



Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale

PORTO DI BARI

**REALIZZAZIONE DI DENTE DI ATTRACCO ALLA BANCHINA
"CAPITANERIA" NELLA DARSENA INTERNA MOLO S. VITO**

[CUP B91C18000160005]

DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO TECNICO:

Ing. Francesco DI LEVERANO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Annunziata ATTOLICO

LIVELLO PROGETTUALE:

- FATTIB. TECNICO ECONOMICA
- DEFINITIVO
- ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO:

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE DEI FONDALI

N. ELABORATO:

AMB.02

NOME FILE:

PRIMA EMISSIONE ED EVENTUALI REVISIONI:

17.01.2019

SCALA:



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

PORTO DI BARI

VALUTAZIONE DEI RISULTATI DEL I STRALCIO DI CARATTERIZZAZIONE DEI FONDALI

OGGETTO DI INTERVENTI DI DRAGAGGIO

Ottobre 2011

CII-EI-PU-Bari_I stralcio-01.06

Responsabili scientifici

Dott. Massimo Gabellini

D.ssa Antonella Ausili

Referenti tecnici

Ing. Francesca Giaime

Staff tecnico

D.ssa Maria Celia Magno

Ing. Nicoletta Gazzea

D.ssa Roberta Girardi

Dott. Fulvio Onorati

D.ssa Maria Elena Piccione

D.ssa Elena Romano

Ing. Lorenzo Rossi

Ing. Andrea Salmeri

D.ssa Antonella Tornato

Dott. Francesco Venti

PORTO DI BARI

VALUTAZIONE DEI RISULTATI DEL I STRALCIO DI CARATTERIZZAZIONE DEI FONDALI OGGETTO DI INTERVENTI DI DRAGAGGIO

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	LE ESIGENZE DEL PORTO DI BARI	4
3	ATTIVITA' DI CARATTERIZZAZIONE	7
3.1	Attività di caratterizzazione previste.....	7
3.2	Attività di caratterizzazione condotte	8
4	CRITERI DI VALUTAZIONE DEI RISULTATI DI CARATTERIZZAZIONE.....	9
5	VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE.....	12
5.1	Valutazione dei risultati delle indagini granulometriche	12
5.2	Valutazione dei risultati delle indagini chimiche.....	18
5.3	Valutazione dei risultati delle indagini ecotossicologiche.....	47
5.4	Valutazione dei risultati delle indagini microbiologiche	50
6	VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI ED OPZIONI DI GESTIONE	51
6.1	Il dragaggio e la gestione dei sedimenti.....	51
	BIBLIOGRAFIA	52

1 PREMESSA

Nell'ambito della progettazione dei lavori di dragaggio manutentivo nei Porti di Bari, Barletta e Monopoli, l'Autorità Portuale del Levante, con nota prot. n. 2218 del 9 marzo 2011, ha richiesto all'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) il supporto per la valutazione dei risultati delle indagini condotte nei sopra richiamati porti, in attuazione a quanto previsto nel Piano di caratterizzazione ambientale dei fondali delle aree portuali di Bari, Barletta e Monopoli (rif. doc. ISPRA # CII-Pr-PU-Bari_Barletta_Monopoli-01.10), e la redazione del Piano di Gestione dei sedimenti.

Successivamente, a seguito della proposta tecnico-economica che l'ISPRA ha inviato con nota prot. n. 11644 del 6 aprile 2011, l'Autorità Portuale del Levante, con Delibera del Presidente n. 45 dell'11 aprile 2011, ha affidato ad ISPRA l'incarico per la valutazione dei risultati di caratterizzazione dei sedimenti dei porti di Bari, Barletta e Monopoli e per la redazione del Piano di Gestione dei sedimenti di dragaggio.

Il presente documento (rif. ISPRA doc. # CII-El-PU-Bari_I stralcio-01.01) rappresenta la relazione di valutazione dei risultati del I stralcio di caratterizzazione del Porto di Bari, trasmessi dall'Autorità Portuale con nota prot. n. 7135 dell'8 agosto 2011, ai fini della individuazione delle più appropriate modalità di gestione dei sedimenti da dragare, nel rispetto della normativa vigente.

2 LE ESIGENZE DEL PORTO DI BARI

Il porto di Bari (Figura 1) è situato a Nord-Ovest della città vecchia ed i suoi confini sono compresi ad Ovest, dal molo San Cataldo, ed a Est dal nuovo molo Foraneo. Il porto è di tipo polivalente con la capacità di movimentare consistenti volumi di merci e passeggeri e ha un'estensione di circa 285 ha. Al suo interno sono infatti comprese:

- Banchine attrezzate per ogni tipo di traffico commerciale (rinfuse solide e liquide, containers, merci in colli, prodotti siderurgici, prodotti della foresta, ecc.);
- Banchine al servizio di navi traghetto ro-ro;
- Banchine per navi da crociera e relative sistemazioni per i croceristi.

L'attuale sviluppo di banchine operative è di circa 2.500 m mentre gli spazi a ridosso sono ampi con superfici pari a 260.000 m². Le attività cantieristiche sono soprattutto sviluppate lungo il molo di San Cataldo e nella Darsena vecchia del porto di Bari. . Al fine di ampliare tali strutture è prevista la realizzazione di una colmata nell'area Marisabella (Figura 1), nel settore meridionale del bacino, potrà che consentirà la disponibilità di ulteriori 1.000 metri di banchinamento e 350.000 m² di spazi da destinare a deposito merci e sosta veicoli.



Figura 1: Toponomastica del porto di Bari

Le caratteristiche idrodinamiche e morfologiche dell'area portuale insieme alla natura dei fondali hanno determinato un accumulo di sedimenti che negli anni hanno portato ad una riduzione delle profondità nette utili alla navigazione

L'Autorità Portuale, al fine di avviare una campagna di dragaggi finalizzata a riportare i fondali almeno alle profondità originarie, per poi successivamente procedere ad ulteriori approfondimenti, ha attuato una campagna di aggiornamento della documentazione tecnica del porto consistente nella acquisizione di una cartografia digitale da aerofotogrammetria aggiornata (agosto 2008) e dai rilievi bati-morfologici dei fondali anch'essi aggiornati (ottobre 2009).

Da tali indagini è emerso che il fondale del bacino portuale di Bari (Figura 2) è costituito da un ammasso calcareo molto eterogeneo per litologia, grado di fratturazione e carsismo. I fenomeni carsici si presentano a varie profondità e con intensità variabile. Spesso sono presenti depositi sabbiosi e argillosi, residuali della dissoluzione dei calcari. È stata rilevata la presenza di fango e melma per spessori variabili tra 0,3 m e 1,5 m sopra il substrato roccioso. Internamente al porto è stata rilevata una modesta quantità di matite morta di *Posidonia oceanica*. Infine, si evidenzia la presenza di coralligeno nelle sole aree esterne al porto.

La natura dei fondali del bacino portuale fa sì che la batimetria al suo interno sia molto variabile, raggiungendo, in alcune zone, per lo più ubicate nella parte centrale, la profondità massima di 15 m, che si riduce fino a 12 m circa procedendo verso l'imboccatura del porto.

A ponente del molo Pizzoli, il fondale è caratterizzato dalla presenza di un canale naturale, con una profondità massima di 12 m, che parte dalla zona centrale del bacino e raggiunge l'area di Marisabella. La larghezza del canale è variabile: di fronte al molo Borbonico ha una larghezza di circa 70 m e si restringe fino a circa 40 m nella zona antistante al molo Pizzoli, per poi allargarsi nuovamente raggiungendo la larghezza massima, di 250 m circa, in prossimità di Marisabella.

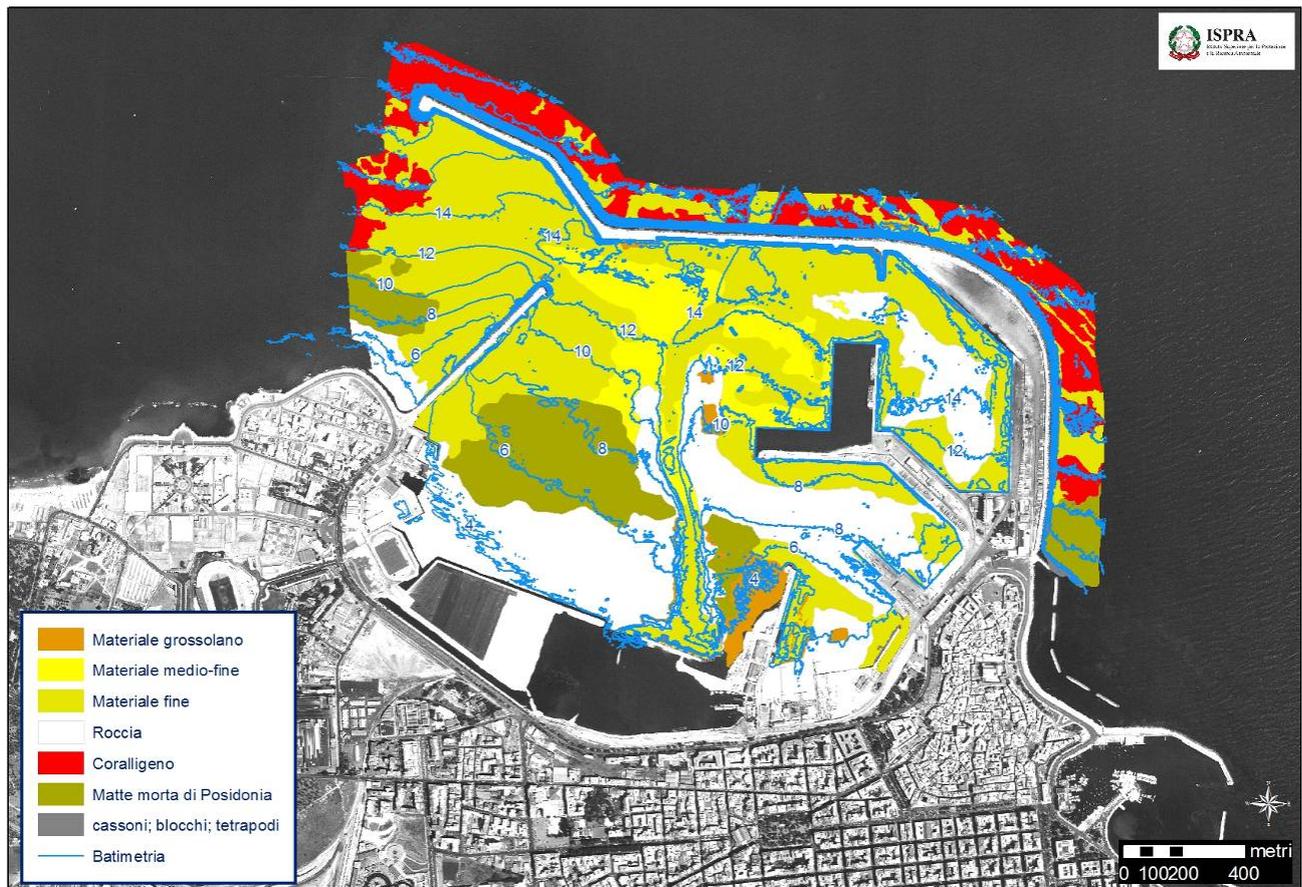


Figura 2: Caratteristiche dei fondali del porto di Bari (Autorità Portuale del Levante, 2009)

Sulla base delle informazioni acquisite, l’Autorità Portuale ha avviato uno studio dei fondali presenti attualmente nel porto, che ha permesso di discriminare tra roccia affiorante e sedimento accumulato, quantificandone in quest’ultimo caso lo spessore.

Il porto di Bari è stato quindi suddiviso nelle seguenti aree, a seconda delle attività svolte e delle differenti profondità di dragaggio da raggiungere (Figura 3):

- “Canale di accesso Darsena di Levante”, con una superficie pari a 56.01 ha, dove è previsto un approfondimento dei fondali fino a 14.15 m;
- “Porto Turistico”, con una superficie pari a 17.62 ha, dove è previsto un approfondimento dei fondali fino a 7.15 m;
- “Area di Manovra”, con una superficie pari a 45.73 ha, dove è previsto un approfondimento dei fondali fino a 12.15 m;
- “Guardia Costiera/CUS”, con una superficie pari a 15.32 ha, dove è previsto un approfondimento dei fondali fino a 4.15 m;
- “Darsena Levante”, con una superficie pari a 25.32 ha, dove è previsto un approfondimento dei fondali fino a 12.15 m;
- “Darsena Interna - Molo San Vito”, con una superficie pari a 23.67 ha, dove è previsto un approfondimento dei fondali fino a 8.15 m;
- “Area Residua Darsena Vecchia”, con una superficie pari a 6.83 ha, dove è previsto un approfondimento dei fondali fino a 4.15 m.

Le “Aree effettive di dragaggio” indicate in Figura 3 sono le aree ricavate confrontando le informazioni batimetriche con le quote di escavo indicate dall’Autorità Portuale. In totale, è prevista l’asportazione di circa 2.600.000 m³ tra il dragaggio dei sedimenti e la rimozione della roccia.



Figura 3: Suddivisione aree di dragaggio del porto di Bari

3 ATTIVITA' DI CARATTERIZZAZIONE

La caratterizzazione è stata effettuata in attuazione a quanto previsto dal Piano di caratterizzazione ambientale dei fondali delle aree portuali di Bari, Barletta e Monopoli (rif. doc. ISPRA # CII-Pr-PU-Bari_Barletta_Monopoli-01.10), trasmesso con nota prot. n. 30308 del 16 settembre 2010, e dal documento “*Schema indicativo dei costi e dei tempi per l'esecuzione del piano di caratterizzazione ambientale dei fondali delle aree portuali del levante - I Stralcio*”, elaborato da ISPRA sulla base delle indicazioni fornite dall’Autorità Portuale in merito alla individuazione delle aree di I stralcio e trasmesso con e-mail del 4 ottobre 2010.

3.1 Attività di caratterizzazione previste

Il documento “*Schema indicativo dei costi e dei tempi per l'esecuzione del piano di caratterizzazione ambientale dei fondali delle aree portuali del levante - I Stralcio*” prevedeva, per le aree di stralcio del Porto di Bari, l'esecuzione delle seguenti attività di caratterizzazione:

- il prelievo di n. 70 carote (Figura 4) di lunghezza variabile da 0,5 m a 2 m; nel dettaglio: n. 29 carote da 0,5 m, n. 27 carote da 1 m, n. 12 carote da 1,5 m, n. 2 carote da 2 m;
- la suddivisione di ogni carota in sezioni di circa 50 cm di spessore, da ciascuna delle quali prelevare un campione da inviare ad analisi; nel dettaglio, n. 1 campione dalle carote di lunghezza pari a 0,5 m, n. 2 campioni dalle carote di lunghezza pari a 1 m, n. 3 campioni dalle carote di lunghezza pari a 1,5 m, n. 4 campioni dalle carote di lunghezza pari a 2 m, per un numero totale di **campioni da analizzare pari a 127**;
- determinazione analitica, sui campioni così individuati, dei seguenti parametri:
 - granulometria, contenuto d'acqua, pH e potenziale redox, metalli ed elementi in tracce (Al, As, Cd, Cr tot, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb, Cu, V, Zn), Policlorobifenili (PCB), Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), Idrocarburi C_≤12, Idrocarburi C_>12, TOC, Azoto totale, Fosforo totale, Pesticidi organoclorurati sulla totalità dei campioni;
 - analisi microbiologiche (Enterococchi fecali, Salmonella, Spore di clostridi solfito riduttori, Coliformi totali, Escherichia coli, Stafilococchi) sul 50% dei campioni;
 - composti organostannici (sommatoria di mono-, di- e tri-butilstagno espressi come stagno) e saggi ecotossicologici sul 30% dei campioni.



Figura 4: Schema di campionamento delle aree di I stralcio del Porto di Bari

3.2 Attività di caratterizzazione condotte

Le attività di campionamento sono state eseguite da ARPA Puglia e dalla ditta STES tra dicembre 2010 e febbraio 2011; le attività analitiche sono state condotte da ARPA Puglia – DAP Bari tra gennaio e luglio 2011.

Rispetto a quanto previsto, a causa della presenza di substrato roccioso, sono state prelevate solo n. 56 carote (Figura 5), alcune delle quali di lunghezza inferiore a quella inizialmente attesa, per un totale di **n. 108 campioni** da sottoporre ad analisi. Di questi:

- sulla totalità dei campioni sono state determinate: granulometria, contenuto d'acqua, pH e potenziale redox, metalli ed elementi in tracce (Al, As, Cd, Cr tot, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb, Cu, V, Zn), PCB, IPA, Idrocarburi $C \leq 12$, Idrocarburi $C > 12$, TOC, Azoto totale, Fosforo totale, Pesticidi organoclorurati;
- su n. 52 campioni sono state determinate: analisi microbiologiche (Enterococchi fecali, Salmonella, Spore di clostridi solfito riduttori, Coliformi totali, Escherichia coli, Stafilococchi);
- su n. 34 campioni sono stati determinati: composti organostannici (sommatoria di mono-, di- e tri-butilstagno espressi come stagno) e saggi ecotossicologici.

I risultati della caratterizzazione sono stati trasmessi dall'Autorità Portuale ad ISPRA con nota prot. n. 7135/2011 dell'8 agosto 2011.

