industriali), con contributi che sembrano legati sia alla conformazione del principale bacino idrografico sotteso al Mar Piccolo, e ai conseguenti **processi di dilavamento e trasporto superficiale da monte verso valle**, sia alla presenza e ai percorsi **della falda acquifera**, con particolare riferimento ai “**citri**”.



Scenari di valutazione degli apporti da fonti primarie e secondarie (approccio speculativo)

Proprio sulla base di questa ultima evidenza, e anche tenendo conto della problematica ambientale e socioeconomica causata dalle concentrazioni dei PCB nei mitili allevati nel Mar Piccolo, rilevate oltre i limiti previsti dai Regolamenti CE 1881/2006 e 1259/2011 (vedasi l'Ordinanza per l'inibizione del I Seno alla produzione commerciale), si è ritenuto opportuno approfondire l'argomento, tentando di stimare in via preliminare, con i dati a disposizione e con tutte le limitazioni del caso, l'apporto quantitativo di questa categoria di microinquinanti organici nel bacino in esame.

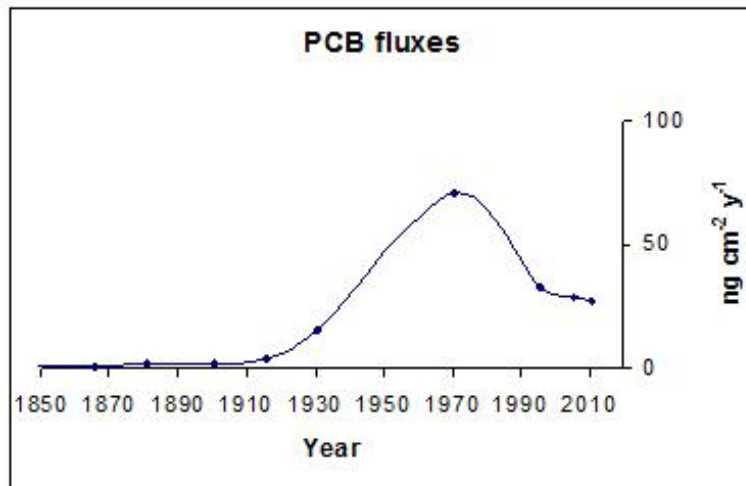
I dati utilizzati per il calcolo sono quelli relativi alle portate idriche in ingresso al Mar Piccolo I Seno in disponibilità di ARPA Puglia, integrati con quelli indicati nel Rapporto CESI-DAM Diagnostica Ambientale (2005), e alle concentrazioni dei PCB (sommatoria) nelle acque così come rilevate dall'Agenzia. In particolare, considerando la **portata media giornaliera di tutti gli apporti terrigeni** (acque superficiali e sotterranee), stimata in **560000 m³/giorno**, e la concentrazione media per i PCB nelle acque in prossimità degli stessi apporti, pari a 902,28 picogrammi/l, con le dovute trasformazioni ne deriverebbe un **quantitativo di Policlorobifenili immesso annualmente** nel 1° Seno del Mar Piccolo pari a **184,42 g**.

Tutti i possibili scenari derivati da questi risultati, come già premesso preliminari e condizionati dagli assunti di partenza, porterebbero alla conclusione che le **attuali immissioni di PCB** nel 1° Seno del Mar Piccolo derivanti dai corsi d'acqua superficiali e dai citri, seppure confermate e da interrompere e/o minimizzare, **non giustificano le elevate concentrazioni di inquinanti misurate nei sedimenti** nell'ambito delle caratterizzazioni e altri studi.

Scenari di valutazione degli apporti da fonti primarie e secondarie (approccio speculativo)

Data la stima quantitativa dei microinquinanti organici trasferiti attualmente per via delle acque di origine terrigena, si può dunque ipotizzare un **accumulo progressivo nei sedimenti** probabilmente **dovuto a immissioni di più intensa magnitudine avvenute in tempi passati**, attraverso gli stessi vettori (corsi d'acqua superficiali, citri, impluvi, canalizzazioni, ecc.) o con sversamenti diretti nel bacino.

Questa ipotesi trova parziale riscontro in un recente studio realizzato nell'ambito del progetto **RITMARE**, ed in particolare nel lavoro sulla datazione dei flussi di inquinanti nei sedimenti del Mar Piccolo (Bellucci, CNR-ISMAR), presentato durante il Meeting di progetto svolto a Taranto il 16/10/2014.



Sulla base delle considerazioni sin qui esposte, si può dunque supporre, per il 1° Seno del Mar Piccolo, **un ruolo non trascurabile, attivo, e probabilmente predominante, dei sedimenti** quale **fonte secondaria di contaminazione verso la componente biologica** (a causa delle **dinamiche di risospensione**), in particolare a carico degli organismi filtratori (in questo caso i mitili).

