



# ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

**ELABORAZIONE E VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE  
DELLA DARSENA POLISETTORIALE AI FINI DELLA INDIVIDUAZIONE DELLE PIÙ  
APPROPRIATE MODALITÀ DI GESTIONE DEI SEDIMENTI  
- PORTO DI TARANTO -**

Dicembre 2009

CII-EI-PU-TA-Darsena Polisettoriale\_05.02

***Responsabili scientifici***

Dott. Massimo Gabellini  
Dott.ssa Antonella Ausili

***Coordinatore***

Ing. Francesca Giaime

***Referenti tecnici***

Dott.ssa Roberta Girardi  
Dott.ssa Elena Romano  
Ing. Lorenzo Rossi  
Dott.ssa Antonella Tornato  
Dott.ssa Gabriella Zonedda

***Staff tecnico***

Dott. Francesco Ciaprini  
Valentina Darida  
Ing. Sara Dastoli  
Ing. Nicoletta Gazzea  
Ing. Serena Geraldini  
Ing. Carlo Innocenti  
D.ssa Iolanda Lisi  
Francesco Loreti  
Dott. Giacomo Martuccio  
Dott. Ing. Valentina Modesti  
Dott. Ing. Elena Mumelter  
Dott.ssa Maria Elena Piccione  
Dott.ssa Paola Renzi  
Dott. Ing. Andrea Salmeri  
Dott. Ing. Damiano Scarcella  
Dott. Ing. Valentina Trama  
Dott. Giuseppe Trincherà

**Elaborazione e valutazione dei risultati della caratterizzazione della Darsena Polisetoriale ai fini della individuazione delle più appropriate modalità di gestione dei sedimenti - PORTO DI TARANTO -**

**SOMMARIO**

<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>1. ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE .....</b>	<b>6</b>
1.1. ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE PREVISTE .....	6
1.2. ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE ESEGUITE.....	9
<b>2. ATTIVITÀ DI INTERLABORATORIO .....</b>	<b>11</b>
<b>3. CRITERI E METODI PER LA VALUTAZIONE E L'ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE .....</b>	<b>12</b>
3.1. VALORI DI INTERVENTO.....	12
3.2. STIMA DELLE CONCENTRAZIONI DEI CONTAMINANTI NEL VOLUME DI INDAGINE .....	14
3.2.1. <i>Stima dello spessore della coltre sedimentaria recente (Kriging con disuguaglianze).....</i>	<i>14</i>
3.2.2. <i>Stima delle concentrazioni (Block kriging).....</i>	<i>15</i>
3.2.3. <i>Stima delle frazioni granulometriche (Block Co-kriging).....</i>	<i>15</i>
<b>4. VALUTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE.....</b>	<b>16</b>
4.1. VALUTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GRANULOMETRICHE EFFETTUATE SUI SEDIMENTI .....	16
4.2. VALUTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI CHIMICHE EFFETTUATE SUI SEDIMENTI .....	20
4.3. VALUTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI ECOTOSSICOLOGICHE EFFETTUATE SUI SEDIMENTI .....	64
4.4. VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI MICROBIOLGICHE EFFETTUATE SUI SEDIMENTI .....	66
<b>5. ELABORAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI FINALIZZATA AL CALCOLO DEI VOLUMI DI SEDIMENTO CONTAMINATO.....</b>	<b>67</b>

## PREMESSA

Nell'ambito del Programma Nazionale di Bonifica e di Ripristino Ambientale (D.M. 18 settembre 2001 n. 468), l'ICRAM (ora ISPRA) è incaricato della caratterizzazione ambientale ai fini della bonifica delle aree marine e salmastre incluse nelle perimetrazioni dei siti di interesse nazionale.

Considerato che l'area del porto di Taranto è inclusa nella perimetrazione del Sito di bonifica di Interesse Nazionale di Taranto (ai sensi della Legge n. 426/1998 e del D.M. n. 468/2001), in data 5 Novembre 2003 l'ICRAM (ora ISPRA) ha sottoscritto un Accordo Quadro con l'Autorità Portuale di Taranto per la realizzazione delle opere portuali urgenti ed indifferibili da realizzare negli specchi acquei del porto.

Nello specifico, era previsto che l'ICRAM (ora ISPRA) svolgesse le seguenti attività inerenti la caratterizzazione dei fondali:

- predisposizione dei piani di caratterizzazione;
- definizione dei criteri per la attività di campionamento ed analisi dei sedimenti;
- supporto per le attività di campionamento ed analisi;
- supervisione, ai fini ambientali, dei progetti relativi agli interventi da realizzare con carattere di urgenza;
- elaborazione, valutazione e rappresentazione dei dati finali.