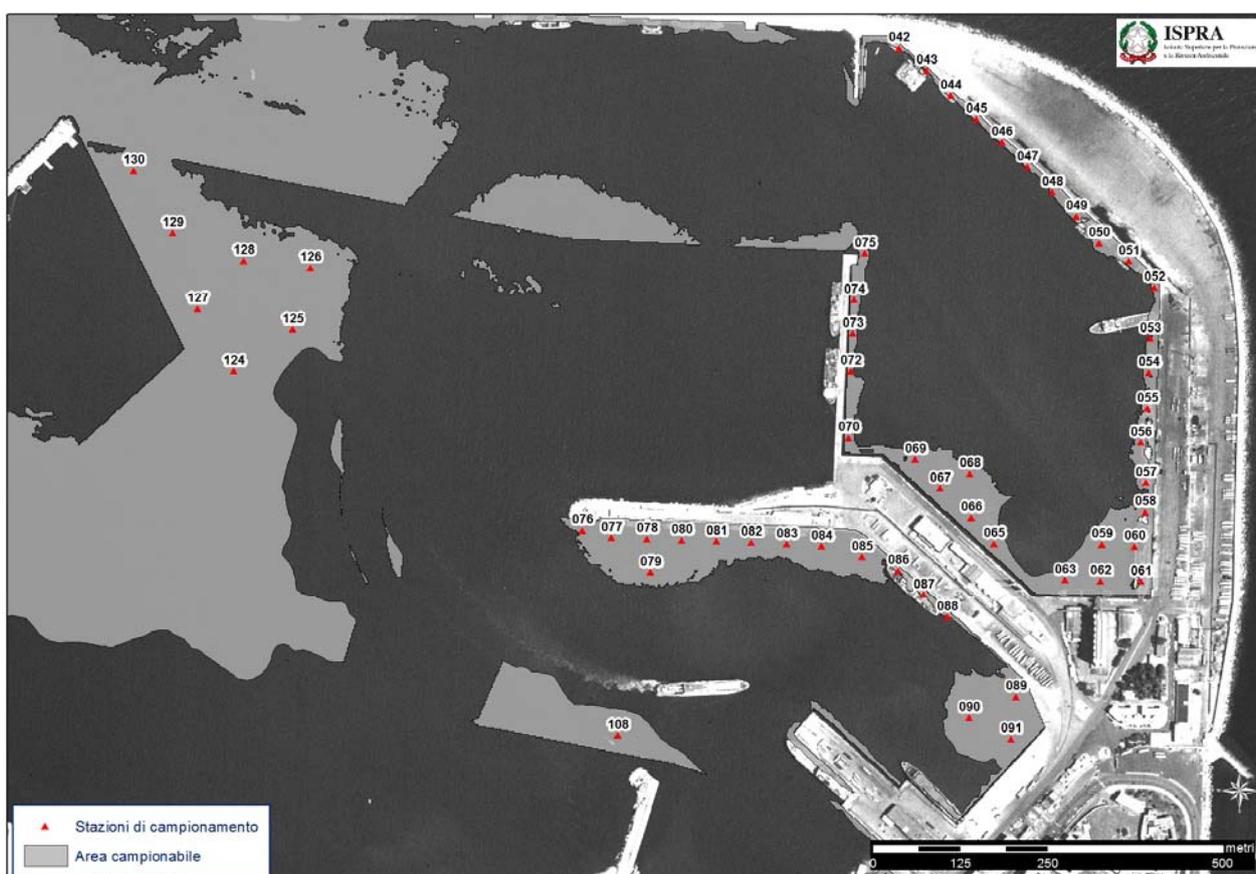


Figura 5: Stazioni di campionamento effettive

4 CRITERI DI VALUTAZIONE DEI RISULTATI DI CARATTERIZZAZIONE

Nel presente paragrafo sono riportati i criteri utilizzati per la valutazione dei risultati analitici delle attività di caratterizzazione, alla luce dei riferimenti tecnici nazionali e della normativa vigente in campo ambientale.

I risultati analitici derivanti dalle attività di caratterizzazione sono stati confrontati con i valori di riferimento riportati nel Manuale ICRAM-APAT per la movimentazione dei sedimenti marini, che sintetizza e riporta le azioni da intraprendere per una gestione ecosostenibile ai sensi della normativa vigente (art. 109 del D.M. 152/06) e nel quale la classificazione del sedimento è basata sulla integrazione delle informazioni fisico-chimiche ed ecotossicologiche. I principali riferimenti sono costituiti da:

- Livello Chimico di Base (LCB) di cui in Tabella 1. In particolare, per ciò che concerne gli elementi in tracce, i valori riportati in tabella rappresentano una situazione “media” nel contesto nazionale, non contemplando tipologie di sedimenti provenienti da aree con arricchimenti naturali particolarmente evidenti. Nella tabella vengono riportati due valori di LCB per ciascun elemento (riferiti ad una mineralizzazione totale), a seconda delle caratteristiche granulometriche e tenendo conto delle più comuni esigenze gestionali;
- Livello Chimico Limite (LCL) di cui in Tabella 2, salvo variazioni di carattere locale per ciò che concerne gli elementi in tracce, che tengano conto delle caratteristiche geochimiche ed ecotossicologiche di specifici tratti di costa, sulla base di criteri tecnico-scientifici.

Tabella 1: Livello Chimico di Base (LCB)

Parametro		
	LCB (pelite < 10%)	LCB (pelite ≥ 10%)
Elementi in tracce	[mg kg ⁻¹] p.s.	[mg kg ⁻¹] p.s.
As	17	23
Cd	0,20	0,35
Cr	50	100
Cu	15	35
Hg	0,20	0,40
Ni	32	60
Pb	25	37
Zn	50	100
Contaminanti organici	[μg kg⁻¹] p.s.	
Organostannici* (1)	4,5	
Σ PCB(2)	5	
Σ DDD(3)	1,2	
Σ DDE(3)	2,1	
Σ DDT(3)	1,2	
Clordano	2,3	
Dieldrin	0,7	
Endrin	2,7	
γ-HCH*	0,3	
Eptacloro epossido	0,6	
Σ IPA*(4)	900	
Acenaftene	7	
Antracene	47	
Benzo[a]antracene	75	
Benzo[a]pirene*	80	
Crisene	108	
Dibenz[a,h]antracene	6	
Fenantrene	87	
Fluorene	21	
Fluorantene	113	

Naftalene	35
Pirene	153

* Sostanza Pericolosa Prioritaria ai sensi della decisione del Parlamento Europeo 2455/2001/CE per la quale è stata applicata una riduzione cautelativa del 10% rispetto al valore del TEL (Threshold Effect Limit) (CCME, 2001; McDonald e Ingersoll, 2002; MacFarlane e MacDonald, 2002; McDonald *et al.*, 2003) ove disponibile; per i composti organostannici è stato considerato il valore dell'ERL (Effect Range Low) (Long *et al.*, 1995; Commonwealth of Australia, 2002);

⁽¹⁾Come Sn totale di origine organica

⁽²⁾Come sommatoria dei seguenti congeneri: 28, 52, 77, 81, 101, 118, 126, 128, 138, 153, 156, 169, 180

⁽³⁾Come sommatoria degli isomeri 2,4 e 4,4 di ciascuna sostanza;

⁽⁴⁾Come sommatoria dei seguenti singoli IPA: Naftalene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene, pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, dibenzo(a,h)antracene, benzo(g,h,i)perilene, indeno(1,2,3,c,d)pirene, acenaftilene.

Tabella 2: Livello Chimico Limite (LCL)

Parametro	
Elementi in tracce	[mg kg ⁻¹] p.s.
As	32
Cd	0,8
Cr	360
Cu	52
Hg	0,8
Ni	75
Pb	70
Zn	170
Contaminanti organici	[µg kg ⁻¹] p.s.
Organo metalli(1)	72
Σ PCB(2)	189
Σ DDD(3)	7,8
Σ DDE(3)	3,7
Σ DDT(3)	4,8
Clordano	4,8
Dieldrin	4,3
Endrin	62
Lindano (HCH)	1
Eptacloro epossido	2,7
Σ IPA(4)	4.000
Acenaftene	89
Antracene	245
Benzo[a]antracene	693
Benzo[a]pirene	763
Crisene	846
Dibenzo[a,h]antracene	135
Fenantrene	544
Fluorene	144
Fluorantene	1.494
Naftalene	391
Pirene	1.398

⁽¹⁾Come Sn totale di origine organica

⁽²⁾Come sommatoria dei seguenti congeneri: 28, 52, 77, 81, 101, 118, 126, 128, 138, 153, 156, 169, 180

⁽³⁾Come sommatoria degli isomeri 2,4 e 4,4 di ciascuna sostanza.

⁽⁴⁾Come sommatoria dei seguenti singoli IPA: Naftalene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene, pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, dibenzo(a,h)antracene, benzo(g,h,i)perilene, indeno(1,2,3,c,d)pirene, acenaftilene.

Tali limiti determinano l' idoneità dei sedimenti ad essere sversati in mare, insieme alle caratteristiche ecotossicologiche, o ad essere riutilizzati per attività di ripascimento o rinaturalizzazione.

Inoltre, ai soli fini di una eventuale gestione dei sedimenti per il conferimento in cassa di colmata o in discarica, i risultati sono stati confrontati anche con i limiti riportati nella col. B, Tab. 1, Allegato 5 al titolo V alla parte IV del D.Lgs. 152/06 e con i limiti di concentrazione per l'attribuzione della pericolosità, definiti sulla base dei criteri indicati nel D.M. 7 novembre 2008 e s.m.i.

5 VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE

La qualità ambientale dei sedimenti in tutte le aree caratterizzate, risulta generalmente compromessa, dalla presenza di contaminanti sia inorganici sia organici con concentrazioni superiori ai livelli chimici limite (LCL) e, in alcuni casi, anche ai valori di col. B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06. In un caso, in corrispondenza della stazione ubicata nell'area più interna della Darsena di Levante, è stato riscontrato anche un superamento del limite di concentrazione per l'attribuzione della pericolosità.

In particolare, sono state determinate concentrazioni significative di Mercurio (Hg), anche superiori al limite di col. B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06 con valore massimo pari a 9,1 mg/kg s.s., di Piombo (Pb), con valore massimo pari a 95.056 mg/kg s.s., superiore al valore limite per l'attribuzione della pericolosità e, in misura minore, di Zinco (Zn), Rame (Cu), Arsenico (As) e Cadmio (Cd).

E' stata riscontrata in modo diffuso la presenza di contaminanti organici, quali Idrocarburi totali (valore massimo: 9.001 mg/kg s.s.) e pesticidi organoclorurati (valore massimo: DDT 0,8 mg/kg s.s., DDD 1,0 mg/kg s.s. e DDE 0,3 mg/kg s.s.) con valori anche superiori al limite di colonna B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06 e di Idrocarburi Policiclici Aromatici (valore massimo: 61 mg/kg s.s.) e Policlorobifenili (valore massimo: 4,7 mg/kg s.s.).

Si segnala, inoltre, la diffusa presenza di composti organostannici, di origine esclusivamente antropica, con concentrazioni che superano in tutta l'area caratterizzata il livello chimico limite, sia sottobanchina sia nell'area di manovra, e lungo tutto lo spessore indagato. Tali sostanze, il cui composto più noto è tributilstagno (TBT), sono stati impiegati a lungo nelle vernici antivegetative per le imbarcazioni.

I risultati dei saggi ecotossicologici descrivono una situazione compromessa, con tossicità acuta e cronica diffusa in tutta la volumetria di sedimenti caratterizzati, talvolta anche di rilevante entità

5.1 Valutazione dei risultati delle indagini granulometriche

In Tabella 3 si riportano i dati granulometrici dei campioni analizzati, secondo le principali classi granulometriche, e la relativa classificazione utilizzata. Le caratteristiche granulometriche dei sedimenti variano prevalentemente tra peliti e sabbie pelitiche; sono tuttavia presenti anche campioni con granulometrie più grossolane e a carattere misto (Figura 6).

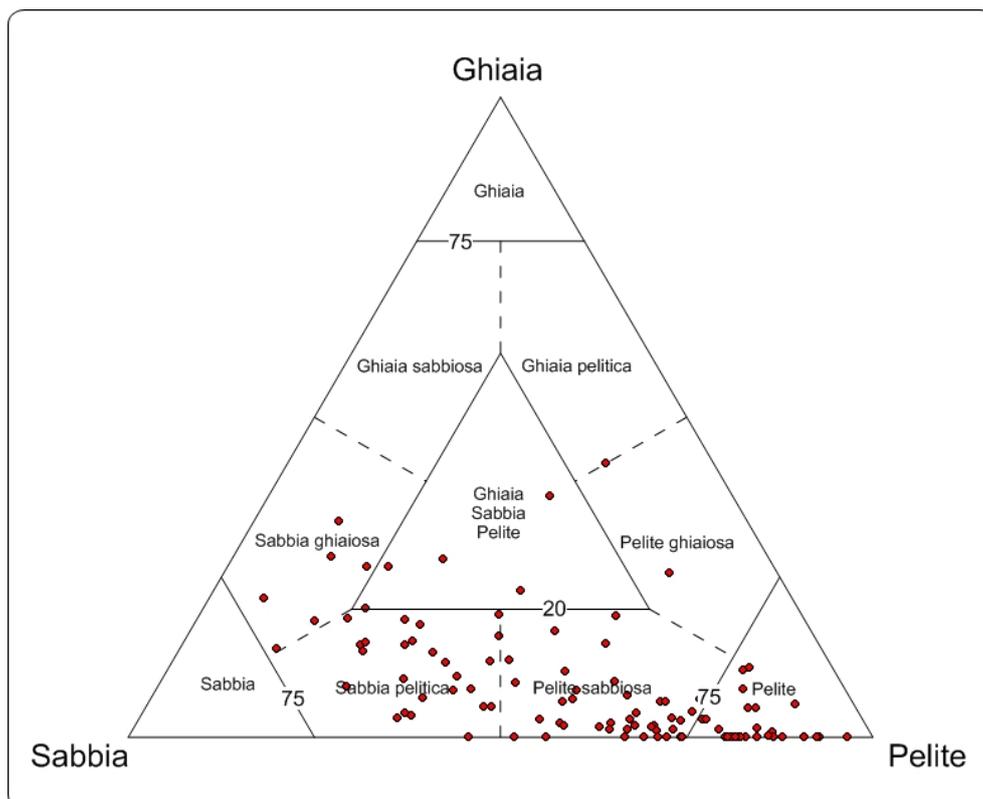


Figura 6: Diagramma di Shepard (1954) modificato al fine di evidenziare il contenuto in ghiaia.

Tabella 3: Risultati delle analisi granulometriche e tipologie granulometriche secondo le classificazioni di Shepard (1954), modificata al fine di evidenziare il contenuto in ghiaia, ove presente.

Campione	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Pelite (%)	Classificazione di Shepard modificata
BA01/0042/SC0000-0050	0,00	3,43	81,65	14,92	96,57	pelite
BA01/0042/SC0050-0100	10,85	11,24	67,39	10,51	77,91	pelite
BA01/0042/SC0100-0150	0,00	7,26	83,46	9,29	92,74	pelite
BA01/0042/SC0150-0200	0,00	7,58	80,55	11,87	92,42	pelite
BA01/0043/SC0000-0050	10,47	12,16	67,65	9,71	77,36	pelite
BA01/0043/SC0050-0100	7,58	13,72	62,58	16,12	78,70	pelite
BA01/0044/SC0000-0050	25,77	14,52	54,18	5,53	59,71	pelite ghiaiosa
BA01/0044/SC0050-0100	16,55	34,47	41,95	7,03	48,98	pelite sabbiosa
BA01/0045/SC0000-0050	5,86	18,62	67,88	7,64	75,52	pelite
BA01/0045/SC0050-0100	0,00	18,94	67,78	13,29	81,06	pelite
BA01/0046/SC0000-0050	0,00	19,85	70,85	9,31	80,15	pelite
BA01/0047/SC0000-0050	0,00	19,44	71,19	9,37	80,56	pelite
BA01/0047/SC0050-0100	0,75	13,07	82,99	3,19	86,18	pelite
BA01/0047/SC0100-0150	0,00	15,54	77,08	7,38	84,46	pelite
BA01/0048/SC0000-0050	1,84	28,53	61,12	8,51	69,63	pelite sabbiosa
BA01/0049/SC0000-0050	6,62	29,68	56,04	7,66	63,70	pelite sabbiosa
BA01/0050/SC0000-0050	1,85	31,01	59,57	7,58	67,15	pelite sabbiosa
BA01/0050/SC0050-0100	2,19	34,15	53,92	9,74	63,66	pelite sabbiosa
BA01/0050/SC0100-0150	0,00	13,38	85,30	1,32	86,62	pelite

Campione	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Pelite (%)	Classificazione di Shepard modificata
BA01/0051/SC0000-0050	19,11	40,71	35,90	4,27	40,18	sabbia pelitica
BA01/0051/SC0050-0100	4,56	13,39	73,03	9,02	82,05	pelite
BA01/0051/SC0100-0150	4,52	14,46	74,46	6,56	81,02	pelite
BA01/0052/SC0000-0050	0,00	9,23	78,49	12,28	90,77	pelite
BA01/0052/SC0050-0100	6,06	20,20	63,97	9,76	73,74	pelite sabbiosa
BA01/0053/SC0000-0050	11,93	45,53	36,34	6,20	42,54	sabbia pelitica
BA01/0054/SC0000-0050	8,72	30,27	54,81	6,21	61,02	pelite sabbiosa
BA01/0055/SC0000-0050	37,68	24,63	33,46	4,22	37,68	ghiaia sabbia pelite
BA01/0056/SC0000-0050	9,43	51,18	33,29	6,10	39,39	sabbia pelitica
BA01/0057/SC0000-0050	7,60	50,25	37,33	4,83	42,16	sabbia pelitica
BA01/0057/SC0050-0100	18,55	61,27	17,27	2,92	20,18	sabbia pelitica
BA01/0058/SC0000-0050	13,32	52,37	30,57	3,73	34,30	sabbia pelitica
BA01/0058/SC0050-0100	7,31	52,74	35,80	4,16	39,95	sabbia pelitica
BA01/0059/SC0000-0050	13,83	73,18	11,74	1,25	12,99	sabbia ghiaiosa
BA01/0060/SC0000-0050	20,25	58,09	19,26	2,39	21,66	ghiaia sabbia pelite
BA01/0060/SC0050-0100	26,62	54,63	16,25	2,51	18,76	sabbia ghiaiosa
BA01/0061/SC0000-0050	4,86	49,92	39,53	5,70	45,23	sabbia pelitica
BA01/0061/SC0050-0100	0,00	54,26	41,42	4,32	45,74	sabbia pelitica
BA01/0062/SC0000-0050	14,38	61,72	21,31	2,60	23,91	sabbia pelitica
BA01/0062/SC0050-0100	6,11	57,44	32,08	4,37	36,45	sabbia pelitica
BA01/0063/SC0000-0050	18,29	65,83	13,50	2,38	15,88	sabbia ghiaiosa
BA01/0063/SC0050-0100	2,98	62,42	31,64	2,97	34,60	sabbia pelitica
BA01/0065/SC0000-0050	33,83	54,82	9,28	2,07	11,35	sabbia ghiaiosa
BA01/0066/SC0000-0050	2,77	43,43	45,25	8,55	53,81	pelite sabbiosa
BA01/0066/SC0050-0100	13,42	61,71	21,78	3,09	24,87	sabbia pelitica
BA01/0066/SC0100-0150	18,43	53,70	24,73	3,14	27,87	sabbia pelitica
BA01/0067/SC0000-0050	15,11	54,35	26,83	3,71	30,54	sabbia pelitica
BA01/0067/SC0050-0100	9,05	58,48	28,49	3,98	32,47	sabbia pelitica
BA01/0068/SC0000-0050	17,60	51,94	26,21	4,25	30,46	sabbia pelitica
BA01/0068/SC0050-0100	3,96	22,26	67,95	5,82	73,77	pelite sabbiosa
BA01/0069/SC0000-0050	5,56	38,89	47,84	7,72	55,56	sabbia pelitica
BA01/0069/SC0050-0100	2,78	31,25	56,69	9,28	65,97	pelite sabbiosa
BA01/0069/SC0100-0150	20,18	32,66	41,77	5,39	47,16	ghiaia sabbia pelite
BA01/0070/SC0000-0050	3,50	60,31	32,40	3,79	36,19	sabbia pelitica
BA01/0072/SC0000-0050	21,75	70,99	6,56	0,69	7,25	sabbia ghiaiosa
BA01/0072/SC0050-0100	28,18	58,69	10,84	2,29	13,13	sabbia ghiaiosa
BA01/0073/SC0000-0050	14,81	60,68	20,99	3,53	24,51	sabbia pelitica
BA01/0073/SC0050-0100	2,80	21,55	65,82	9,82	75,65	pelite
BA01/0073/SC0100-0150	8,45	43,79	41,97	5,79	47,76	pelite sabbiosa
BA01/0074/SC0000-0050	0,00	48,17	42,84	8,99	51,83	pelite sabbiosa
BA01/0074/SC0050-0100	0,00	25,74	64,93	9,33	74,26	pelite sabbiosa
BA01/0074/SC0100-0150	0,31	13,87	73,32	12,50	85,82	pelite
BA01/0075/SC0000-0050	5,21	7,81	75,72	11,26	86,98	pelite
BA01/0076/SC0000-0050	3,07	25,47	63,29	8,17	71,46	pelite sabbiosa