Bersagli

- Biaccumulo in molluschi bivalvi
- Ecosistema

BIOACCUMULO IN MOLLUSCHI BIVALVI (*M. galloprovincialis*) - VALUTAZIONE BIODISPONIBILITÀ E RILASCIO DEI CONTAMINANTI DAI SEDIMENTI

BIOACCUMULO IN MOLLUSCHI BIVALVI (*M. galloprovincialis*) - VALUTAZIONE DEI PROCESSI DI DECONTAMINAZIONE E PRIME STIME

IMPATTI SULL'ECOSISTEMA DI TRANSIZIONE

In situ

PCB ng/g peso umido	tempo				Naturali
	T=0	T=15	T=30	T=45	
18	ND	0.2	0.2	0.2	0.2
31	0.1	0.6	0.7	0.6	0.6
28	0.1	0.7	0.7	0.8	0.7
52	0.2	4.9	4.7	8.1	5.1
44	0.1	1.0	1.0	1.3	0.9
95	0.2	6.1	6.8	10.5	10.1
101	0.5	9.4	11.7	18.2	19.1
99	0.2	9.4	12.7	20.1	22.3
110	0.2	7.3	9.5	14.4	15.2
151	0.1	4.4	4.6	5.9	8.1
123	ND	0.2	0.3	0.4	0.5
149	0.3	12.5	15.0	22.6	29.7
118	0.2	7.7	11.1	16.9	20.3
114	ND	0.1	0.1	0.2	0.1
146	0.1	3.8	5.6	8.6	12.4
153	0.7	23.5	28.6	46.2	66.8
105	0.1	1.4	1.5	1.9	1.7
138	0.5	14.0	14.8	21.9	31.7
187	0.2	9.4	11.8	18.2	28.6
183	0.1	1.8	2.3	3.6	5.8
128	0.1	1.7	2.4	3.4	5.0
167	0.1	0.5	0.8	1.2	1.9
177	0.1	2.1	2.4	3.4	5.7
156	ND	0.6	0.8	1.0	1.4
157	ND	0.3	0.3	0.5	0.7
180	0.1	4.5	3.1	3.3	5.5
170	ND	1.2	0.8	0.9	1.5
189	ND	0.1	0.2	0.2	0.2
PCB Σ28	4.1	129.6	154.3	234.4	301.8

Concentrazione +

Ex situ

PCB ng/g peso umido	tempo			
	T=0	T=15	T=30	T=45
18	ND	0.1	ND	0.5
31	0.1	0.3	0.3	1.8
28	0.1	0.6	0.3	2.0
52	0.2	2.5	3.0	11.3
44	0.1	0.8	0.9	3.5
95	0.2	2.9	4.8	14.0
101	0.5	2.4	4.4	11.7
99	0.2	2.4	4.8	12.6
110	0.2	2.1	5.4	14.6
151	0.1	1.2	1.7	5.3
123	ND	0.1	0.1	0.3
149	0.3	2.8	6.1	16.2
118	0.2	1.9	4.0	10.5
114	ND	ND	ND	0.0
146	0.1	0.9	1.8	4.4
153	0.7	4.9	8.6	22.4
105	0.1	0.4	0.5	1.4
138	0.5	3.6	5.0	14.3
187	0.2	2.0	3.6	9.2
183	0.1	0.4	0.8	2.2
128	0.1	0.5	1.0	2.5
167	0.1	0.1	0.3	0.6
177	0.1	0.6	0.9	2.5
156	ND	0.1	0.3	0.8
157	ND	0.1	0.2	0.3
180	0.1	0.8	1.4	4.0
170	ND	0.3	0.4	1.1
189	ND	ND	0.1	0.1
PCB Σ28	4.1	34.8	60.5	170.2

Concentrazione +

Mar Grande

PCB ng/g p.u.	tempo				
	T=0	T=15	T=30	T=45	T=60
18	0.1	0.1	0.1	0.1	ND
31	0.6	ND	0.1	ND	ND
28	0.8	0.1	0.1	0.1	ND
52	3.3	1.4	1.0	0.9	0.5
44	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2
95	11.5	4.3	4.1	3.1	2.5
101	20.8	8.5	9.1	6.3	5.4
99	19.2	8.5	8.9	6.2	5.9
110	19.3	8.7	8.1	6.5	5.5
151	6.0	2.7	3.0	2.2	1.8
123	0.5	0.3	0.4	0.3	ND
149	19.0	11.3	10.0	8.5	8.1
118	18.1	8.1	8.3	5.8	5.6
114	0.8	0.2	0.1	0.2	0.2
146	9.9	5.0	5.5	3.9	4.0
153	86.5	39.5	45.5	28.2	32.1
105	2.7	1.2	1.0	0.8	0.9
138	40.6	18.2	22.2	13.5	14.1
187	25.3	12.2	15.7	9.4	10.2
183	4.9	2.6	3.0	2.2	2.3
128	3.4	1.9	1.7	1.4	1.4
167	1.6	1.0	0.8	0.8	0.9
177	5.2	2.8	3.0	2.3	2.3
156	1.2	0.8	0.5	0.6	0.7
157	0.8	0.9	0.5	0.7	0.7
180	3.7	2.7	2.1	1.6	2.1
170	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5
189	0.2	0.3	0.1	0.3	0.1
PCB Σ28	307.4	144.4	155.3	106.5	108.0