Nell'ambito delle attività previste dall'Accordo Quadro, è stato successivamente affidato all'ICRAM (ora ISPRA) un incarico (Prot. AP n. 8583/TEC del 26/10/2004) relativo alla caratterizzazione dell'area marino costiera inclusa nel porto di Taranto denominata **Darsena Polisettoriale** (Figura 1).

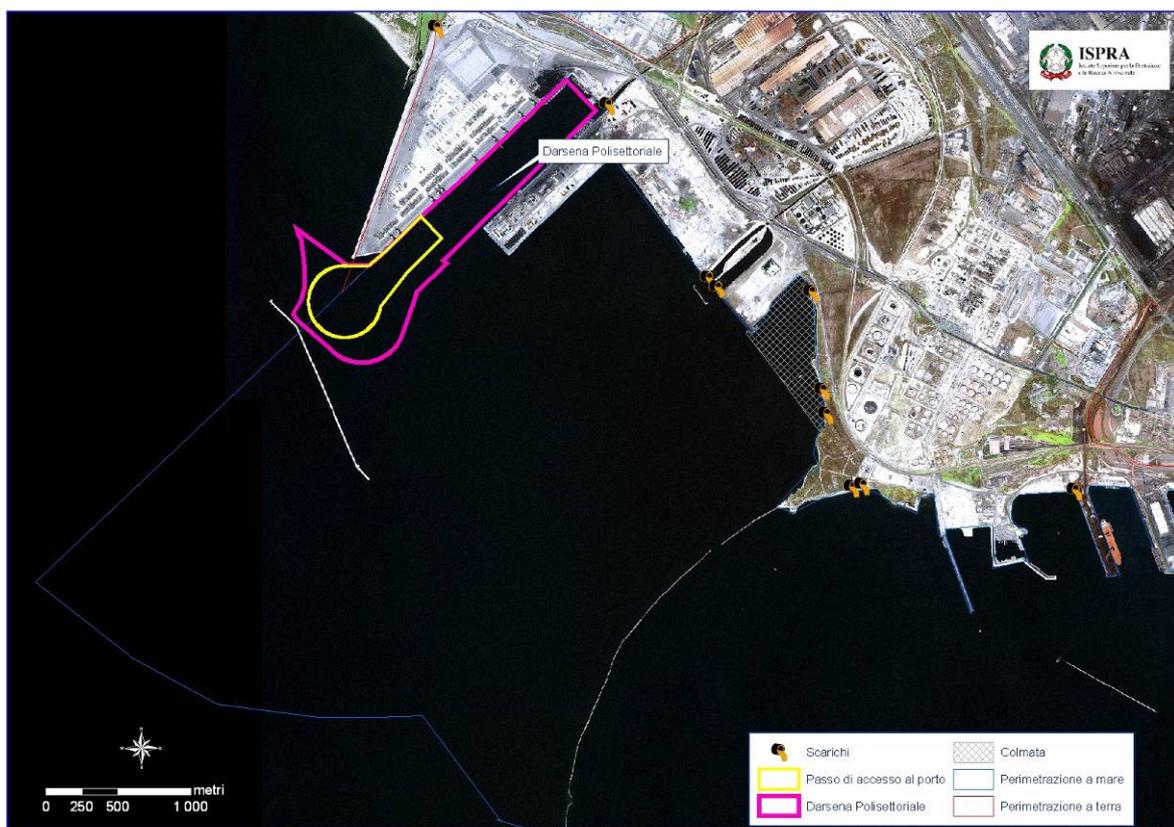


Figura 1: Ubicazione dell'area oggetto dell'indagine

L'area della Darsena Polisettoriale include l'imboccatura del Porto fuori rada ed il Molo Polisettoriale, adibito a terminal container, e ricade in parte all'interno della perimetrazione del Sito di bonifica di Interesse Nazionale di Taranto ed in parte all'esterno. Tale area, che occupa una superficie complessiva di circa 172 ha ed è caratterizzata da una batimetria piuttosto uniforme, prevalentemente tra i -14 e i -15 m s.l.m.m., secondo quanto previsto dal nuovo Piano Regolatore Portuale (P.R.P.), sarà interessata da interventi di dragaggio fino alla profondità massima di -16,5 m.

L'ICRAM (ora ISPRA), sulla base del suddetto incarico, ha quindi predisposto il *“Piano di caratterizzazione ambientale delle aree da sottoporre a progetti di dragaggio: imboccatura del Porto fuori rada e Darsena Polisettoriale - Sito di bonifica di interesse nazionale di Taranto”* (rif. doc. ICRAM # CII-Pr-PU-TA-Imboccatura Porto fuori rada\_Darsena Polisettoriale-01.05, Dicembre 2004), approvato senza prescrizioni dalla Conferenza di Servizi “decisoria”, ex art. 14 della legge n.241/90, del 29/12/2004.