Campione	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Pelite (%)	Classificazione di Shepard modificata
BA01/0076/SC0050-0100	0,00	17,18	65,47	17,35	82,82	pelite
BA01/0077/SC0000-0050	0,00	25,69	64,54	9,77	74,31	pelite sabbiosa
BA01/0077/SC0050-0100	42,88	14,41	37,75	4,96	42,71	ghiaia pelitica
BA01/0077/SC0100-0150	0,00	27,76	66,08	6,16	72,24	pelite sabbiosa
BA01/0077/SC0150-0200	0,00	9,28	72,73	17,99	90,72	pelite
BA01/0078/SC0000-0050	0,00	30,79	61,49	7,72	69,21	pelite sabbiosa
BA01/0078/SC0050-0100	1,08	28,49	63,31	7,12	70,43	pelite
BA01/0078/SC0100-0150	0,00	18,02	73,46	8,52	81,98	pelite
BA01/0079/SC0000-0050	5,58	20,09	67,45	6,88	74,33	pelite sabbiosa
BA01/0080/SC0000-0050	1,23	34,84	57,58	6,36	63,93	pelite sabbiosa
BA01/0080/SC0050-0100	1,23	26,23	66,57	5,97	72,55	pelite sabbiosa
BA01/0081/SC0000-0050	0,00	28,92	64,39	6,69	71,08	pelite sabbiosa
BA01/0081/SC0050-0100	26,62	51,71	18,68	2,99	21,67	ghiaia sabbia pelite
BA01/0082/SC0000-0050	6,01	37,40	50,11	6,49	56,59	pelite sabbiosa
BA01/0082/SC0050-0100	1,68	35,82	56,83	5,67	62,50	pelite sabbiosa
BA01/0082/SC0100-0150	0,00	17,75	73,28	8,98	82,25	pelite
BA01/0083/SC0000-0050	2,21	40,85	50,17	6,77	56,94	pelite sabbiosa
BA01/0083/SC0050-0100	1,64	28,91	63,17	6,28	69,45	pelite sabbiosa
BA01/0084/SC0000-0050	0,00	43,84	47,86	8,29	56,16	pelite sabbiosa
BA01/0084/SC0050-0100	0,00	25,57	68,33	6,09	74,43	pelite sabbiosa
BA01/0085/SC0000-0050	1,25	32,33	59,22	7,20	66,42	pelite sabbiosa
BA01/0085/SC0050-0100	1,22	20,12	71,84	6,82	78,66	pelite
BA01/0086/SC0000-0050	10,32	36,23	48,22	5,22	53,44	pelite sabbiosa
BA01/0086/SC0050-0100	14,61	28,65	50,85	5,89	56,74	pelite sabbiosa
BA01/0087/SC0000-0050	1,42	14,93	74,36	9,29	83,65	pelite
BA01/0088/SC0000-0050	5,56	25,79	62,37	6,28	68,65	pelite sabbiosa
BA01/0089/SC0000-0050	2,69	24,44	63,57	9,30	72,87	pelite sabbiosa
BA01/0089/SC0050-0100	0,00	12,24	79,56	8,20	87,76	pelite
BA01/0090/SC0000-0050	22,83	35,83	37,92	3,41	41,33	ghiaia sabbia pelite
BA01/0091/SC0000-0050	1,74	40,56	52,03	5,67	57,70	pelite sabbiosa
BA01/0091/SC0050-0100	0,00	33,33	59,85	6,82	66,67	pelite sabbiosa
BA01/0108/SC0000-0050	14,49	55,68	26,52	3,31	29,83	sabbia pelitica
BA01/0108/SC0050-0100	8,01	66,76	22,96	2,27	25,23	sabbia pelitica
BA01/0124/SC0000-0050	27,80	43,75	24,42	4,03	28,45	ghiaia sabbia pelite
BA01/0125/SC0000-0050	4,88	48,84	43,08	3,19	46,27	sabbia pelitica
BA01/0125/SC0050-0100	15,74	42,39	37,90	3,98	41,88	sabbia pelitica
BA01/0126/SC0000-0050	2,82	20,90	67,45	8,82	76,27	pelite
BA01/0127/SC0000-0050	11,67	51,57	33,16	3,60	36,76	sabbia pelitica
BA01/0127/SC0050-0100	3,74	60,93	32,15	3,18	35,33	sabbia pelitica
BA01/0128/SC0000-0050	18,92	25,12	49,62	6,34	55,96	pelite sabbiosa
BA01/0128/SC0050-0100	12,15	42,80	40,96	4,08	45,05	pelite sabbiosa
BA01/0129/SC0000-0050	7,39	36,13	50,67	5,80	56,47	pelite sabbiosa
BA01/0129/SC0050-0100	5,50	25,16	62,69	6,65	69,34	pelite sabbiosa
BA01/0130/SC0000-0050	0,00	18,48	73,07	8,44	81,52	pelite

Campione	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Pelite (%)	Classificazione di Shepard modificata
BA01/0130/SC0050-0100	3,84	29,85	59,66	6,65	66,31	pelite sabbiosa

I risultati granulometrici sono stati visualizzati nelle immagini seguenti. In Figura 7 è evidente la prevalenza di sedimenti pelitici e sabbioso-pelitici in quasi tutti i livelli superficiali delle aree indagate, con particolare concentrazione nella Darsena Interna e lungo il settore settentrionale della Darsena di Levante. Nelle altre aree prevalgono i sedimenti a prevalente composizione sabbiosa e ghiaiosa. Nel livello sottostante, corrispondente all'intervallo 50-100 cm (Figura 8), e limitatamente alle aree campionate, si riscontra una situazione pressoché identica, ad eccezione di un aumento delle caratteristiche tessiturali lungo il molo esterno della Darsena di Ponente e una diminuzione delle stesse lungo il molo foraneo della Darsena di Levante.



Figura 7: Rappresentazione delle tipologie tipi litologici di Shepard relativa al livello 0-50 cm

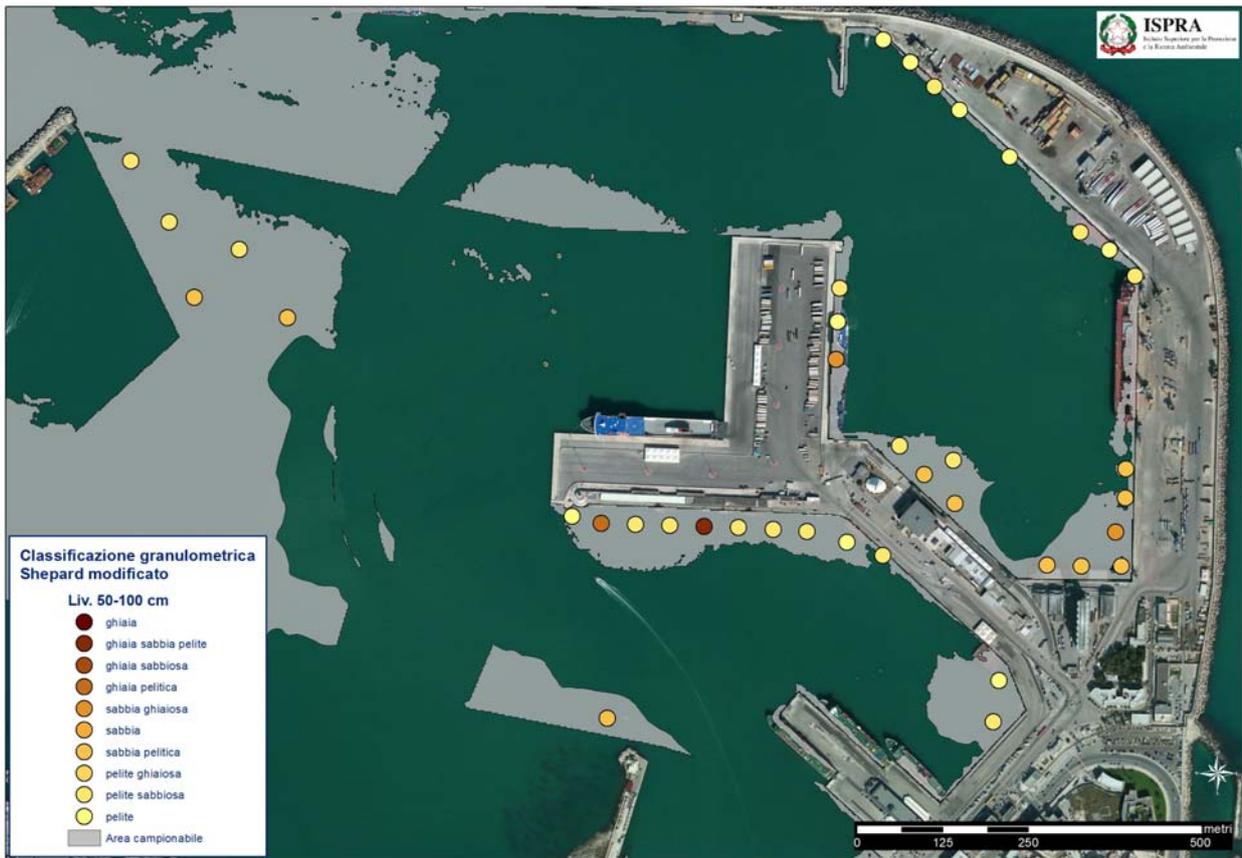


Figura 8: Rappresentazione delle tipologie tipi litologici di Shepard relativa al livello 50-100 cm

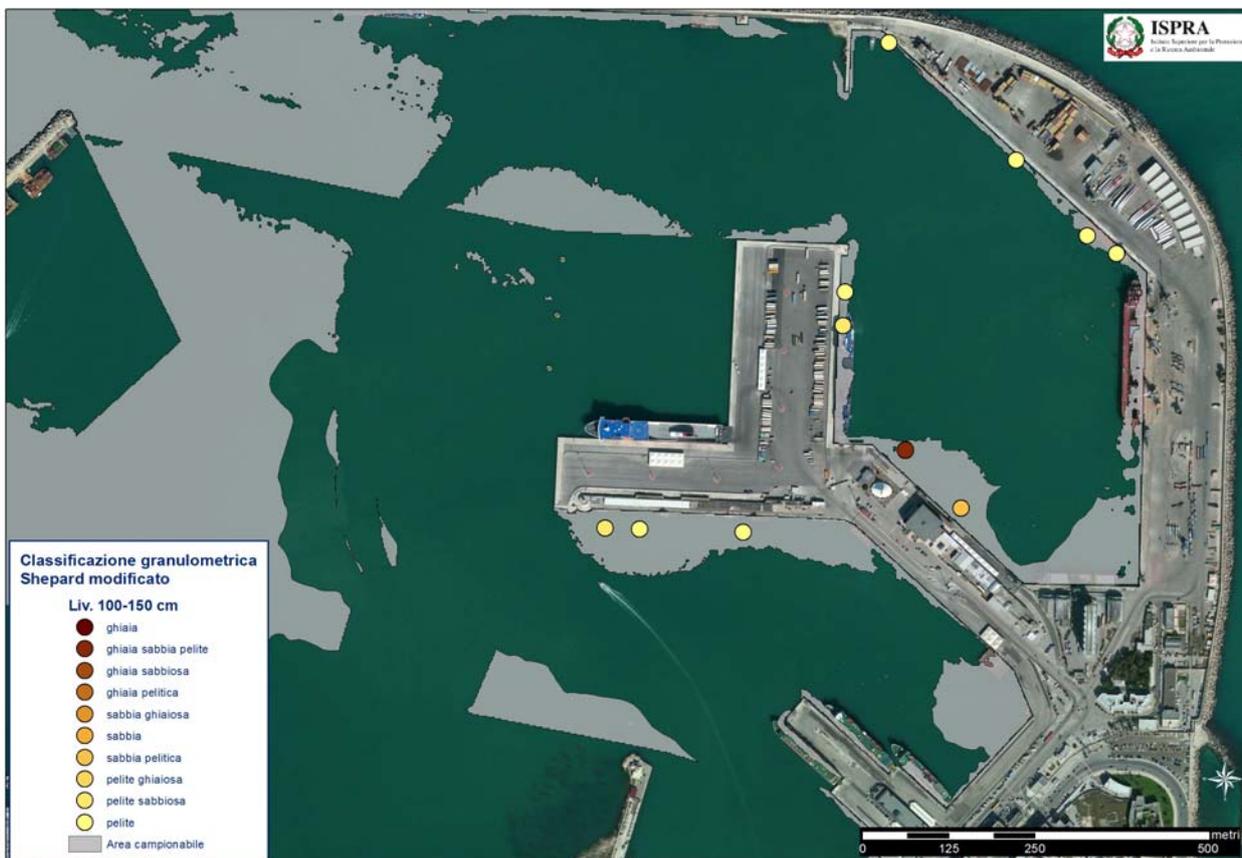


Figura 9: Rappresentazione delle tipologie tipi litologici di Shepard relativa al livello 100-150 cm

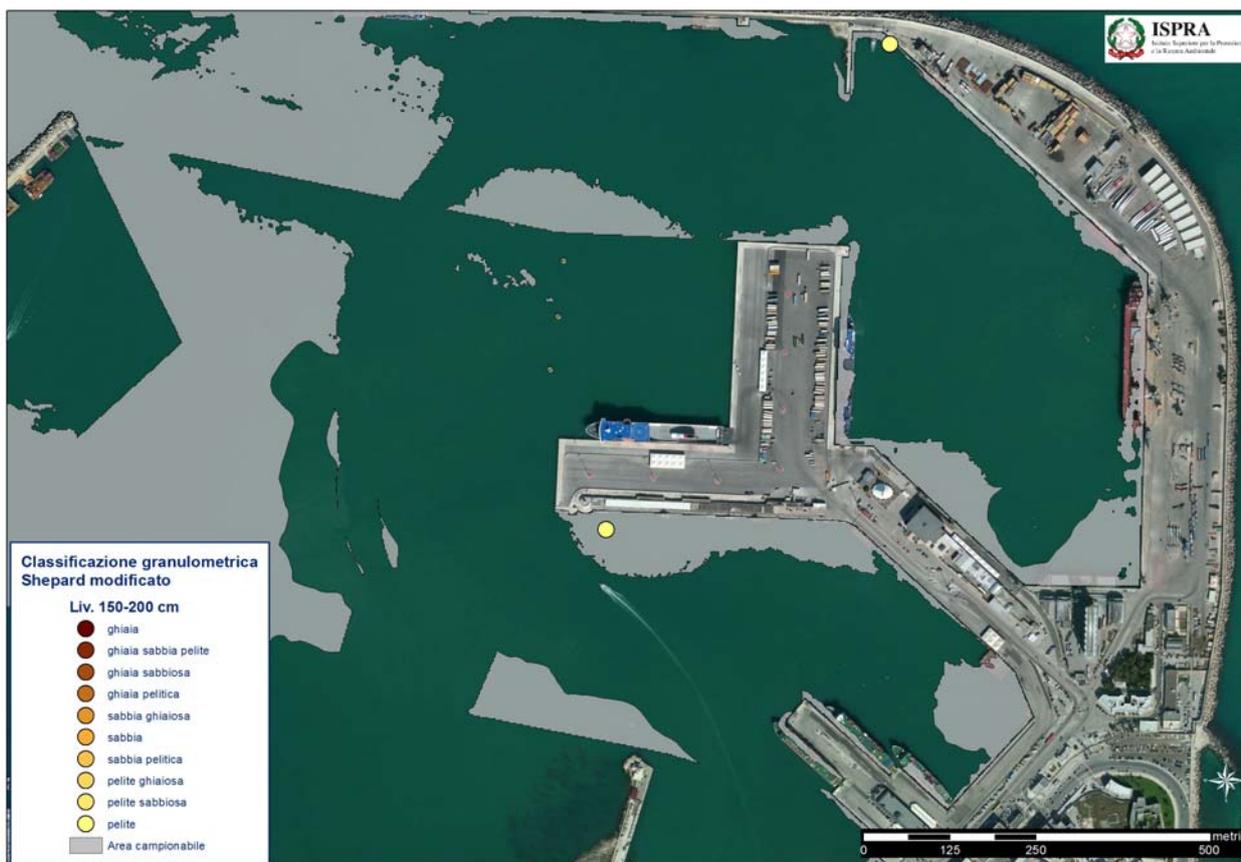


Figura 10: Rappresentazione delle tipologie tipi litologici di Shepard relativa al livello 150-200 cm

5.2 Valutazione dei risultati delle indagini chimiche

Ai fini della valutazione della qualità ambientale dell'area indagata, i risultati delle determinazioni chimiche sono stati confrontati con i valori di riferimento definiti nel capitolo 4. Tutte le aree indagate risultano contaminate con superamenti, per quasi tutti gli analiti ricercati, del Livello Chimico Limite (LCL). La maggiore contaminazione è stata riscontrata nelle aree a ridosso delle banchine, in particolare in quelle di maggior accumulo all'interno delle darsene. Per quanto concerne l'area di manovra, a causa affioramento della presenza di substrato roccioso, è stato possibile caratterizzare solo il primo metro di sedimento che ha evidenziata una contaminazione quasi esclusivamente da composti organostannici con concentrazioni che superano il Livello Chimico Limite (LCL).

Per rendere più immediato il quadro ambientale che emerge dalla caratterizzazione, sono stati visualizzati i risultati analitici dei parametri chimici più significativi, per ciascun livello e fino alla massima profondità indagata, classificati in funzione dei limiti riportati nel capitolo 4. In particolare, per quanto riguarda il Livello Chimico di Base (LCB) è stato adottato quello relativo alla frazione pelitica $\geq 10\%$, in quanto non sono presenti campioni con frazione pelitica inferiore, ad eccezione di un unico campione superficiale, prelevato nella stazione BA01/0072, che comunque presenta concentrazioni di Piombo e Rame superiori al Livello Chimico Limite (LCL).