In laboratorio

PCB ng/g p.u.	tempo				
	T=0	T=15	T=30	T=45	T=60
18	0.1	0.1	0.1	ND	ND
31	0.6	0.1	0.1	ND	ND
28	0.8	0.1	0.1	0.1	ND
52	3.3	2.6	1.6	1.4	1.4
44	0.6	0.7	0.4	0.3	0.0
95	11.5	8.4	5.9	3.9	0.3
101	20.8	16.4	13.4	7.7	4.2
99	19.2	17.1	12.6	7.9	9.0
110	19.3	17.0	13.9	8.2	8.9
151	6.0	5.2	3.9	2.4	2.8
123	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2
149	19.0	22.5	16.0	10.1	11.6
118	18.1	17.8	13.8	7.6	8.7
114	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1
146	9.9	9.8	7.6	4.5	5.4
153	86.5	84.7	67.1	37.2	46.0
105	2.7	2.3	1.8	1.1	1.2
138	40.6	41.0	31.5	17.1	20.9
187	25.3	14.4	19.6	11.1	14.2
183	4.9	5.0	3.9	2.3	2.9
128	3.4	4.1	3.0	1.8	1.9
167	1.6	1.8	1.5	0.8	1.0
177	5.2	5.3	4.2	2.5	3.0
156	1.2	1.3	1.0	0.5	0.6
157	0.8	1.2	0.9	0.6	0.5
180	3.7	5.4	2.9	1.8	2.0
170	0.5	0.8	0.4	0.2	0.3
189	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
PCB Σ28	307.4	285.9	227.8	131.7	147.0

Bersagli

- Il **trend di bioaccumulo per i metalli** ha evidenziato un **incremento più o meno significativo**, che **non ha comunque superato i limiti** imposti dal Regolamento CE 1881/2006 (Pb, Cd e Hg). Per i metalli si possono ipotizzare processi di detossificazione che ne limitano l'accumulo nell'organismo.
- Il **trend di bioaccumulo per i PCB** nei mitili *in situ* fa ipotizzare un **raggiungimento dei limiti previsti dalla normativa di riferimento già dopo 15 gg di esposizione** (T=15). Il suo andamento nel corso del tempo (T=30 e T=45) lascia presupporre il raggiungimento delle concentrazioni dei "mitili nativi" in tempi relativamente brevi.
- Complessivamente, i risultati ottenuti permettono di confermare la presenza di **processi di bioaccumulo in mitili legati a fenomeni di risospensione di sedimenti** anche nel caso di contaminanti lipofili o scarsamente solubili.



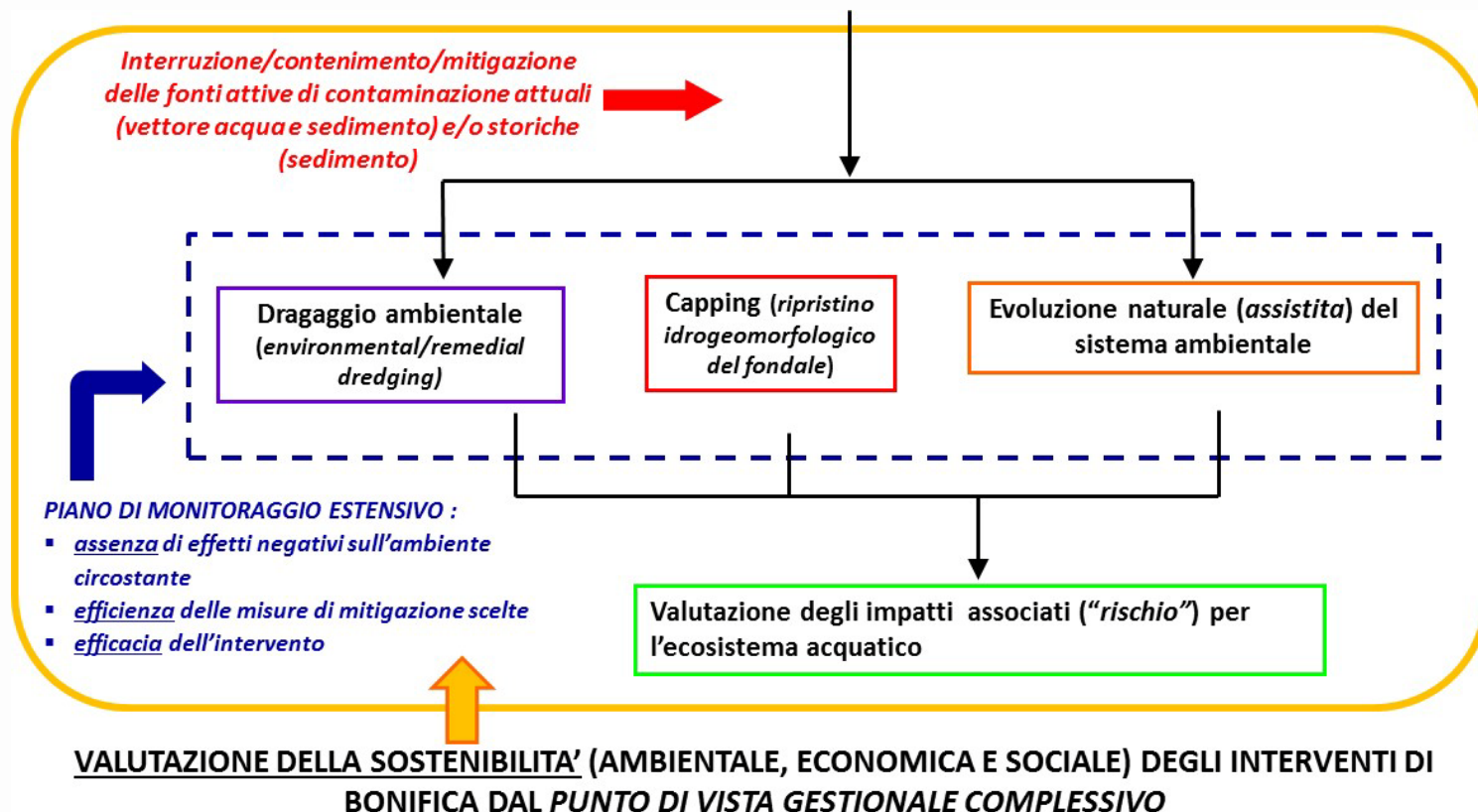
- Durante l'**esperimento di stabulazione in Mar Grande** (durato 60 giorni circa) si è osservata una **diminuzione di circa i 2/3 delle concentrazioni iniziali di PCB nei mitili**.
- Anche l'esperimento di **stabulazione in laboratorio** ha evidenziato una **decontaminazione, ma con efficienza minore** rispetto a quanto verificato in mare.



- **L'elevata biodiversità presente**, che contribuisce al mantenimento dei sottili equilibri ecologici all'interno del bacino nonostante i numerosi impatti antropici, **unita alle elevate capacità di autoregolazione e di reazione del sistema** sono **indicatori di grandi potenzialità di ripresa dell'area** dal punto di vista naturalistico ed ambientale

Scenari di bonifica dei sedimenti contaminati dalle aree critiche prioritarie

La bonifica dei SIN in ambito marino e lagunare comprende, nel senso generale del termine, tutti gli interventi volti a **ripristinare la qualità ambientale eliminando o minimizzando i rischi (impatti) per l'ecosistema acquatico** e, conseguentemente, per l'uomo



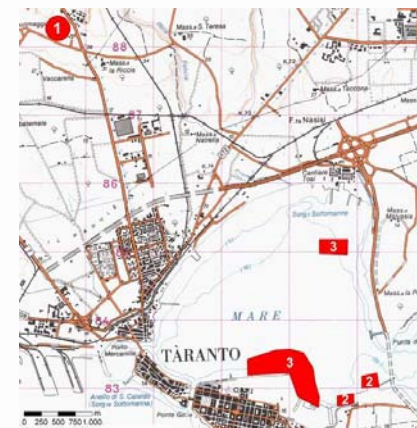
Scenari di bonifica dei sedimenti contaminati dalle aree critiche prioritarie

DRAGAGGIO

ESEMPIO DI SIMULAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO A SEGUITO DI INTERVENTI DI RIMOZIONE DEI SEDIMENTI