In quasi tutta l'area (da Figura 11 a Figura 14), concentrato principalmente lungo la banchina settentrionale della Darsena Interna e lungo il molo foraneo della Darsena di Levante, si evidenzia riscontrano concentrazioni di Idrocarburi totali, spesso superiori al valore limite di colonna B Tab. 1

del D.Lgs. 152/06, anche fino a 1 m di profondità. I tenori più elevati, pari a 9.001 mg/kg s.s., si riscontrano nel livello superficiale della stazione BA01/0079, ubicata all'imboccatura della Darsena Interna.



Figura 11: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Idrocarburi tot. rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 12: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Idrocarburi tot. rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 13: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Idrocarburi tot. rilevate nello strato 100-150 cm.



Figura 14: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Idrocarburi tot. rilevate nello strato 150-200 cm.

Per quanto riguarda il Mercurio (da Figura 15 a Figura 18) i superamenti del relativo valore di riferimento (LCL Hg 0,8 mg/kg s.s.) interessano, in linea generale, tutto lo spessore di sedimento indagato a ridosso delle banchine, con alcuni superamenti anche del limite di colonna B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06 nella Darsena Interna e lungo la banchina occidentale della Darsena di Levante mentre i sedimenti all'interno dell'area di manovra presentano un solo superamento del valore LCL. Il valore massimo, pari a 9,1 mg/kg s.s., è stato riscontrato nel livello 50-100 cm della stazione BA01/0089, ubicata nella Darsena Interna.



Figura 15: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Mercurio rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 16: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Mercurio rilevate nello strato 50-100 cm.

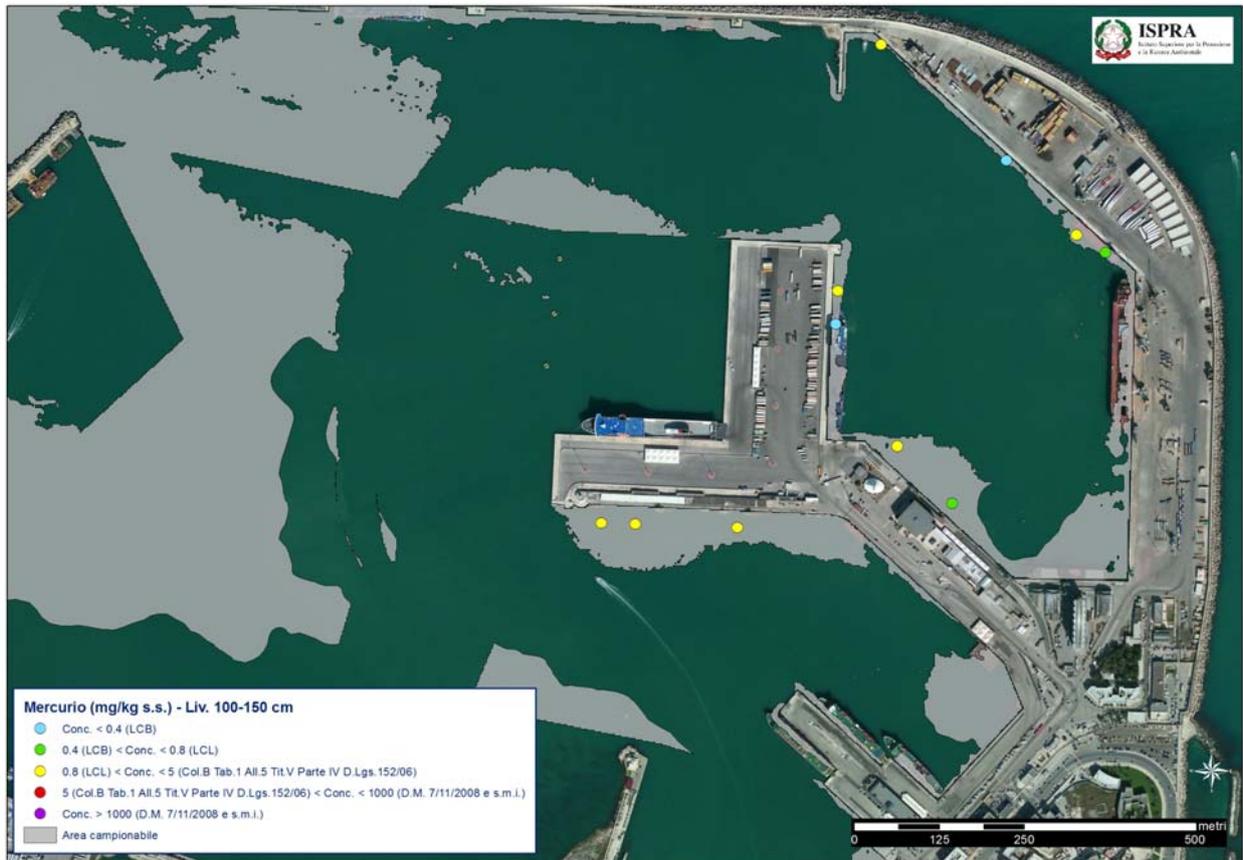


Figura 17: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Mercurio rilevate nello strato 100-150 cm.

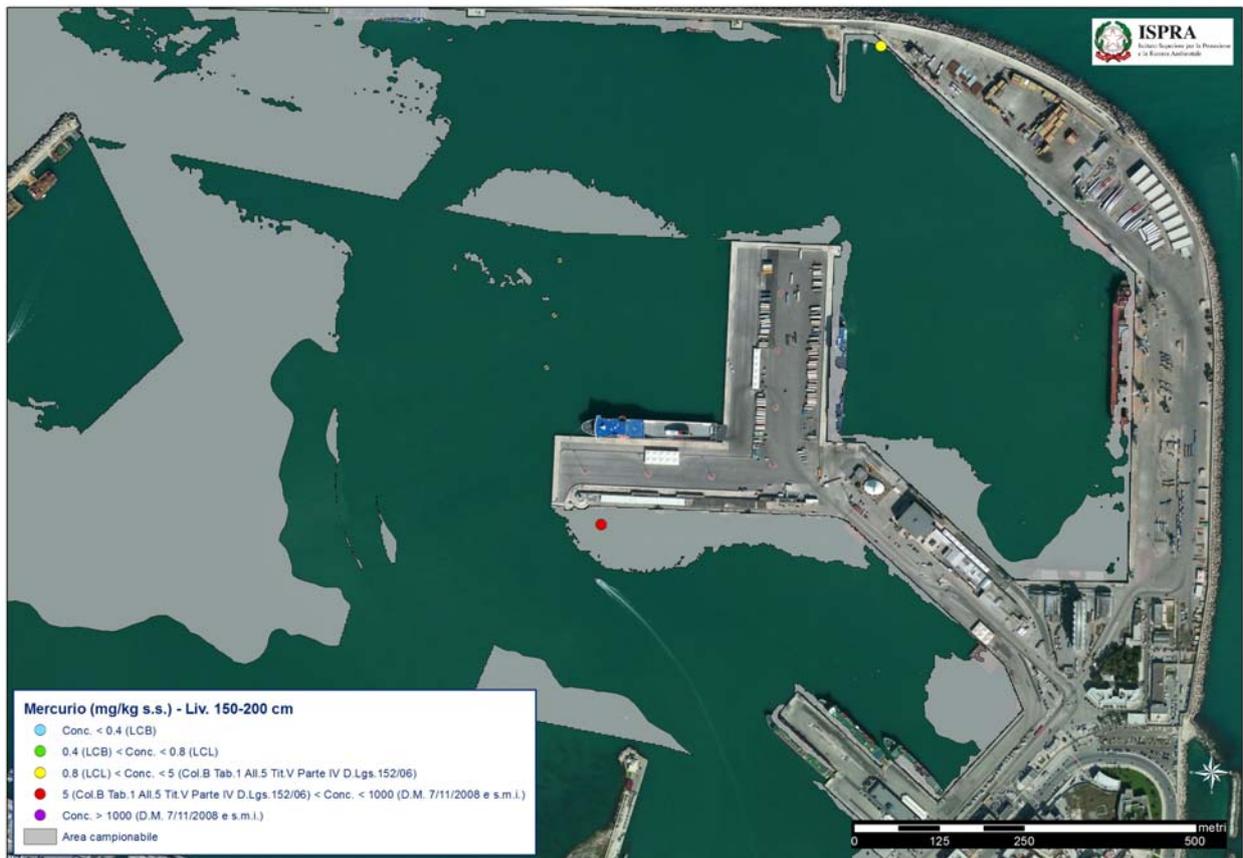


Figura 18: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Mercurio rilevate nello strato 150-200 cm.

Il Piombo presenta numerosi superamenti del relativo valore di riferimento (LCL Pb 70 mg/kg s.s.) lungo tutto lo spessore di sedimento indagato a ridosso delle banchine (da Figura 19 a Figura 22) e anche nell'area di manovra. I superamenti risultano essere comunque inferiori al limite di colonna B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06 (1.000 mg/kg s.s.) ad eccezione di un unico punto, corrispondente al livello 50-100 cm della stazione BA01/0061, dove è stata determinata una concentrazione pari a 95.056 mg/kg s.s., superiore al limite di concentrazione per l'attribuzione della pericolosità.



Figura 19: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Piombo rilevate nello strato 0-50 cm.

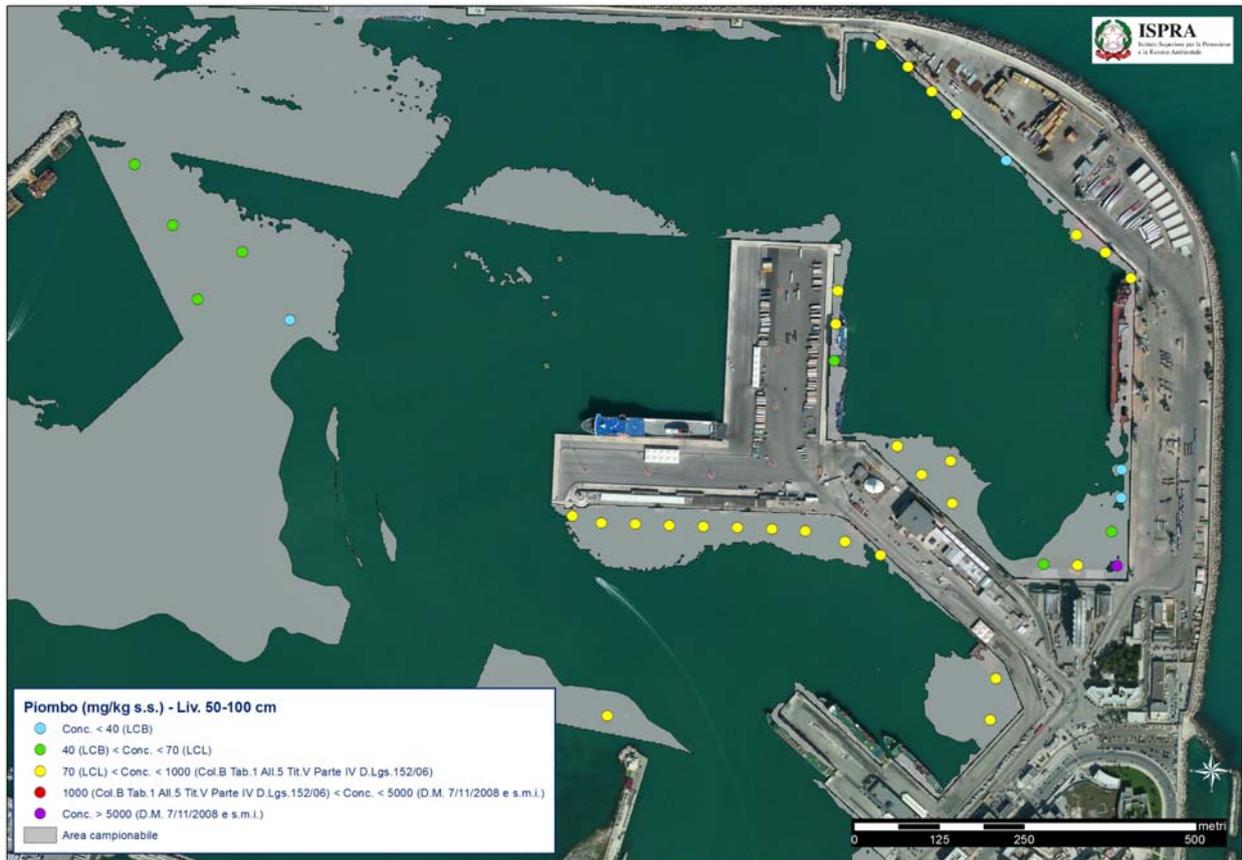


Figura 20: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Piombo rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 21: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Piombo rilevate nello strato 100-150 cm.

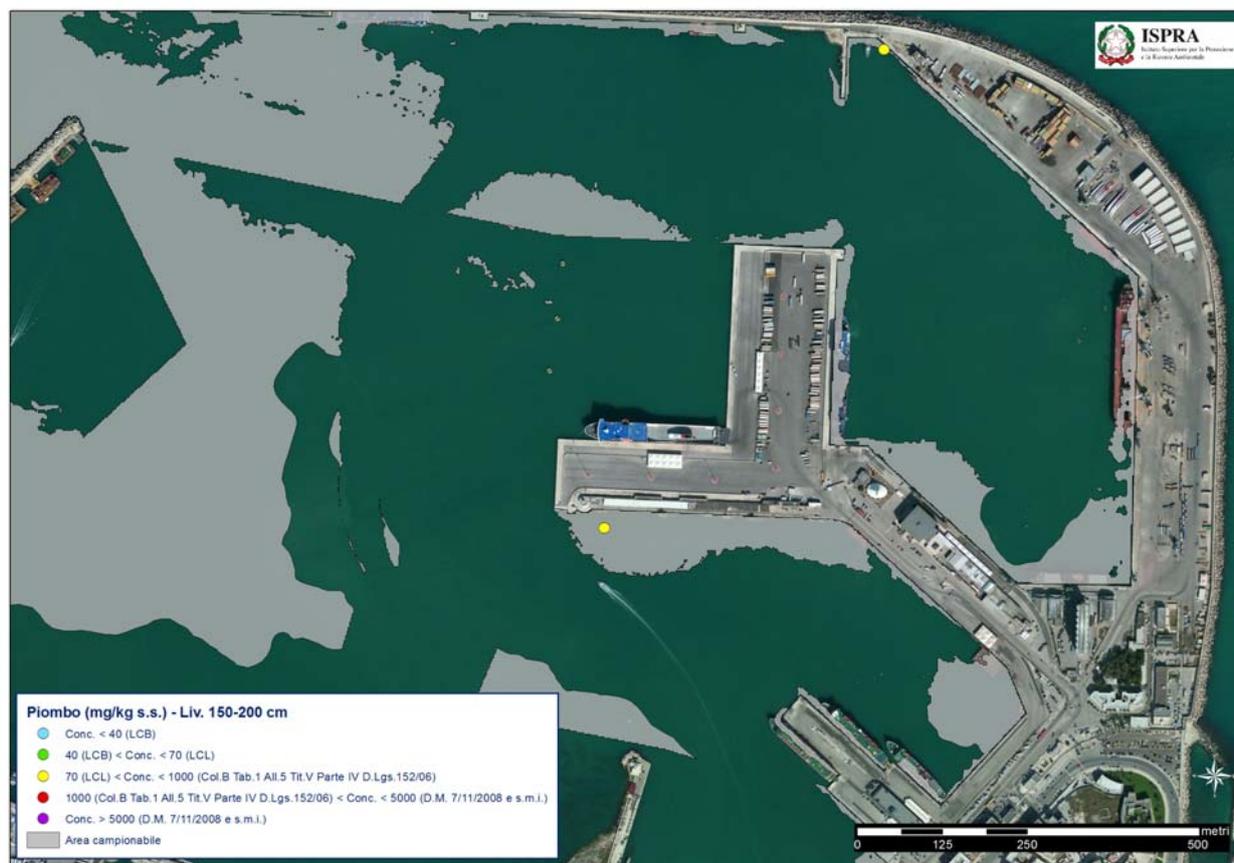


Figura 22: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Piombo rilevate nello strato 150-200 cm.

Per quanto concerne gli altri metalli ed elementi in tracce ricercati, si osservano superamenti del relativo Livello Chimico Limite per lo Zinco (LCL Zn 170 mg/kg s.s.), lungo tutto lo spessore indagato a ridosso delle banchine (da Figura 23 a Figura 26), con un unico superamento del limite di colonna B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06, pari a 2.390 mg/kg s.s. nel livello 50-100 cm della stazione BA01/0061, all'interno della Darsena di Levante. Analogo andamento è stato riscontrato per il Rame (LCL Cu 52 mg/kg s.s., da Figura 27 a Figura 30), con un valore massimo, pari a 376 mg/kg s.s., riscontrato nel livello 0-50 cm della stazione BA01/0055, nella Darsena di Levante.



Figura 23: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Zinco rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 24: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Zinco rilevate nello strato 50-100 cm.

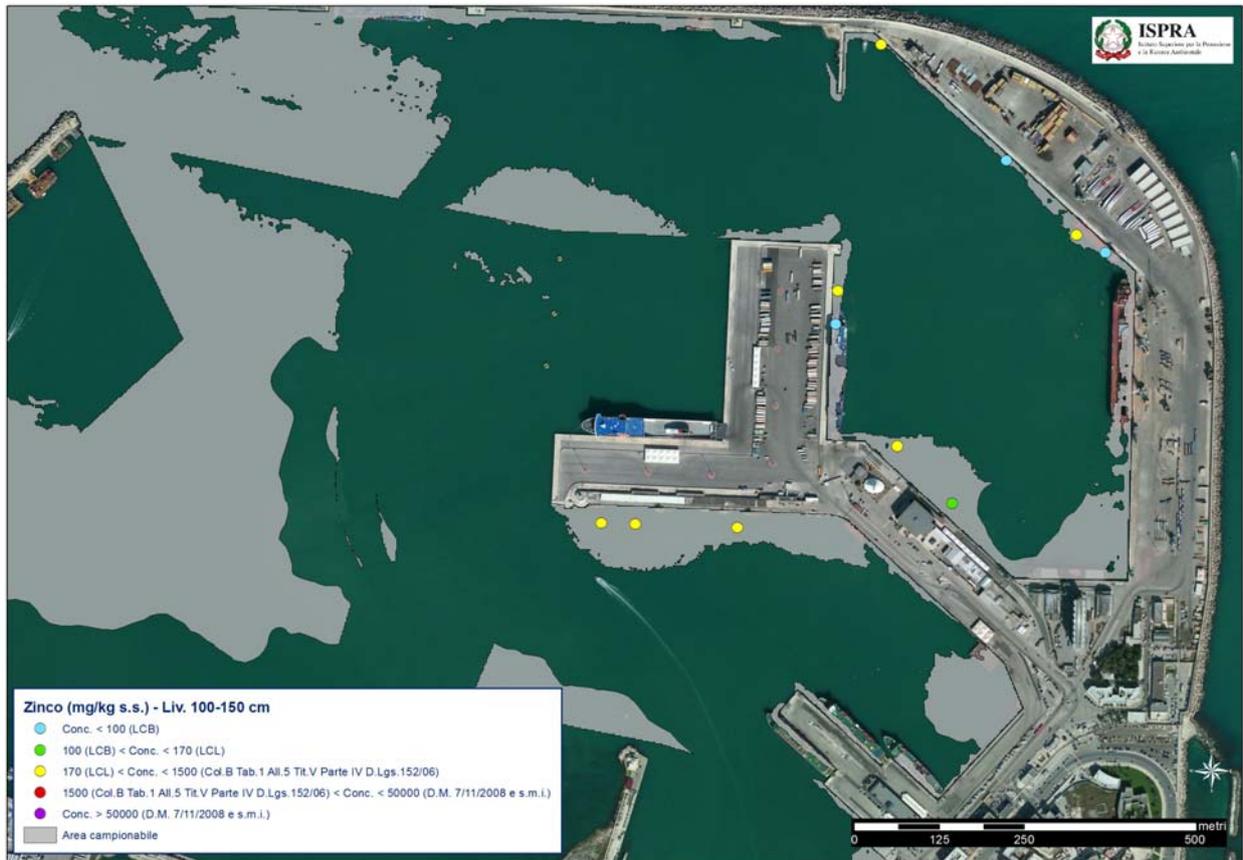


Figura 25: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Zinco rilevate nello strato 100-150 cm.