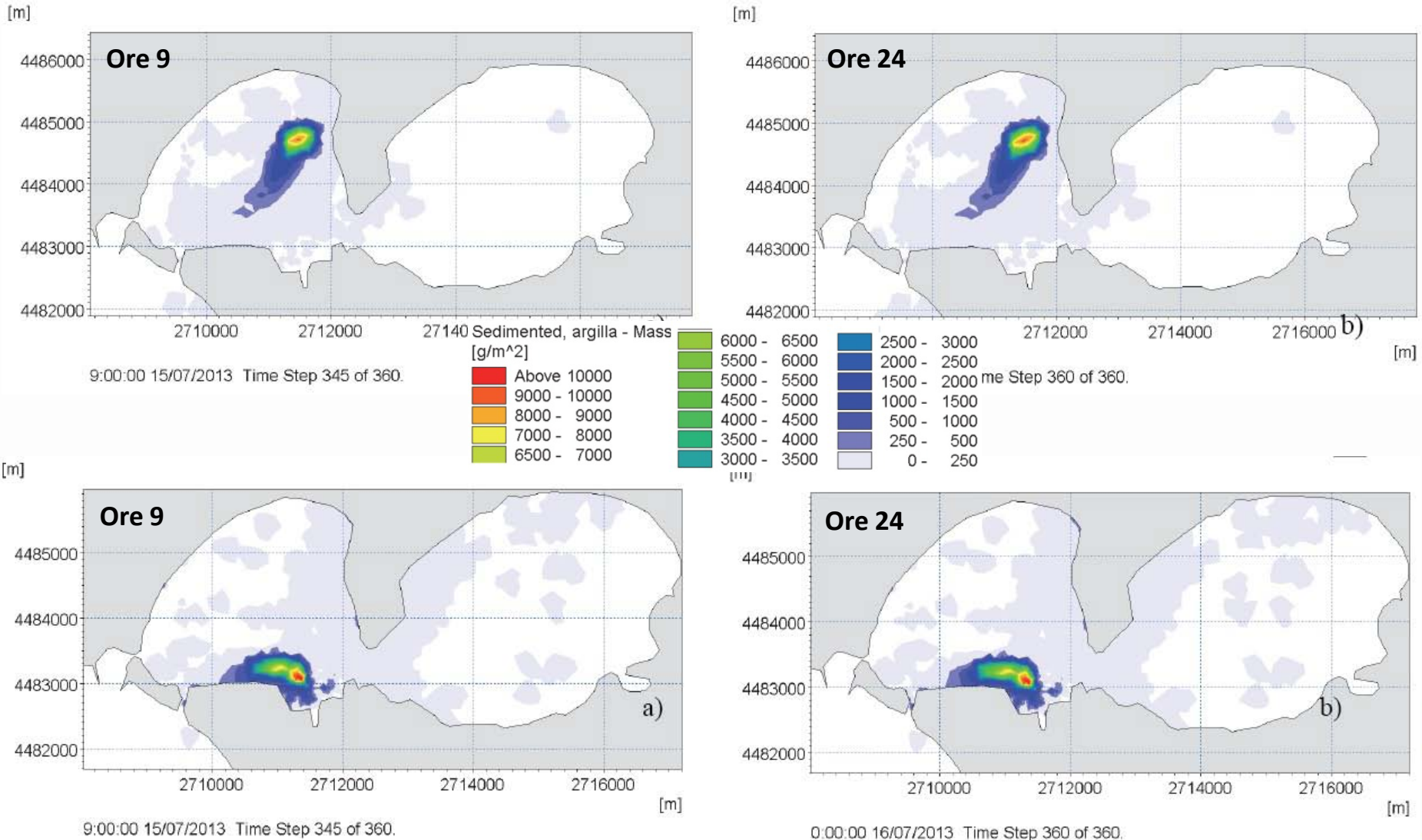
Parametri ed ipotesi per la simulazione

- Dragaggio esteso per **10 ha** in entrambe le aree test (“Area 170 ha”, area nord-est 1° seno);
- Spessore di dragaggio pari ai primi **50 cm** di sedimento (entrambi i casi);
- Volume complessivo per ciascun sito: **50 000 m³**;
- Composizione granulometrica dei sedimenti di tipo fine:
 - limo-limo sabbioso con $D_{50}=0,016$;
 - argilloso con $D_{50}=0,002$;
- Draga**
 - idraulica**, aspirante refluyente con disgregatore (*cutter head*) con fattore di risospensione $R=2.5\%$ e portata massica di materiale risospeso dalla draga $W=5.56$ Kg/s;
 - meccanica** ambientale (*grab dredgers*) con fattore di risospensione $R=1.5\%$ e portata massica di materiale risospeso dalla draga $W=3.44$ Kg/s;
- Funzionamento draga per **12 ore/die**;
- Stima tempistiche di dragaggio: **circa 15 gg** (per ciascun sito).



Scenari di bonifica dei sedimenti contaminati dalle aree critiche prioritarie

Accumulo (g/m^2) di sedimento nell'ipotesi di **DRAGAGGIO MECCANICO AMBIENTALE** e sedimento con $D_{50}=0,002$ m (Argille) - Simulazione estiva



Scenari di bonifica dei sedimenti contaminati dalle aree critiche prioritarie

INTEGRAZIONE TRA LA MODELLAZIONE DELLA CIRCOLAZIONE MARINA E LA VALUTAZIONE DELLA BIODISPONIBILITA' E RILASCIO DEI CONTAMINANTI DAI SEDIMENTI

Approccio speculativo basato su alcune assunzioni che semplificano il sistema e che sono soggette ad ampi margini di approssimazione, ma che, comunque, è utile per contribuire a descrivere lo scenario correlato alle operazioni di dragaggio.

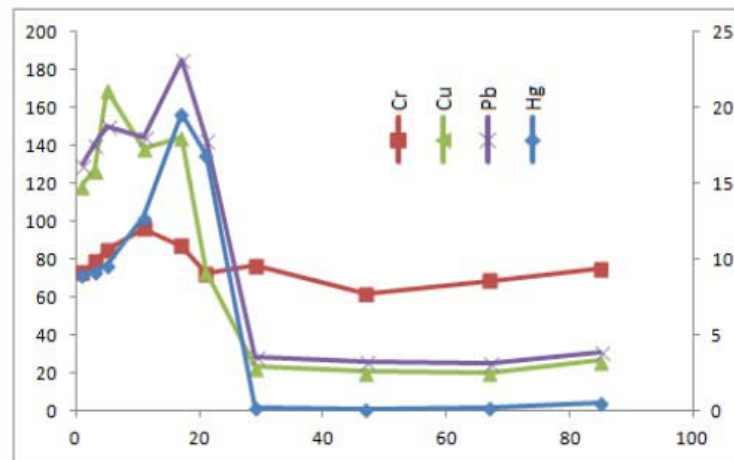
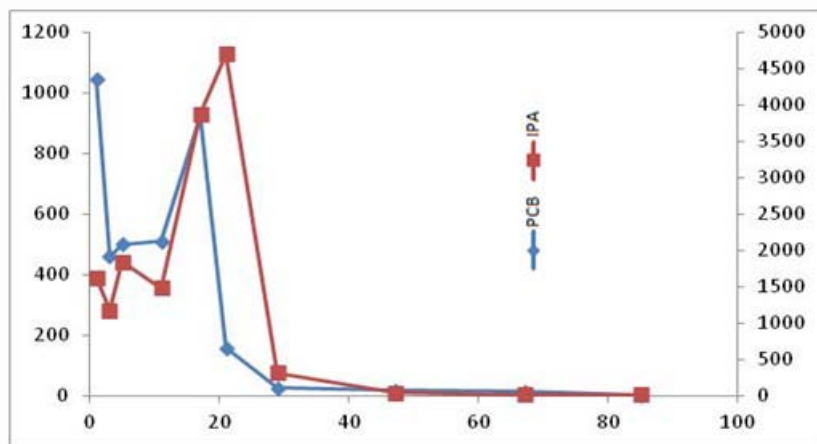
IPOTESI:

- **L'attività di dragaggio simulata è relativa ad un'area di 10 ha;**
- Durante le attività di dragaggio (simulate) sono risospesi e ridepositati sedimenti, con una concentrazione e una distribuzione approssimata dal modello di circolazione, nell'ipotesi "peggiore" ("**Area 170 Ha**" ed in condizione di **circolazione estiva**) ed in assenza di misure di mitigazione;
- La distribuzione quantitativa dei sedimenti risospesi e ridepositati subisce un decremento dal centro delle operazioni di dragaggio verso la periferia, seguendo le traiettorie descritte dal modello di circolazione;
- I tassi di decremento possono essere stimati in maniera proporzionale rispetto ai livelli di distribuzione descritti dal modello di circolazione;
- Le concentrazioni dei contaminanti associati ai sedimenti risospesi e ridepositati dalle attività di dragaggio si assume possano decrescere con la medesima proporzionalità;
- Le concentrazioni dei contaminanti nei mitili siano in relazione diretta con quelle dei contaminanti associati ai sedimenti risospesi e ridepositati dalle attività di dragaggio;
- Le concentrazioni dei contaminanti associati ai sedimenti risospesi e ridepositati sono confrontate con i **Valori di Intervento indicati da ICRAM-ISPRA** per i sedimenti del SIN "Taranto" (Pb = 121 mg/Kg; Hg = 0.8 mg/Kg; Sommatoria PCB = 190 µg/Kg);
- Le concentrazioni dei contaminanti nei mitili sono confrontate con i Limiti previsti dai **Regolamenti CE n. 1881/2006 e 1259/2011** per i molluschi bivalvi (Pb = 1.5 mg/Kg p.u.; Hg = 0.5 mg/Kg p.u.; Sommatoria PCB target = 75 ng/g p.u.);
- **Le concentrazioni dei contaminanti nei fondali delle aree raggiunte dai sedimenti risospesi e ridepositati siano inizialmente nulle.**

Scenari di bonifica dei sedimenti contaminati dalle aree critiche prioritarie

In merito alla simulazione appena rappresentata, sembra opportuno menzionare il fatto che la scelta di individuare i «**primi 50 cm di sedimento**» come strato contaminato da rimuovere trova riscontro anche in un recente studio realizzato nell'ambito del progetto **RITMARE**.

Infatti, durante il Meeting di progetto svolto a Taranto in data 16/10/2014, sono stati presentati dati di dettaglio, analizzando spessori centimetrici, sullo stato di contaminazione dei sedimenti del Mar Piccolo (Cassin & Bellucci, CNR-ISMAR); da tali risultati si evidenzia come gran parte della contaminazione sia riferibile effettivamente allo strato più superficiale (entro i primi 30-40 cm delle carote raccolte).



Scenari di bonifica dei sedimenti contaminati dalle aree critiche prioritarie

CAPPING

- **Copertura** (semplice o complessa, attiva o passiva) di sedimento contaminato con uno strato di “materiale pulito”, con caratteristiche geotecniche, granulometriche e chimico-fisiche adeguate al sito in oggetto, per **isolare e/o stabilizzare** la contaminazione presente nei sedimenti
- **Capping “reattivo”**, copertura con materiali adeguati in cui sono **presenti additivi/ammendanti** che intervengono sui processi di degradazione/stabilizzazione dei contaminati.

Principali criticità del CAPPING

- possibile risospensione di sedimenti contaminati in fase di messa in opera;
- permanenza dei sedimenti contaminati nell’ambiente acquatico;
- limitazioni all’uso dell’area (riduzione della profondità, limitazioni alla navigazione, ancoraggio, posa di infrastrutture sommerse...);
- modifiche dell’habitat e conseguenti possibili condizioni non favorevoli allo sviluppo della comunità biologica;
- monitoraggio dell’efficacia dell’intervento.



Scenari di bonifica dei sedimenti contaminati dalle aree critiche prioritarie

Evoluzione (assistita) del sistema ambientale

L'EVOLUZIONE (ASSISTITA O ATTIVA) DEL SISTEMA AMBIENTALE si basa sul principio dell'attenuazione naturale (*natural recovery*) dei contaminanti nei sedimenti, coadiuvata da opportuni interventi (chimico-fisici e/o biologici) volti a migliorarne l'efficacia ed efficienza.