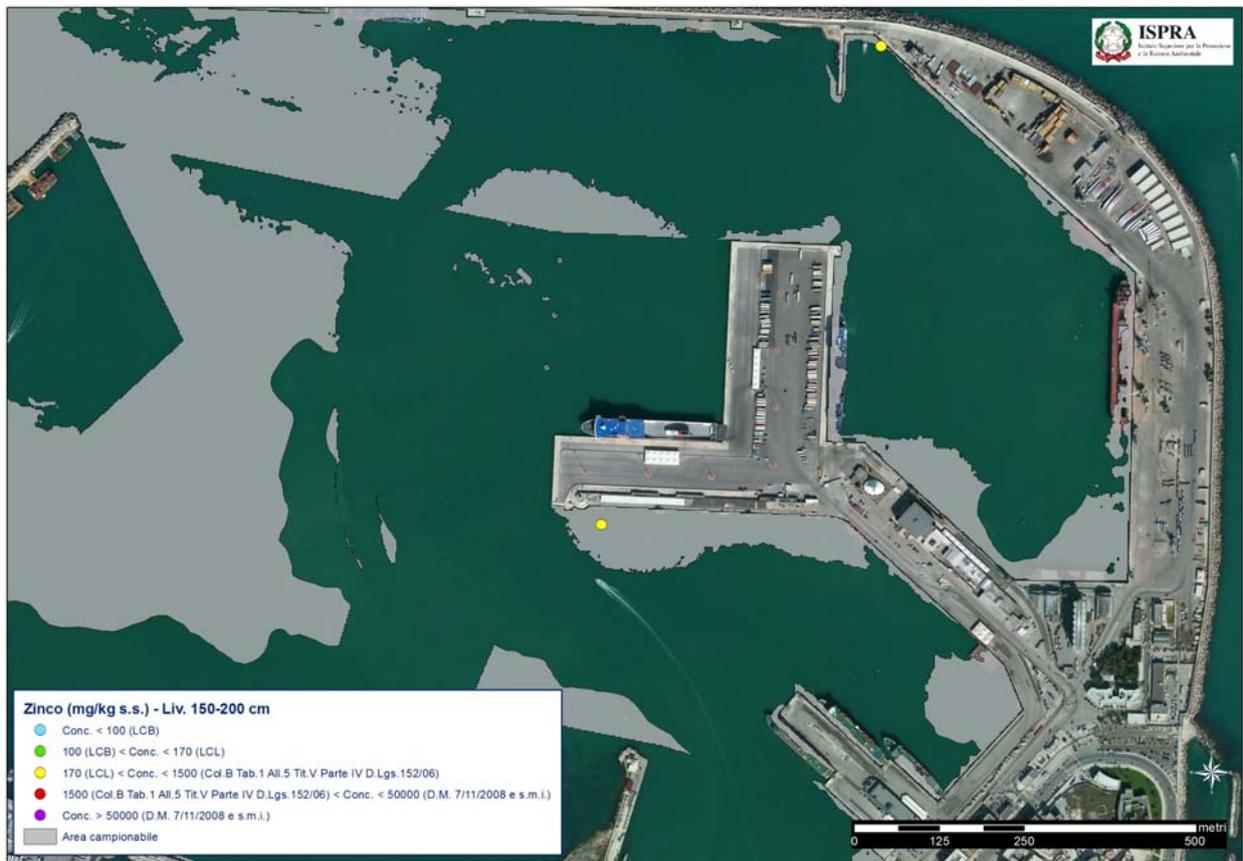


Figura 26: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Zinco rilevate nello strato 150-200 cm.



Figura 27: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Rame rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 28: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Rame rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 29: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Rame rilevate nello strato 100-150 cm.

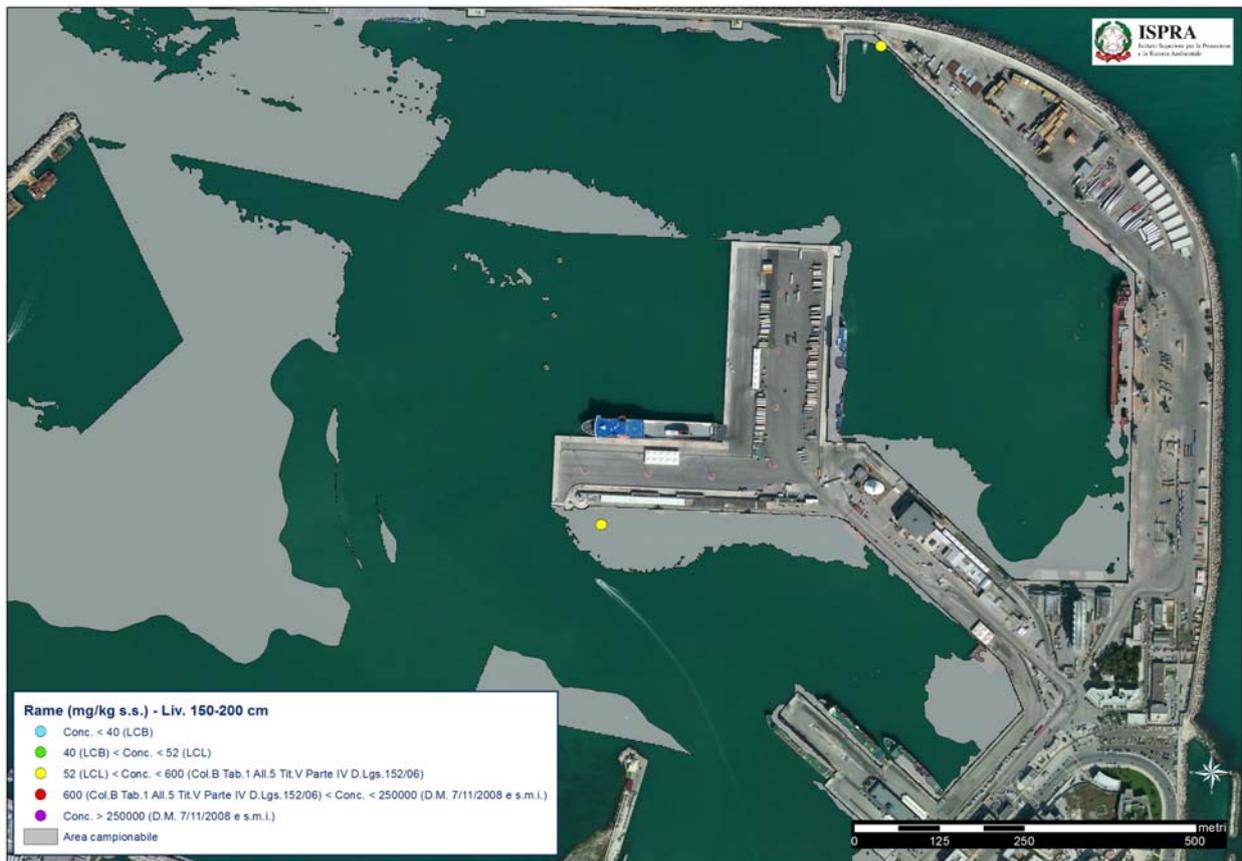


Figura 30: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Rame rilevate nello strato 150-200 cm.

Il Cadmio presenta concentrazioni medio-basse con pochi superamenti del Livello Chimico Limite (LCL Cd 0,8 mg/kg s.s., da Figura 31 a Figura 34) concentrati in alcune aree sotto banchina. Per gli altri elementi ricercati si osservano sempre concentrazioni basse con solo alcuni superamenti del livello chimico limite (LCL As 32 mg/kg s.s.) per l'Arsenico.



Figura 31: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Cadmio rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 32: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Cadmio rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 33: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Cadmio rilevate nello strato 100-150 cm.



Figura 34: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Cadmio rilevate nello strato 150-200 cm.

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) sono distribuiti in maniera alquanto omogenea in tutte le aree indagate, con concentrazioni superiori al Livello Chimico Limite (LCL IPA 4 mg/kg s.s.) nelle aree a ridosso delle banchine e lungo tutto lo spessore indagato (da Figura 35 a Figura 38), e con un unico superamento nell'area di manovra. In particolare, nella Darsena di Levante, in corrispondenza della stazione /0061 (livello 50-100 cm) è stata determinata una concentrazione pari a 61 mg/kg s.s..



Figura 35: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di IPA rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 36: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di IPA rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 37: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di IPA rilevate nello strato 100-150 cm.



Figura 38: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di IPA rilevate nello strato 150-200 cm.

Relativamente ai Policlorobifenili (PCB), pur essendo stati determinati un numero superiore di congeneri, sono stati considerati per la valutazione solo quelli riferiti alla somma delle concentrazioni dei soli congeneri previsti nella nota 2 alla Tabella 1 ed alla Tabella 2.

Le concentrazioni dei sedimenti prelevati lungo la banchina della Darsena Interna sono risultati quasi sempre superiori al Livello Chimico Limite (LCL PCB 0,189 mg/kg s.s.) lungo tutto lo spessore indagato (da Figura 39 a Figura 42), con un unico superamento di LCL nell'area di manovra. È da segnalare il livello di concentrazione particolarmente elevato, riscontrato nel livello 50-100 cm della stazione BA01/0083 nella Darsena Interna pari a 4,7 mg/kg s.s.



Figura 39: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di PCB rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 40: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di PCB rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 41: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di PCB rilevate nello strato 100-150 cm.



Figura 42: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di PCB rilevate nello strato 150-200 cm.

Nei sedimenti dell'area di manovra non sono state riscontrate evidenze analitiche di Pesticidi organoclorurati. Nelle altre aree indagate, a ridosso delle banchine nella Darsena Interna e lungo il molo foraneo nella Darsena di Levante sono stati riscontrati alcuni superamenti del Livello Chimico Limite del DDT (sommatoria 2,4-DDT e 4,4-DDT) e del valore limite di colonna B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06 (da Figura 43 a Figura 46).

Risulta invece molto diffusa la presenza dei composti di degradazione e metaboliti del DDT, ossia DDD (sommatoria 2,4-DDD e 4,4-DDD) (da Figura 47 a Figura 50) e DDE (sommatoria 2,4-DDE e 4,4-DDE) (da Figura 51 a Figura 54), con concentrazioni che superano i relativi Livelli Chimici Limite, ma anche i valori limite di colonna B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06, in tutto lo spessore di sedimento indagato a ridosso delle banchine.



Figura 43: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDT rilevate nello strato 0-50 cm.

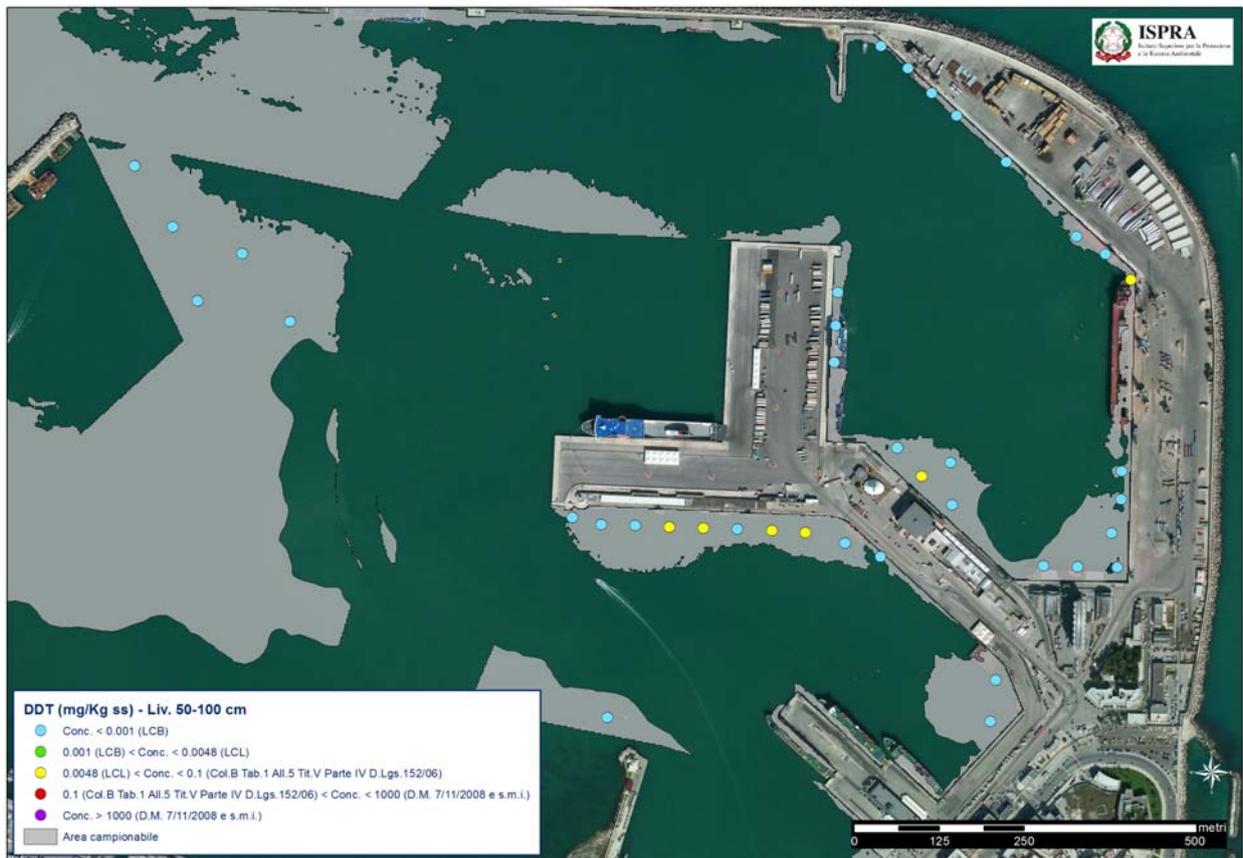


Figura 44: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDT rilevate nello strato 50-100 cm.

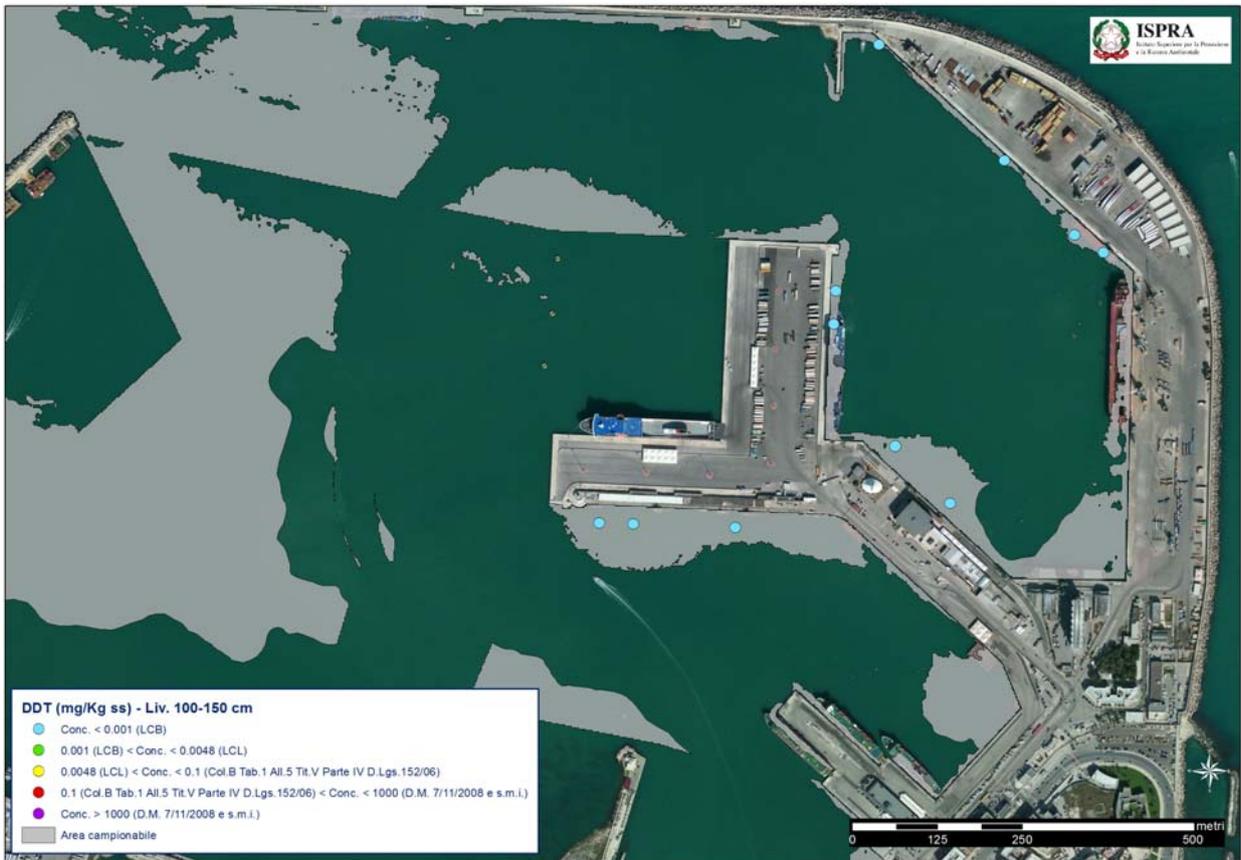


Figura 45: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDT rilevate nello strato 100-150 cm.