Diversa dall'opzione "non intervento" (o ipotesi zero, *do nothing*) in quanto, dallo studio dello specifico ecosistema (componenti, dinamiche ed evoluzione), interviene migliorando/potenziando/inducendo i processi chimico-fisici e biologici (biodegradazione, adsorbimento, reazioni chimiche, dispersione e diluizione, ecc.) che naturalmente caratterizzano il sito e che permettono, nel tempo, di ridurre/attenuare/eliminare le concentrazioni dei contaminanti in funzione degli obiettivi di bonifica e della destinazione d'uso dell'area.

Principali criticità:

- tempistiche di realizzazione "lunghe" rispetto alla destinazione d'uso dell'area;
- i contaminanti possono migrare durante la loro degradazione;
- i prodotti di degradazione intermedi possono essere più mobili e tossici di quelli di partenza;
- il processo può essere usato solo in assenza di potenziali recettori sensibili;
- il sito non può essere riutilizzato prima che sia stato decontaminato (limitazioni d'uso dell'area (limitazioni al traffico navale in termini di traiettorie, velocità, pescaggi consentiti, limitazione di acquacoltura);
- è necessario un monitoraggio continuo e costante dello stato ambientale (eventualmente impiegando gli stessi "bersagli" della contaminazione).



Valutazione degli impatti associati (“rischio”) per l’ecosistema acquatico

➔ Risk Assessment su sedimenti marini contaminati: problema complesso.
Dibattito aperto a livello nazionale e internazionale per la definizione di un approccio metodologico standardizzato e condiviso.

➔ Difficoltà nell’applicare a sedimenti contaminati l’analisi di rischio e i software esistenti basati sui criteri metodologici definiti per le matrici acqua sotterranea e suolo.
Necessità di approccio multidisciplinare che consenta di integrare dati eterogenei.

➔ Attività 16 della Convenzione tra Commissario Straordinario ed ARPA Puglia (DGR 257 del 04.06.2013): a partire dai parametri che definiscono il rischio (esposizione e vulnerabilità) è stata effettuata una «**Analisi di Scenario**» applicando al caso sito-specifico un approccio multidisciplinare in linea con la metodologia ritenuta valida per lo sviluppo di processi decisionali in siti con presenza di sedimenti contaminati (Chapman et al.).

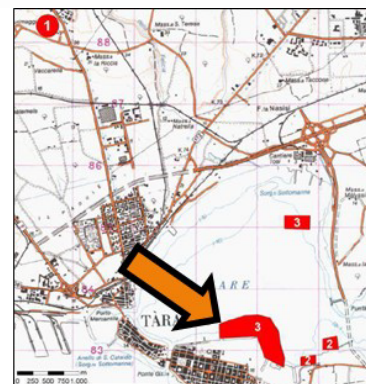


Valutazione degli impatti associati (“rischio”) per l’ecosistema acquatico

	Basso
	Medio
	Alto

Livelli di esposizione/vulnerabilità

AREA 170 ha



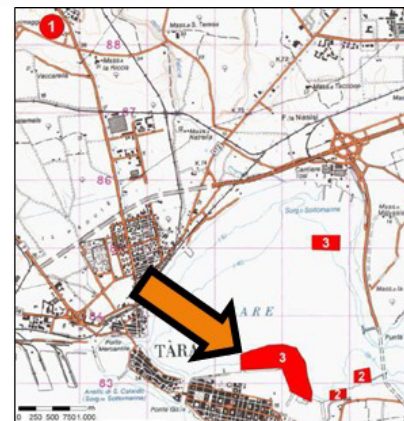
COMPONENTI	ESPOSIZIONE
	AREA 170 ha
SEDIMENTI	
RISORSA IDRICA	
ECOSISTEMA	
BIODISPONIBILITA' CONTAMINANTE	
MORFOLOGIA	
IDROGEOLOGIA	
IDRODINAMICA	
CRITICITA' DEI MATERIALI	
EFFETTI SOCIO-ECONOMICI	

COMPONENTI	VULNERABILITA'		
	EVOLUZIONE NATURALE ASSISTITA	DRAGAGGIO	CAPPING
SEDIMENTI			
RISORSA IDRICA			
ECOSISTEMA			
BIODISPONIBILITA' CONTAMINANTE			
MORFOLOGIA			
IDROGEOLOGIA			
IDRODINAMICA			
CRITICITA' DEI MATERIALI			
EFFETTI SOCIO-ECONOMICI			

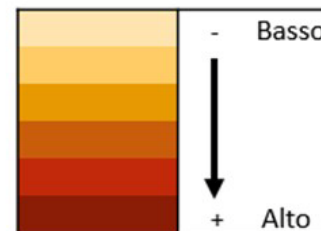
Valutazione degli impatti associati (“rischio”) per l’ecosistema acquatico

AREA 170 ha

COMPONENTI	RISCHIO Area 170 ha		
	EVOLUZIONE NATURALE ASSISTITA	DRAGAGGIO	CAPPING
SEDIMENTI			
RISORSA IDRICA			
ECOSISTEMA			
BIODISPONIBILITA' CONTAMINANTE			
MORFOLOGIA			
IDROGEOLOGIA			
IDRODINAMICA			
CRITICITA' DEI MATERIALI			
EFFETTI SOCIO-ECONOMICI			



Livelli di rischio

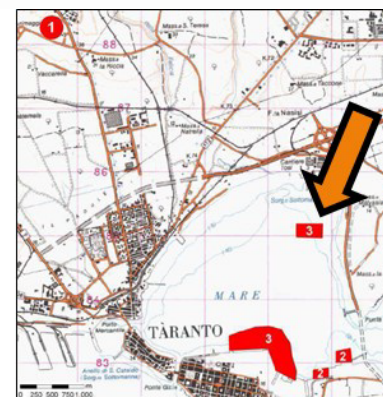


Valutazione degli impatti associati (“rischio”) per l’ecosistema acquatico

	Basso
	Medio
	Alto

Livelli di esposizione/vulnerabilità

Zona nord-est 1° Seno



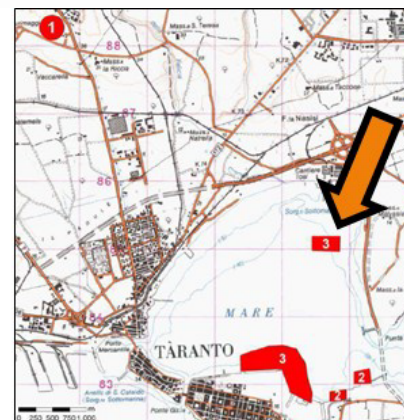
COMPONENTI	ESPOSIZIONE
	Zona nord-est 1° seno
SEDIMENTI	
RISORSA IDRICA	
ECOSISTEMA	
BIODISPONIBILITA' CONTAMINANTE	
MORFOLOGIA	
IDROGEOLOGIA	
IDRODINAMICA	
CRITICITA' DEI MATERIALI	
EFFETTI SOCIO-ECONOMICI	

COMPONENTI	VULNERABILITA'		
	EVOLUZIONE NATURALE ASSISTITA	DRAGAGGIO	CAPPING
SEDIMENTI			
RISORSA IDRICA			
ECOSISTEMA			
BIODISPONIBILITA' CONTAMINANTE			
MORFOLOGIA			
IDROGEOLOGIA			
IDRODINAMICA			
CRITICITA' DEI MATERIALI			
EFFETTI SOCIO-ECONOMICI			



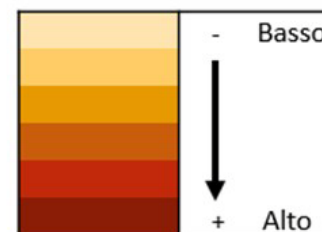
Valutazione degli impatti associati (“rischio”) per l’ecosistema acquatico

Zona nord-est 1° Seno



COMPONENTI	RISCHIO Zona nord-est 1° seno		
	EVOLUZIONE NATURALE ASSISTITA	DRAGAGGIO	CAPPING
SEDIMENTI	High Risk	Medium Risk	Low Risk
RISORSA IDRICA	Medium Risk	High Risk	High Risk
ECOSISTEMA	High Risk	High Risk	High Risk
BIODISPONIBILITA' CONTAMINANTE	High Risk	High Risk	Medium Risk
MORFOLOGIA	Medium Risk	High Risk	High Risk
IDROGEOLOGIA	Medium Risk	High Risk	High Risk
IDRODINAMICA	Low Risk	Medium Risk	Medium Risk
CRITICITA' DEI MATERIALI	Low Risk	Medium Risk	Low Risk
EFFETTI SOCIO-ECONOMICI	High Risk	Medium Risk	Medium Risk

Livelli di rischio



Sintesi

Il lavoro complessivo coordinato da ARPA Puglia è stato finalizzato alla progettazione e lo svolgimento di una serie di attività di studio e ricerca che avessero come obiettivo quello di completare, integrare e, in alcuni casi, aggiornare il quadro ambientale ed ecologico del Mar Piccolo di Taranto.

I risultati così ottenuti hanno consentito la definizione, il più possibile completa rispetto alle risorse disponibili e alle tempistiche imposte, di un modello concettuale sito-specifico, che nella fattispecie ha dimostrato ancora di più l'assoluta peculiarità e complessità del sistema-Mar Piccolo.

Un quadro ambientale così articolato e complesso, frutto di numerose variabili di ordine naturale e/o antropico presenti, ha fatto ipotizzare che ad un unico modello concettuale rappresentativo del Mar Piccolo si associno, piuttosto, una serie di modelli ciascuno con un proprio scenario di riferimento e tra di loro strettamente interconnessi, in cui occorre considerare sia variabili tecnico-scientifiche sia componenti di ordine sociale ed economico.

Conseguentemente, l'ipotesi iniziale di poter programmare un'unica strategia d'intervento finalizzata alla bonifica del sito, ha ceduto il passo alla necessità di prevedere preliminarmente un'attenta fase di discussione e condivisione tra i principali Stakeholder di quanto emerso, con una propedeutica decisione sulla destinazione d'uso dell'area, prima di poter arrivare ad una scelta progettuale che ne individui la/le migliori o una loro combinazione, sotto gli aspetti di efficacia ed efficienza, tra quelle ambientalmente, tecnologicamente ed economicamente attualmente disponibili (dragaggio, capping o reactive capping, bioremediation, monitored natural attenuation, ecc.).



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