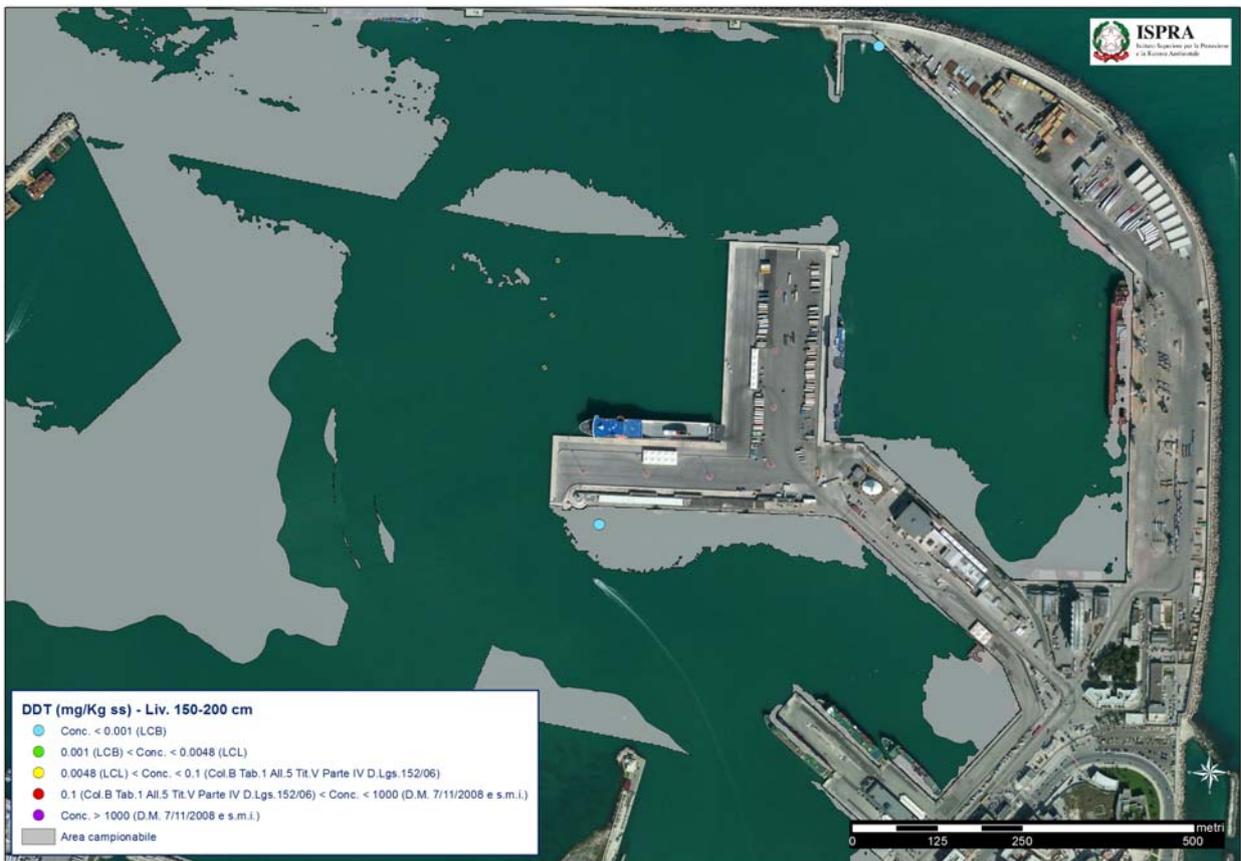


Figura 46: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDT rilevate nello strato 150-200 cm.



Figura 47: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDD rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 48: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDD rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 49: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDD rilevate nello strato 100-150 cm.

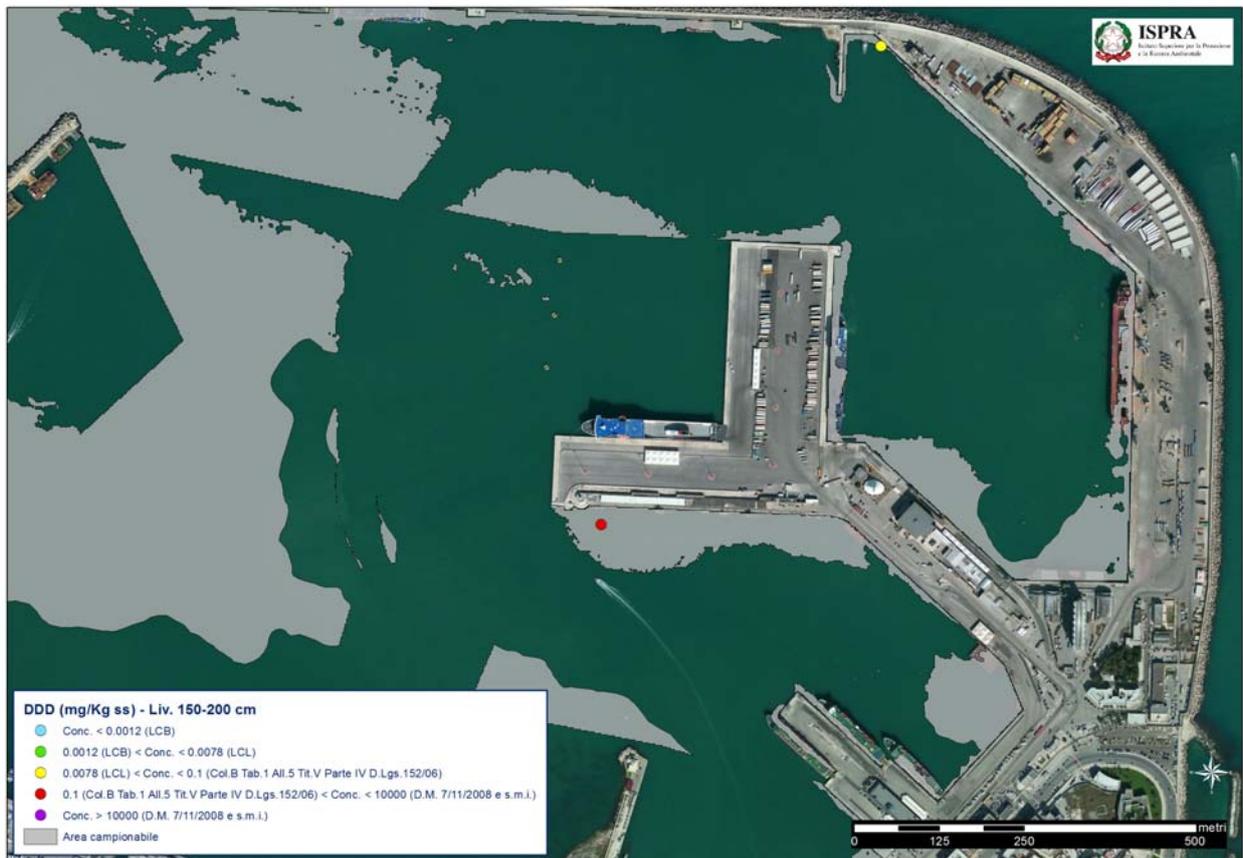


Figura 50: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDD rilevate nello strato 150-200 cm.



Figura 51: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDE rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 52: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDE rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 53: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDE rilevate nello strato 100-150 cm.

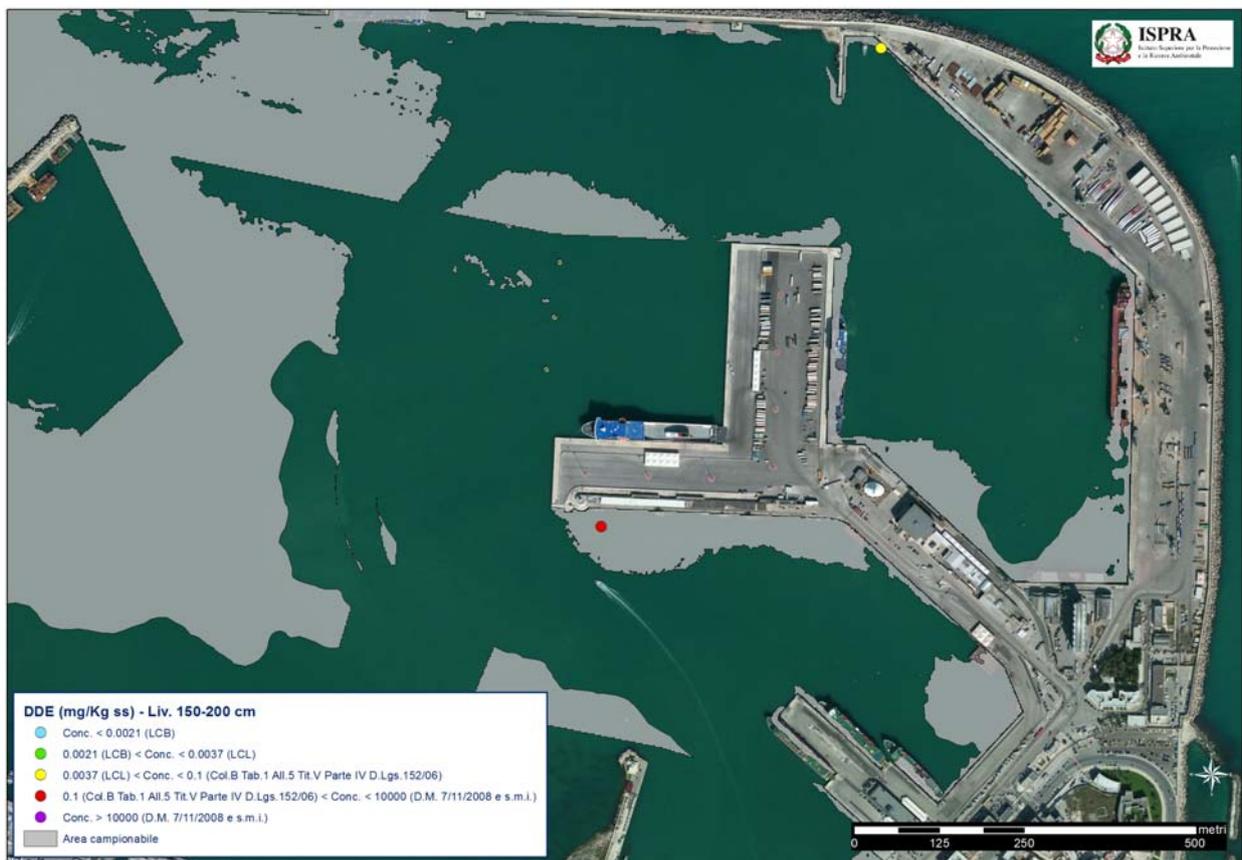


Figura 54: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di DDE rilevate nello strato 150-200 cm.

Per quanto concerne i rimanenti pesticidi organoclorurati si evidenzia che le concentrazioni riscontrate risultano essere tutte sotto il limite di determinazione del metodo analitico utilizzato, ad eccezione di un unico campione prelevato nella stazione BA01/0061 (livello 50-100) dove è stata riscontrata la presenza di α -HCH e γ -HCH. Per quest'ultimo, la concentrazione riscontrata risulta superiore al relativo Livello Chimico Limite (LCL γ -HCH 1,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ s.s.).

I composti organostannici sono presenti in modo diffuso a concentrazioni superiori al Livello Chimico Limite (LCL 0,072 mg/kg s.s.), sia nelle aree sotto banchine che nell'area di manovra e in tutto lo spessore di sedimento indagato. Il valore massimo determinato è pari a 1,03 mg/kg s.s., espresso come Sn, ed è stato riscontrato nel livello 50-100 cm della stazione BA01/0044, ubicata lungo il molo foraneo.



Figura 55: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni dei composti organostannici rilevate nello strato 0-50 cm.



Figura 56: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni dei composti organostannici rilevate nello strato 50-100 cm.



Figura 57: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni dei composti organostannici rilevate nello strato 100-150 cm.

5.3 Valutazione dei risultati delle indagini ecotossicologiche

Nell'ambito delle indagini ambientali condotte nel porto di Bari sono stati analizzati 34 campioni di sedimento strati prelevati su livelli differenti, ai quali è stata applicata una batteria di saggi biologici costituita da 3 organismi target (il batterio *Vibrio fischeri*, il riccio di mare *Paracentrotus lividus* e l'alga unicellulare *Phaeodactylum tricorutum*), tramite la quale sono state testate 2 matrici ambientali: una fase solida e l'elutriato. Complessivamente sono stati eseguiti 4 saggi biologici per ciascun campione, per un totale di 132 prove ecotossicologiche.

Un giudizio di tossicità attribuito ai singoli saggi biologici, sulla base dei criteri riportati nel *Manuale per la movimentazione dei fondali marini* (APAT-ICRAM, 2007), e recepiti nel D.M. 56/2009, è riportato in Tabella 4 e nelle immagini seguenti (da Figura 58 a Figura 60).

Tabella 4: Quadro riepilogativo dei giudizi di tossicità attribuiti ai singoli saggi biologici eseguiti sui campioni di sedimento portuale.

Campione	<i>Vibrio fischeri</i> (STI)	<i>Vibrio fischeri</i> (elutriato)	<i>Paracentrotus lividus</i> (elutriato)	<i>Phaeodactylum tricorutum</i> (elutriato)	GIUDIZIO COMPLESSIVO
BA01/0042/SC0000-0050	Red	Green	Green	Red	Red
BA01/0042/SC0100-0150	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
BA01/0044/SC0000-0050	Red	Yellow	Green	Red	Red
BA01/0044/SC0050-0100	Yellow	Green	Green	Red	Red
BA01/0047/SC0000-0050	Red	Yellow	Green	Green	Red
BA01/0047/SC0100-0150	Green	Red	Green	Green	Red
BA01/0051/SC0000-0050	Yellow	Red	Dark Grey	Red	Dark Grey
BA01/0051/SC0100-0150	Green	Green	Dark Grey	Green	Dark Grey
BA01/0053/SC0000-0050	Green	Yellow	Yellow	Green	Yellow
BA01/0056/SC0000-0050	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
BA01/0059/SC0000-0050	Green	Green	Green	Red	Red
BA01/0061/SC0000-0050	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow
BA01/0061/SC0050-0100	Yellow	Yellow	Green	Red	Red
BA01/0068/SC0000-0050	Green	Yellow	Red	Green	Red
BA01/0069/SC0000-0050	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
BA01/0069/SC0100-0150	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
BA01/0072/SC0000-0050	Green	Green	Green	Red	Red
BA01/0072/SC0050-0100	Green	Yellow	Green	Red	Red
BA01/0075/SC0000-0050	Red	Green	Green	Red	Red
BA01/0076/SC0000-0050	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
BA01/0076/SC0050-0100	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
BA01/0079/SC0000-0050	Green	Green	Green	Red	Red
BA01/0082/SC0000-0050	Red	Yellow	Dark Grey	Red	Dark Grey
BA01/0082/SC0100-0150	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
BA01/0085/SC0000-0050	Red	Yellow	Dark Grey	Green	Dark Grey
BA01/0085/SC0050-0100	Yellow	Yellow	Dark Grey	Green	Dark Grey
BA01/0088/SC0000-0050	Green	Green	Green	Green	Green
BA01/0090/SC0000-0050	Red	Yellow	Red	Red	Red
BA01/0108/SC0000-0050	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow
BA01/0124/SC0000-0050	Green	Yellow	Red	Green	Red
BA01/0126/SC0000-0050	Yellow	Green	Green	Green	Yellow
BA01/0128/SC0000-0050	Yellow	Green	Green	Green	Yellow
BA01/0128/SC0050-0100	Green	Yellow	Green	Red	Red
BA01/0130/SC0000-0050	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
LEGENDA					
Tossicità assente o trascurabile					
Tossicità presente					
Tossicità elevata					
Tossicità molto elevata					

Gli esiti dei saggi biologici, coerentemente con quanto evidenziato dalla caratterizzazione chimica, descrivono una situazione relativamente compromessa, con una tossicità acuta e cronica diffusa in tutta la volumetria dei sedimenti indagati, talvolta anche di rilevante entità. Ad eccezione di un unico campione tutte le aliquote di sedimento, hanno determinato effetti biologici significativi in almeno un saggio biologico. Ciò ha interessato entrambe le matrici ambientali analizzate, lasciando ipotizzare la presenza di miscele complesse di contaminanti a carattere sia idrofilo sia idrofobico, presenti in evidente forma biodisponibile per gli organismi e potenzialmente in grado di provocare gravi effetti nei confronti delle comunità acquatiche.

Di particolare rilevanza sono risultati gli effetti misurati nei confronti del saggio con il riccio di mare in 5 campioni (contraddistinti in grigio scuro in Tabella 4) in termini di riduzione della capacità fecondante a seguito dell'esposizione all'elutriato.



Figura 58: Giudizio complessivo di tossicità nel livello 0-50 cm



Figura 59: Giudizio complessivo di tossicità nel livello 50-100 cm



Figura 60: Giudizio complessivo di tossicità nel livello 100-150 cm

5.4 Valutazione dei risultati delle indagini microbiologiche

Gli esiti delle determinazioni microbiologiche non hanno evidenziato la presenza di organismi patogeni, quali la Salmonella. Tuttavia, le concentrazioni di *E. Coli* e Streptococchi fecali, riscontrate principalmente nei sedimenti superficiali delle aree sottobanchina, sono indice di un apporto antropico di origine fecale, presumibilmente dovuto alla presenza di scarichi civili.

6 VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI ED OPZIONI DI GESTIONE

Sulla base del quadro ambientale emerso (cfr. # cap. 5), si può effettuare una valutazione complessiva dello stato di qualità dei sedimenti da dragare finalizzata alla successiva fase di gestione. Associando al giudizio chimico anche il giudizio complessivo di tossicità, si evince che la totalità dei sedimenti sono tali da limitare le possibilità di gestione, come indicato nel manuale ICRAM-APAT (2007) per la movimentazione di sedimenti marini, alle seguenti opzioni:

- deposizione all'interno di bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo;
- conferimento in discarica di opportuna categoria.

Per quanto riguarda i sedimenti "VIOLA", ovvero con concentrazioni superiori al valore limite per l'attribuzione della pericolosità, presenti nell'intorno della stazione BA01/0061, si precisa che il volume ad essi corrispondente è pari a circa 2.090 m³. Tale volume è stato determinato associando le dimensioni di una cella 50x50x1 m con i dati derivanti dall'elaborazione del rilievo batimetrico, della quota di escavo prevista dal progetto di dragaggio e delle informazioni relative alla morfologia e natura dei fondali.

Inoltre, si vuole evidenziare che, a seguito delle operazioni di dragaggio previste, potrebbero permanere *in situ* sedimenti con elevate concentrazioni di contaminanti, come ad esempio in corrispondenza della sopra richiamata stazione BA01/0061 e nell'area della Darsena Interna, tra la stazione BA01/0076 e la stazione BA01/0088, dove sono stati riscontrati rispettivamente sedimenti con concentrazioni superiori/uguali ai valori limite per l'attribuzione della pericolosità e sedimenti con concentrazioni superiori alla colonna B del D.Lgs. 152/06, fino alla massima profondità investigata. A tal fine si ritiene utile valutare la possibilità, in termini anche di fattibilità tecnico-economica, di estendere le operazioni di dragaggio anche agli eventuali sedimenti contaminati residui, al fine di ridurre il rischio di tipo ambientale derivante da una eventuale risospensione e diffusione del sedimento (causata per esempio dal traffico delle imbarcazioni all'interno dell'area portuale) e della contaminazione ad esso associata.

6.1 Il dragaggio e la gestione dei sedimenti

In considerazione della qualità dei sedimenti, la loro rimozione dovrà essere effettuata con tecniche di dragaggio ambientale, volte alla minimizzazione della loro risospensione e della produzione di torbidità.

Dovrà inoltre essere effettuata, prima dell'avvio degli interventi di dragaggio, una ricognizione specifica per l'individuazione di eventuali masse metalliche, trovanti, corpi morti, catene e ordigni bellici sepolti e la successiva rimozione, preliminare o contestuale al dragaggio, in modo da non compromettere l'efficacia degli interventi di rimozione e realizzare garantire le adeguate condizioni di sicurezza per la loro esecuzione.

Le attività di rimozione dei sedimenti contaminati dovranno prevedere adeguate misure di mitigazione degli eventuali impatti. Tali misure devono essere dimensionate sulla base delle caratteristiche ambientali locali, dei potenziali bersagli e della loro sensibilità, delle caratteristiche fisico-chimiche dei sedimenti da rimuovere e della metodologia di escavo prescelta.

Una volta selezionata la tipologia di dragaggio ambientale più adeguata all'intervento, sia in relazione alla tipologia di sedimento che alla sua qualità, ed individuate le opportune misure di mitigazione, risulta indispensabile prevedere ed attuare un piano di monitoraggio estensivo per la verifica dell'assenza di effetti sull'ambiente circostante e il controllo dell'efficacia delle misure di mitigazione adottate.

Per quanto riguarda l'individuazione delle possibili opzioni di gestione dei sedimenti dragati, la loro scelta dipenderà:

- dalle caratteristiche chimico-fisiche ed ecotossicologiche del sedimento;
- dai volumi di sedimento da rimuovere;
- dall'impatto sull'ambiente dell'intervento stesso;
- dalla realizzabilità tecnica nel sito in esame;
- dai tempi di realizzazione;
- dall'analisi costi-benefici.

Nello specifico, per i sedimenti in cui almeno uno dei parametri analizzati presenti concentrazioni superiori/uguali ai valori limite per l'attribuzione della pericolosità (sedimenti VIOLA), può essere ipotizzato:

1. lo smaltimento presso una discarica a terra di opportuna categoria;
2. l'invio ad appositi impianti di trattamento ai fini della decontaminazione del sedimento per il successivo eventuale refluitamento all'interno di bacini di contenimento (casse di colmata) con impermeabilizzazione laterale e del fondo o per l'invio in discarica di categoria inferiore.

Per le altre tipologie di sedimento, può essere ipotizzato:

1. refluitamento all'interno di bacini di contenimento (casse di colmata) con impermeabilizzazione laterale e del fondo;
2. invio ad appositi impianti di trattamento ai fini della decontaminazione del sedimento per il successivo eventuale riutilizzo secondo la normativa vigente.
3. lo smaltimento presso una discarica a terra di opportuna categoria.

In particolare, la destinazione dei sedimenti con concentrazioni superiori al Livello Chimico Limite (LCL) in bacini di contenimento (casse di colmata) è subordinato alle procedure autorizzative regionali e alle caratteristiche strutturali e di impermeabilizzazione.

Nel caso di invio del sedimento ad impianti di trattamento, dovranno essere valutate le diverse tecnologie di trattamento *ex situ* dei sedimenti contaminati, ai fini dell'individuazione delle soluzioni tecniche più idonee per le diverse tipologie di sedimento. In tale senso, le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche dei sedimenti contaminati sono di fondamentale importanza per determinare l'applicabilità e la durata di un qualunque trattamento, con particolare riguardo ai casi in cui sussista la coesistenza di diverse famiglie di inquinanti, come nel caso in oggetto.

BIBLIOGRAFIA

APAT e ICRAM, 2007. *Manuale per la movimentazione di sedimenti marini*.

Autorità Portuale del Levante, 2010. Available: <http://www.aplevante.org>

Autorità Portuale di Bari, 2003. *Master Plan del Porto di Bari*. 221 pp.

D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152. *Norme in materia ambientale*.

Decreto Ministeriale del 24 gennaio 1996. *Direttive inerenti le attività istruttorie per il rilascio delle autorizzazioni di cui all'art. 11 della legge 10 maggio 1976, n. 319 (2), e successive modifiche ed integrazioni, relative allo scarico nelle acque del mare o in ambienti ad esso contigui, di*

materiali provenienti da escavo di fondali di ambienti marini o salmastri o di terreni litoranei emersi, nonché da ogni altra movimentazione di sedimenti in ambiente marino.

Decreto Ministero Ambiente 7 novembre 2008. *Disciplina delle operazioni di dragaggio nei siti di bonifica di interesse nazionale, ai sensi dell'articolo 1, comma 996, della legge n. 296 del 27 dicembre 2006, n. 296.*

Legge 27 Dicembre 2006, n.296. *Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2007).*

ICRAM, 2002. *Quaderno ICRAM n. 1: Aspetti tecnico/scientifici per la salvaguardia ambientale nelle attività di movimentazione dei fondali marini: Dragaggi Portuali.*



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

PORTO DI BARI

**ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE INTEGRATIVA E VALUTAZIONE COMPLESSIVA
DEI RISULTATI DEL I STRALCIO DI CARATTERIZZAZIONE DEI FONDALI OGGETTO DI
INTERVENTI DI DRAGAGGIO**

(Integrazione alla relazione CII-EI-PU-Bari_I stralcio-01.06)

Giugno 2012

CII-EI-PU-Bari_I stralcio-02.01

PORTO DI BARI

ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE INTEGRATIVA E VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI DEL I STRALCIO DI CARATTERIZZAZIONE DEI FONDALI OGGETTO DI INTERVENTI DI DRAGAGGIO

(Integrazione alla relazione CII-El-PU-Bari_I stralcio-01.06)

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	ATTIVITA' DI CARATTERIZZAZIONE INTEGRATIVA	5
3	VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI ED OPZIONI DI GESTIONE	6
3.1	Valutazione dello stato chimico complessivo dei sedimenti	6
3.2	Valutazione integrata chimico-ecotossicologica dello stato qualitativo dei sedimenti.....	9
3.3	Stima dei volumi in funzione delle classi di qualità ed opzioni di gestione compatibili...	11

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce una integrazione alla relazione “Porto di Bari - Valutazione dei risultati del I stralcio di caratterizzazione dei fondali oggetto di interventi di dragaggio” (rif. doc. ISPRA CII-El-PU-Bari_I stralcio-01.06, ottobre 2011), trasmessa con nota prot. n. 33618 dell’11 ottobre 2011, elaborata nell’ambito dell’incarico conferito dall’Autorità Portuale del Levante ad ISPRA per la valutazione dei risultati di caratterizzazione dei sedimenti dei porti di Bari, Barletta e Monopoli e per la redazione del Piano di Gestione dei sedimenti di dragaggio (Delibera del Presidente n. 45 dell’11 aprile 2011).

Come illustrato nella suddetta relazione, nell’ambito della caratterizzazione ambientale del Porto di Bari condotta tra dicembre 2010 e luglio 2011, in attuazione a quanto previsto dal Piano di caratterizzazione ambientale dei fondali delle aree portuali di Bari, Barletta e Monopoli (rif. doc. ISPRA # CII-Pr-PU-Bari_Barletta_Monopoli-01.10), in corrispondenza del livello 50-100 cm della stazione BA01/0061 è stata misurata una concentrazione di Piombo superiore al limite per l’attribuzione della caratteristica di pericolosità dei materiali, definito sulla base dei criteri indicati nell’Allegato D del D.Lgs 152/2006 Parte IV - Titolo I e II e ss.mm.ii. e nel D.M. 7 novembre 2008 e ss.mm.ii. (Figura 1).



Figura 1: Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Piombo rilevate nello strato 50-100 cm.

Al fine di ottimizzare la gestione dei sedimenti afferenti alla maglia individuata dalla stazione BA01/0061 caratterizzati da tali concentrazioni di Piombo, l’Autorità Portuale ha provveduto alla realizzazione di una campagna di caratterizzazione integrativa nell’intorno della suddetta stazione di campionamento allo scopo di circoscrivere il volume di sedimenti da gestire con particolare cautela.

Inoltre, sulla scorta dei risultati della caratterizzazione effettuata, già illustrati nella sopra richiamata relazione, aggiornati sulla base della caratterizzazione integrativa, si è quindi proceduto ad effettuare la valutazione della qualità dei sedimenti caratterizzati e l'individuazione delle loro possibili soluzioni di gestione nel rispetto dei criteri indicati dal “*Manuale per la movimentazione di sedimenti marini*”, redatto da APAT e ICRAM nel 2007, tenendo conto delle esigenze di dragaggio del porto in esame e del contesto normativo vigente.

Il presente documento è quindi articolato nel modo seguente:

- una descrizione delle attività di caratterizzazione integrativa condotte;
- l'individuazione delle differenti categorie qualitative dei sedimenti, sulla base di quanto indicato dal Manuale “APAT-ICRAM” (2007);
- la stima di massima dei volumi caratterizzati in funzione delle differenti classi di qualità;
- l'individuazione di possibili soluzioni gestionali ambientalmente compatibili ed in linea con le esigenze di dragaggio dell'APL.

2 ATTIVITA' DI CARATTERIZZAZIONE INTEGRATIVA

Al fine di procedere alla caratterizzazione integrativa, la maglia corrispondente alla stazione BA01/0061, di dimensioni indicative di 50x50 m, è stata ulteriormente suddivisa in n. 4 maglie di dimensioni di circa 25x25 m, in corrispondenza di ciascuna delle quali è stata posizionata una stazione di campionamento, per un totale di n. 4 stazioni individuate dai codici BA01/0061/1, BA01/0061/2, BA01/0061/3 e BA01/0061/4 (Figura 2).



Figura 2: Stazioni di campionamento integrative

In corrispondenza di ogni stazione così individuata, è stato effettuato un carotaggio fino alla massima profondità investigabile, tenendo conto delle quote batimetriche e della natura dei fondali. Nel dettaglio, in corrispondenza delle stazioni BA01/0061/1, BA01/0061/2 e BA01/0061/4 è stata prelevata una carota di lunghezza pari ad 1 m e nella stazione BA01/0061/3 è stata prelevata una carota di lunghezza pari ad 1,5 m.

Da ogni carota sono quindi stati prelevati campioni corrispondenti a livelli di 50 cm, per un totale di n. 9 campioni.

I campioni così individuati sono stati sottoposti ad analisi chimica esclusivamente per la determinazione del parametro Piombo.

Le analisi condotte hanno permesso di riscontrare concentrazioni di Piombo nella maggior parte dei casi comprese tra gli LCB e gli LCL (range 50 - 69 mg kg⁻¹). Solo in due campioni (i livelli superficiali delle stazioni BA01/0061/1 e BA01/0061/3) si registrano concentrazioni di poco superiori agli LCL, rispettivamente pari a 78 e 113 mg kg⁻¹.

3 VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI ED OPZIONI DI GESTIONE

3.1 Valutazione dello stato chimico complessivo dei sedimenti

Al fine di procedere ad una valutazione della qualità dei sedimenti oggetto di indagine, ogni campione è stato ritenuto rappresentativo dell'intero volume di sedimenti afferenti alla maglia di campionamento (Figura 3) e al livello a cui esso si riferisce.



Figura 3: Suddivisione dell'area di indagine in maglie

Per quanto riguarda la maglia corrispondente alla stazione BA01/0061, a causa dell'elevata concentrazione di piombo riscontrata nella prima fase di caratterizzazione, a fini cautelativi si è ritenuto opportuno suddividere tale maglia in 5 sottomaglie rettangolari, ciascuna delle quali rappresentativa della stazione in essa collocata, comprendendo sia la stazione originaria sia quelle integrative. La dimensione di tali sottomaglie è stata individuata considerando la metà della distanza tra le stazioni limitrofe (riquadro in Figura 3).

La qualità chimica di ognuna delle sottomaglie è stata attribuita considerando le concentrazioni dei parametri determinate nella stazione BA01/0061 originaria, ad eccezione del Piombo, e le concentrazioni di Piombo rilevate in ognuna delle stazioni in essa collocate.

Per quanto riguarda la classificazione chimica dei sedimenti ricadenti nelle cosiddette "aree residue", ovvero quelle nelle quali non ricade il punto di campionamento, è stata attribuita una categoria di qualità sulla base di quella delle aree adiacenti e/o degli strati sovrastanti e sottostanti.

Ai risultati delle analisi effettuate, in assenza di valori chimici di riferimento locali, sono state applicate, così come previsto dal "Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini" (ICRAM-

APAT, 2007), le tolleranze ammesse rispetto ai valori di riferimento dei Livelli Chimici di Base e dei Livelli Chimici Limite. Tali tolleranze consistono in uno scostamento massimo ammissibile non superiore al 20 % per le sostanze Pericolose Prioritarie, al 25 % per le sostanze Prioritarie ed al 50 % per tutte le altre, per un massimo del 20 % dei campioni esaminati.

A seguito dell'applicazione delle tolleranze e della sovrapposizione dei giudizi di qualità risultanti, è stata ottenuta una valutazione chimica complessiva dell'area in esame, illustrata da Figura 4 a Figura 7, nelle quali sono stati visualizzati con il colore:

- “VERDE CHIARO” i sedimenti in cui non si hanno superamenti degli LCB;
- “VERDE SCURO” i sedimenti per cui almeno uno dei parametri analizzati presenta concentrazioni superiori agli LCB, ma inferiori agli LCL;
- “GIALLO” i sedimenti per cui almeno uno dei parametri analizzati presenta concentrazioni superiori agli LCL, ma inferiori ai valori di concentrazione limite indicati nella Col. B tab. 1 del D.Lgs. 152/06;
- “ROSSO” i sedimenti in cui almeno uno dei parametri analizzati presenta concentrazioni superiori ai valori di concentrazione limite indicati nella col. B tab. 1 del D.Lgs. 152/06, ma inferiori ai valori limite per la classificazione dei “pericolosi” definiti sulla base dei criteri indicati nell'Allegato D del D.Lgs 152/2006 Parte IV - Titolo I e II e ss.mm.ii. e nel D.M. 7 novembre 2008 e ss.mm.ii.;
- “VIOLA” i sedimenti in cui almeno uno dei parametri analizzati presenta concentrazioni superiori ai i limiti di concentrazione per l'attribuzione della pericolosità, definiti sulla base dei criteri indicati nell'Allegato D del D.Lgs 152/2006 Parte IV - Titolo I e II e ss.mm.ii. e nel D.M. 7 novembre 2008 e ss.mm.ii..



Figura 4: Valutazione chimica complessiva del livello 0-50 cm.



Figura 5: Valutazione chimica complessiva del livello 50-100 cm

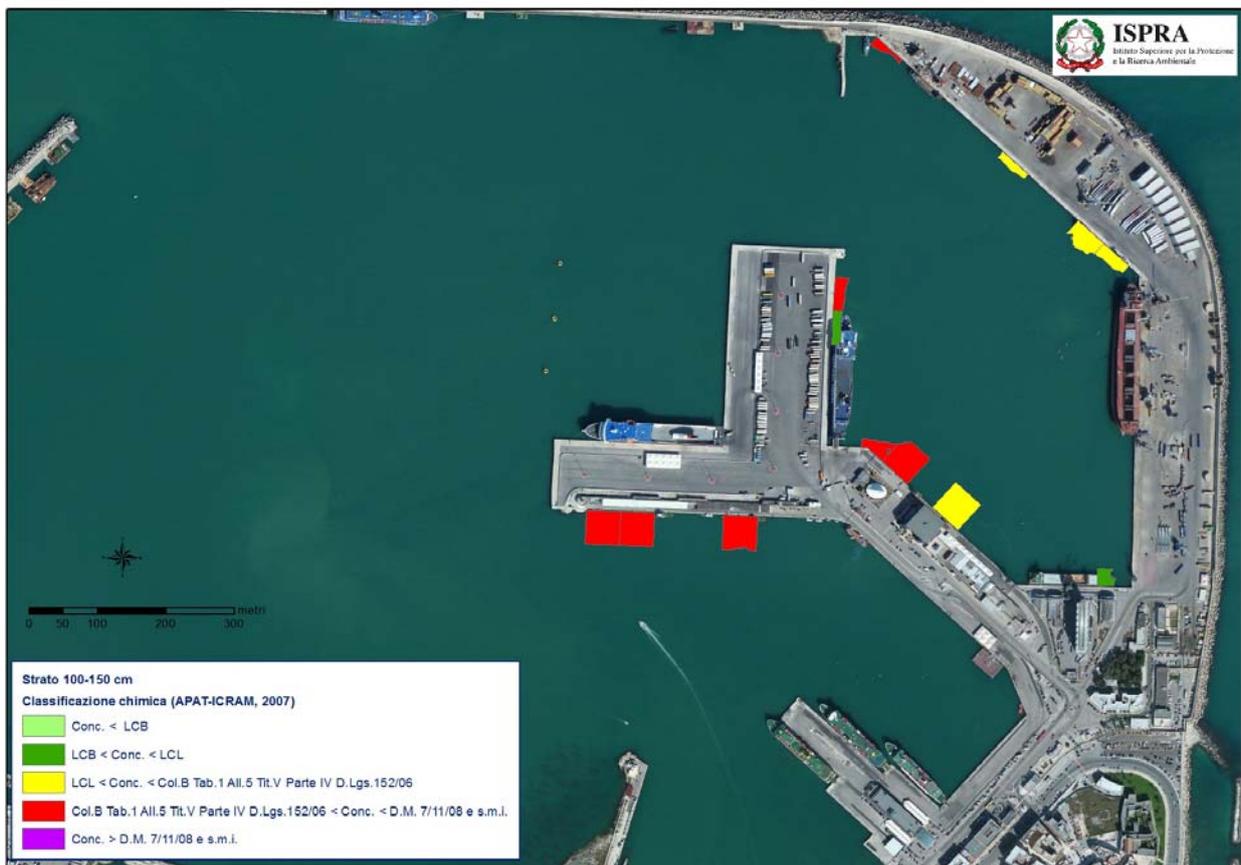


Figura 6: Valutazione chimica complessiva del livello 100-150 cm

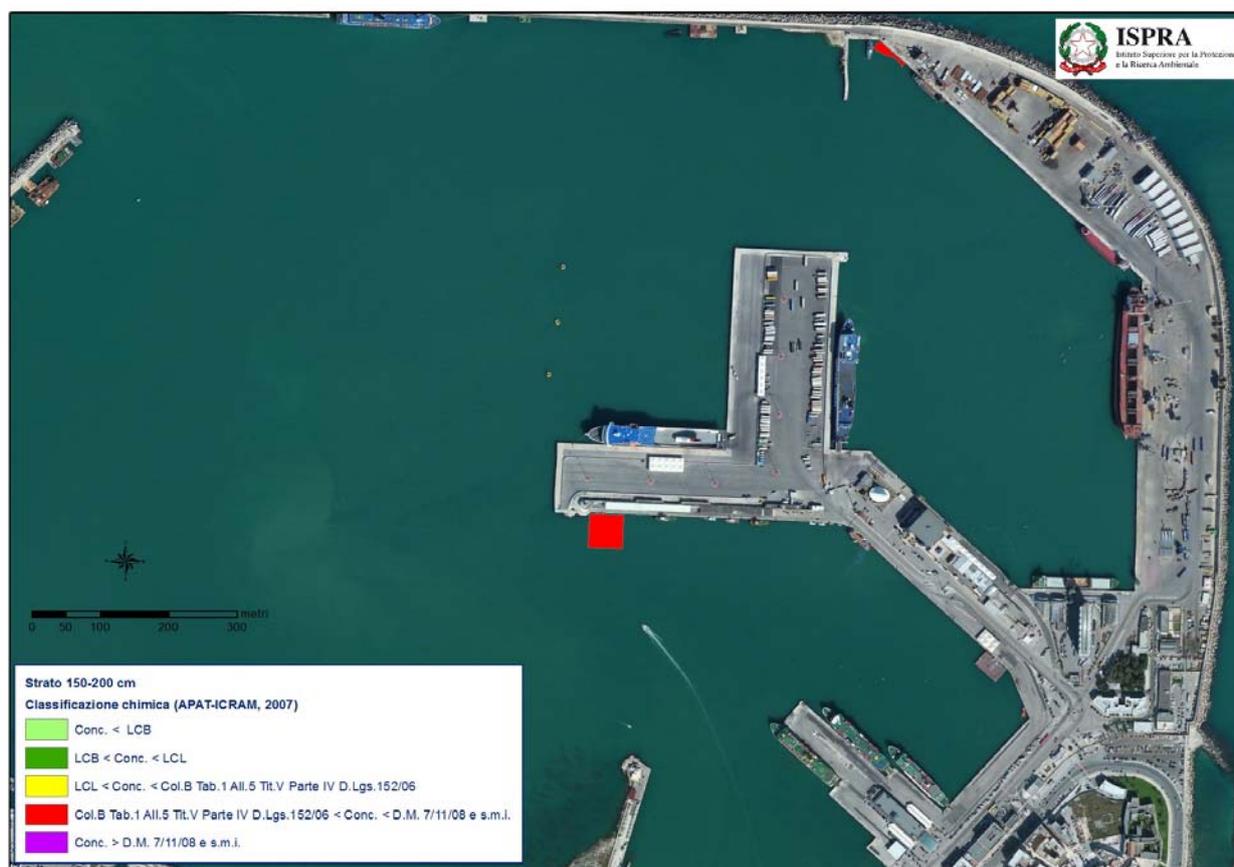


Figura 7: Valutazione chimica complessiva del livello 150-200 cm

3.2 Valutazione integrata chimico-ecotossicologica dello stato qualitativo dei sedimenti

Integrando i giudizi chimici con quelli ecotossicologici (secondo i criteri di cui alla tabella 2.4 del Manuale APAT-ICRAM, 2007), è stato possibile effettuare una classificazione dei sedimenti, così come illustrato da Figura 8 a Figura 9, dove sono indicati con il colore:

- “VERDE CHIARO” i sedimenti di qualità A1;
- “VERDE SCURO” di qualità A2;
- “GIALLO” i sedimenti di qualità B1;
- “ARANCIONE” i sedimenti di qualità B2;
- “ROSSO” i sedimenti di qualità C1;
- “ROSSO SCURO” i sedimenti di qualità C2.



Figura 8: Classificazione qualitativa del livello 0-50 cm

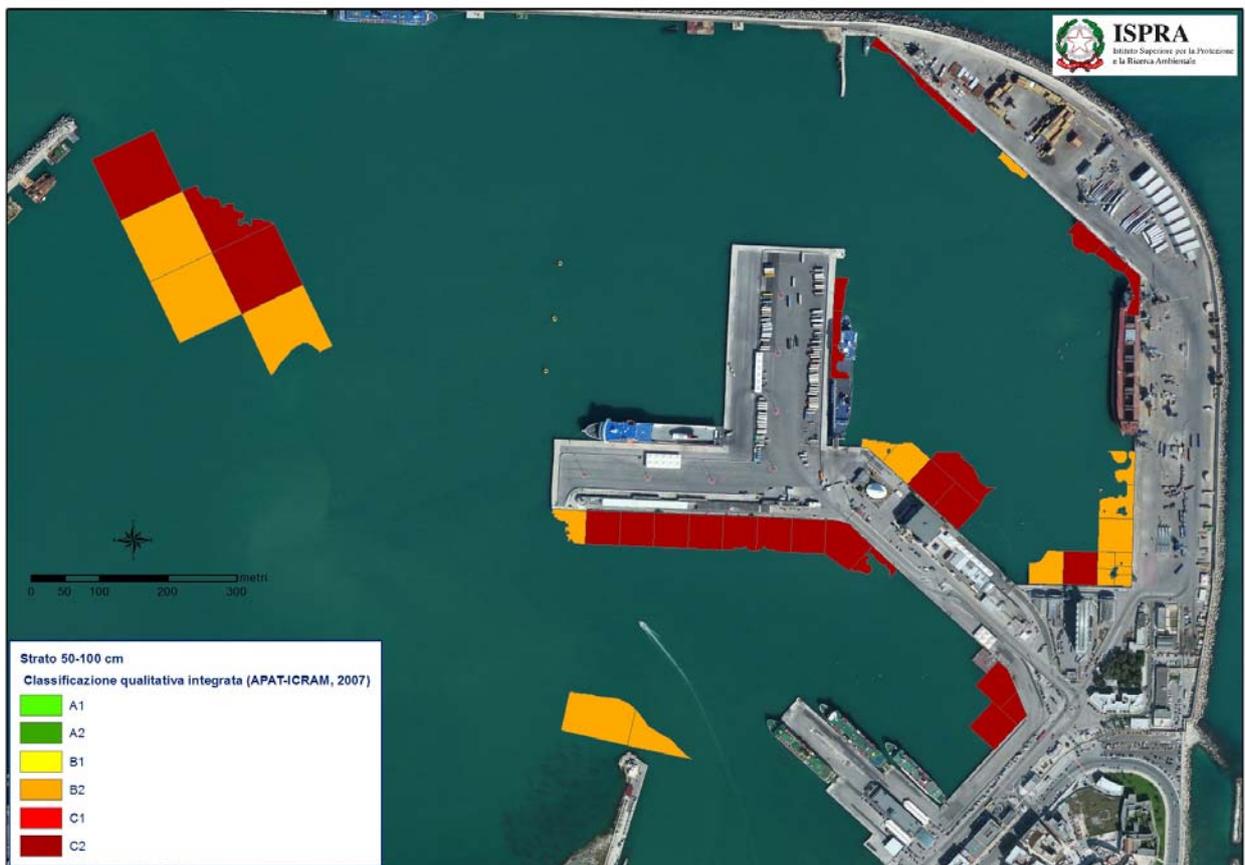


Figura 9: Classificazione qualitativa del livello 50-100 cm

Come per la valutazione chimica, anche nel caso della valutazione integrata chimico-ecotossicologica alle celle residue è stata attribuita una Classe di qualità sulla base della classificazione delle aree adiacenti e/o degli strati sovrastanti e sottostanti.

L'applicazione dei criteri integrati previsti dal Manuale è stata possibile limitatamente agli strati 0-50 cm e 50-100 cm, in quanto per i successivi non erano disponibili le indagini ecotossicologiche. Quindi, le ipotesi di gestione relative agli strati 100-150 cm e 150-200 cm sono state sviluppate esclusivamente sulla base della classificazione chimica (Figura 6 e Figura 7), adottando un approccio cautelativo, in assenza di informazioni relative alla biodisponibilità/tossicità dei contaminanti presenti.

In particolare:

- le maglie in cui sono state rilevate concentrazioni $LCB < Conc < LCL$ sono state assimilate, in via cautelativa, alla classe di qualità B2;
- le maglie in cui sono state rilevate concentrazioni $LCL < Conc < Col.B$, $Col.B < Conc < pericolosi$ e $Conc > pericolosi$ sono state assimilate alla classe di qualità C2.

3.3 Stima dei volumi in funzione delle classi di qualità ed opzioni di gestione compatibili

A seguito dell'individuazione delle classi di qualità si evince che l'intera volumetria dei sedimenti caratterizzati, pari a circa 158.400 m³, appartiene alle classi di qualità B2 e C2.

Nella Tabella 1 è riportata una stima dei volumi afferenti ai livelli 0-50 cm e 50-100 cm suddivisi in funzione delle classi di qualità individuate.

Tabella 1: Volumi di sedimento appartenenti alle classi di qualità individuate (m³)

Livello	Classe di qualità	
	B2	C2
0-50	47 341	38 856
50-100	26 344	35 140
Totale	73 685	73 996

Nella Tabella 2 è riportata una stima dei volumi afferenti ai livelli successivi suddivisi in funzione delle valutazioni chimica complessiva.

Tabella 2: Volumi di sedimento in funzione della valutazione chimica complessiva (m³)

Livello	Valutazione chimica complessiva			
	LCB < Conc < LCL	LCL < Conc < Col.B	Col.B < Conc < pericolosi	Conc > pericolosi
0-50	15 547	33 760	36 890	-
50-100	16 085	22 303	22 956	139
100-150	582	2 685	5 988	-
150-200	-	-	1 475	-
Totale	32 214	58 748	67 309	139

Infine, nella Tabella 3 è riportata la sintesi dei volumi suddivisi in funzione delle classi di qualità individuate secondo i criteri di cui sopra e dello strato di sedimento di appartenenza.

Tabella 3: Volumi di sedimento riconducibili alle classi di qualità individuate (m³)

Livello (cm)	Classe di qualità	
	B2 e assimilabili	C2 e assimilabili
0-50	47 341	38 856
50-100	26 344	35 140
100-150	582	8 673
150-200	-	1 475
Totale	74 267	84 143

Si ritiene importante precisare che le stime riportate possono differire anche in misura significativa dal reale volume di materiale da rimuovere, in quanto nel processo di elaborazione dei volumi non possono essere considerate la effettiva capacità di dragaggio selettivo e, più in generale, le specifiche tecniche del progetto di dragaggio.

Le opzioni di gestione compatibili con le classi qualitative individuate sono desumibili dalla Tabella 2.2 del Manuale APAT-ICRAM del 2007, riprodotta in Tabella 4.

Tabella 4: Classi di qualità del materiale caratterizzato e opzioni di gestione compatibili (Tabella 2.2 del Manuale APAT-ICRAM del 2007)

Classe	Opzioni di gestione
A1	Sabbie (pelite < 10%) da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Ripascimento di arenili (previa verifica compatibilità con il sito di destinazione); 2. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero comprese le deposizioni finalizzate al ripristino della spiaggia sommersa; 3. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale; 4. Riutilizzi a terra (secondo normativa vigente); 5. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata); 6. Immersione in mare.
A2	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero compresa la deposizione finalizzata al ripristino della spiaggia sommersa (solo nel caso di prevalente composizione sabbiosa); 2. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale; 3. Riutilizzi a terra (secondo normativa vigente); 4. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata); 5. Immersione in mare.
B1	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Riutilizzi a terra (secondo normativa vigente); 2. Deposizione in bacini di contenimento che assicurino il trattenimento di tutte le frazioni granulometriche del sedimento (incluso il riempimento di banchine).
B2	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Riutilizzi a terra (secondo normativa vigente); 2. Deposizione all'interno di bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo. 3. Smaltimento presso discarica a terra.
C1	Materiale da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale secondo la seguente priorità: 1. Rimozione in sicurezza e avvio di specifiche attività di trattamento e/o particolari interventi che limitino l'eventuale diffusione della contaminazione; 2. Rimozione in sicurezza e deposizione in bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo; 3. Rimozione in sicurezza e smaltimento presso discarica a terra.
C2	Materiale da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale la cui rimozione e gestione devono essere valutate caso per caso.

Date le caratteristiche qualitative riscontrate per i sedimenti del Porto di Bari, di classe B2 e C2, è auspicabile che tali materiali siano sottoposti a procedure di particolare cautela ambientale, sia nella fase di rimozione che in quella di gestione

Per quanto riguarda le fasi di movimentazione, è auspicabile che vengano previste adeguate misure di mitigazione degli eventuali impatti, che tengano conto delle caratteristiche ambientali locali, dei potenziali bersagli e della loro sensibilità e delle caratteristiche fisico-chimiche dei sedimenti. In particolare può essere previsto il ricorso a tecniche di “dragaggio ambientale” ed a sistemi di contenimento dell’area di dragaggio (panne antitorbidità), volte alla minimizzazione dei fenomeni di risospensione e della conseguente torbidità.

Una volta selezionata la tipologia di dragaggio ambientale, in relazione alla tipologia di sedimento, ed individuate le opportune misure di mitigazione, si ritiene opportuno definire ed applicare un piano di monitoraggio per il controllo degli effetti sull’ambiente circostante e dell’efficacia delle misure di mitigazione eventualmente adottate.

Per quanto concerne la destinazione dei materiali di dragaggio, si ritiene opportuno gestire i sedimenti che presentano concentrazioni superiori/uguali ai valori limite per l’attribuzione della pericolosità separatamente rispetto ai sedimenti circostanti; in particolare, in considerazione degli esigui volumi coinvolti, tali materiali potrebbero essere smaltiti presso una discarica a terra di opportuna categoria.

I restanti sedimenti potrebbero essere gestiti all’interno di bacini di contenimento (vasche di colmata) dotati di adeguata impermeabilizzazione sia laterale che del fondo, oppure smaltiti in discariche di categoria opportuna.

In relazione a tali opzioni di gestione, ed anche nel caso di un successivo eventuale utilizzo della vasca di colmata per la realizzazione di nuove banchine, si segnala la presenza, tra i sedimenti in esame, di un volume con concentrazioni superiori ai limiti riportati nella col. B, Tab. 1, Allegato 5 al titolo V alla parte IV del D. Lgs. 152/06, pari a circa 67.000 m³ (da Figura 4 a Figura 7).

Nel caso in cui si preveda il conferimento del materiale di dragaggio in vasche di colmata destinate alla realizzazione di nuove banchine portuali mediante refluento diretto, al fine di garantirne la dovuta resistenza meccanica e una immobilizzazione dei contaminanti, è possibile ricorrere a processi di trattamento di solidificazione/stabilizzazione da applicare direttamente all’interno della vasca. Tali processi realizzano una riduzione della superficie disponibile per il dilavamento, con la creazione di una matrice compatta (solidificazione) e/o legando chimicamente il contaminante alla matrice solida (stabilizzazione), mediante l’utilizzo di leganti o altri agenti chimici di natura inorganica o organica (cemento, calce).

Da applicazioni simili svolte in altri siti, inerenti la stabilizzazione/solidificazione di sedimenti con utilizzo di leganti quali calce e cemento all’interno di casse di colmata, si può ipotizzare un rapporto ottimale di legante pari al 6%-8% rispetto al sedimento da trattare.

In considerazione delle percentuali di sabbie contenute nei sedimenti, al fine di una ottimizzazione della gestione complessiva, in caso di limitata capacità delle eventuali vasche di colmata, è possibile prevedere l’applicazione di tecniche di separazione granulometrica, avviando a gestione separata le frazioni ottenute. In particolare, la frazione sabbiosa potrebbe essere conferita in vasca di colmata, oppure eventualmente sottoposta ad un processo di lavaggio per renderla compatibile con altri usi, in accordo con la normativa vigente; mentre la frazione fine, a seguito di un ulteriore processo di disidratazione, potrebbe essere avviata a discarica di categoria opportuna.

Il processo di separazione granulometrica permette di diminuire i volumi da trattare e di rendere più omogeneo il materiale da inviare a successivi utilizzi. In alcuni casi può essere considerato un trattamento vero e proprio, in quanto i contaminanti tendono a concentrarsi nella frazione fine dei sedimenti. Fra le apparecchiature che permettono di realizzare le operazioni di separazione

granulometrica vi sono i vagli, i bacini di sedimentazione, i separatori magnetici, i separatori elettrostatici ed i classificatori idraulici (es: gli idrocicloni).

Il trattamento di lavaggio si basa sulla possibilità di separare alcuni contaminanti/sostanze dalla matrice sedimento per azione di specifiche soluzioni di lavaggio.

Il lavaggio può essere considerato un processo fisico quando permette la rimozione del contaminante per azione essenzialmente meccanica (es: getti di acqua ad alta pressione su substrati in cui sono depositati o adsorbiti i contaminanti), ma può anche essere un processo più prettamente chimico quando comporta il passaggio in soluzione del contaminante stesso (lisciviazione chimica).

In funzione del tipo di contaminazione possono essere utilizzate differenti soluzioni di lavaggio, che vanno dalla sola acqua, più frequentemente utilizzata nei lavaggi tipicamente fisici, all'utilizzo di diverse tipologie di reagenti chimici, che permettono un'estrazione del contaminante dal sedimento ed il conseguente passaggio dello stesso nella soluzione di lavaggio.

E' possibile suddividere il processo di lavaggio in diverse tipologie, in funzione del reagente utilizzato. Tra le possibili tipologie vi sono: estrazione acida, estrazione basica, estrazioni con agenti ossidanti o riducenti, estrazione con chelanti, estrazione con solventi organici.

Con il lavaggio possono essere trattati sedimenti contaminati da una grande varietà di sostanze inquinanti sia organiche, che inorganiche, ma, a parità di contaminante e grado di contaminazione, l'efficienza e la conseguente economicità del processo è tanto più alta quanto più il sedimento presenta una granulometria grossolana.

Per quanto riguarda il processo di disidratazione, finalizzato ad una riduzione del volume di sedimenti da conferire in discarica, questo può essere attuato sia in modo naturale sia meccanico, con bacini di sedimentazione da allestire in aree a terra in prossimità dell'area di dragaggio, o su sistemi mobili (sia a terra che a mare), o con sistemi meccanici di tipo centrifugo.

In caso di ricorso a processi di lavaggio e di disidratazione si segnala la necessità di prevedere un sistema di controllo delle acque di efflusso, in quanto l'acqua proveniente dalle operazioni potrebbe richiedere trattamenti preliminari per lo scarico nei corpi idrici ricettori o per il riutilizzo all'interno del processo stesso, secondo quanto previsto dalla vigente normativa.