Il presente documento (Rif. doc. ISPRA # CII-EI-PU-TA-Darsena Polisettoriale\_05.02), prende in esame gli esiti della caratterizzazione ambientale della Darsena Polisettoriale condotta da SGS Italia S.p.A. e SELC Società Cooperativa su incarico dell'Autorità Portuale di Taranto. I risultati della caratterizzazione sono stati trasmessi dall'Autorità Portuale di Taranto con nota del 23/07/2009 Prot. n. 6425/TEC (ns. Prot. n. 032267 del 28/07/2009).

Inoltre, la discussione dei risultati tiene conto della *“Elaborazione e valutazione dei risultati della caratterizzazione ai fini della individuazione degli opportuni interventi di messa in sicurezza e bonifica del Sito di Interesse Nazionale di Taranto - Mar Grande I lotto e Area Ovest Punta Rondinella”* (Rif. doc ISPRA # CII-EI-PU-TA-MarGrandelotlo\_OvestPunta Rondinella-01.07, Settembre 2009).

L'obiettivo ultimo di questa relazione è quello di fornire una valutazione della qualità ambientale delle aree caratterizzate, al fine di fornire le informazioni utili per le attività di dragaggio previste.

La relazione è articolata nelle seguenti parti:

- descrizione delle attività di campionamento ed analisi dei sedimenti eseguite nelle aree oggetto d'indagine (capitolo 2);
- descrizione dei criteri e dei metodi per la valutazione e l'elaborazione dei risultati delle attività di caratterizzazione (capitolo 3);
- valutazione ed elaborazioni dei risultati delle attività di caratterizzazione del sedimento (capitolo 4);
- elaborazione complessiva dei risultati finalizzata al calcolo dei volumi di sedimento contaminato (capitolo 5).

## 1. ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE

### 1.1. Attività di caratterizzazione previste

Nel presente paragrafo sono sintetizzate le attività previste dal piano di caratterizzazione redatto dall'ICRAM (ora ISPRA) dell'area oggetto degli interventi:

- “*Piano di caratterizzazione ambientale delle aree da sottoporre a progetti di dragaggio: imboccatura del Porto fuori rada e Darsena Polisettoriale - Sito di bonifica di interesse nazionale di Taranto*” (rif. doc. ICRAM # CII-Pr-PU-TA-Imboccatura Porto fuori rada\_Darsena Polisettoriale-01.05, Dicembre 2004);

L'area della Darsena Polisettoriale include l'imboccatura del Porto fuori rada ed il Molo Polisettoriale, adibito a terminal container, e ricade in parte all'interno della perimetrazione del Sito di bonifica di Interesse Nazionale di Taranto ed in parte all'esterno. Le attività di caratterizzazione previste dal piano di caratterizzazione erano:

- l'esecuzione di indagini preliminari finalizzate all'individuazione di residui bellici eventualmente presenti nei fondali marini in esame e di servizi interrati presenti su fondale, al fine di eseguire in condizioni di sicurezza le attività di caratterizzazione ed eventuale bonifica;
- il prelievo dei sedimenti, tramite campionamento realizzato mediante l'esecuzione di carotaggi ed il prelievo di campioni superficiali sui fondali marini. Le analisi volte alla determinazione delle caratteristiche granulometriche, chimiche, ecotossicologiche e microbiologiche dell'area in esame, sono specificate nel documento ICRAM # CII-Pr-PU-TA-Imboccatura Porto fuori rada\_Darsena Polisettoriale-01.05 (Dicembre 2004).

#### Schema di caratterizzazione dell'Imboccatura del Porto fuori rada

In Figura 2 è riportata l'ubicazione delle stazioni di campionamento teoriche dell'Imboccatura del Porto fuori rada. Nell'area marina in esame è stato predisposto di un reticolo di maglie regolari 100x100 m con l'individuazione di n. 33 maglie. All'interno di ogni maglia è stata individuata una stazione di campionamento con il prelievo di una carota di lunghezza pari a 3 m e di diametro non inferiore ai 10 cm, per un totale di n. **33** carote (Figura 2).

La profondità delle carote è stata scelta considerando uno spessore d'investigazione ragionevole per ricavare informazioni dettagliate sulla contaminazione più recente e per intercettare l'orizzonte di sedimenti presumibilmente non contaminati (argille azzurre).

I livelli da prelevare ed analizzare da ciascuna carota, definiti dal piano di caratterizzazione, sono partendo dal top:

- 0-20 cm, 30-50 cm, 100-120 cm, 180-200 cm e 280-300 cm.

Di questi, è prevista l'analisi di tutti tranne l'ultimo livello prelevato, il 280-300 cm, la cui analisi è prevista solo nel caso in cui dall'analisi visiva della carota si evidenzia che non è stato raggiunto lo strato di argille azzurre.

In sintesi, il piano di caratterizzazione dei sedimenti prevedeva il prelievo di n. 165 livelli di cui **n. 132 da analizzare**.

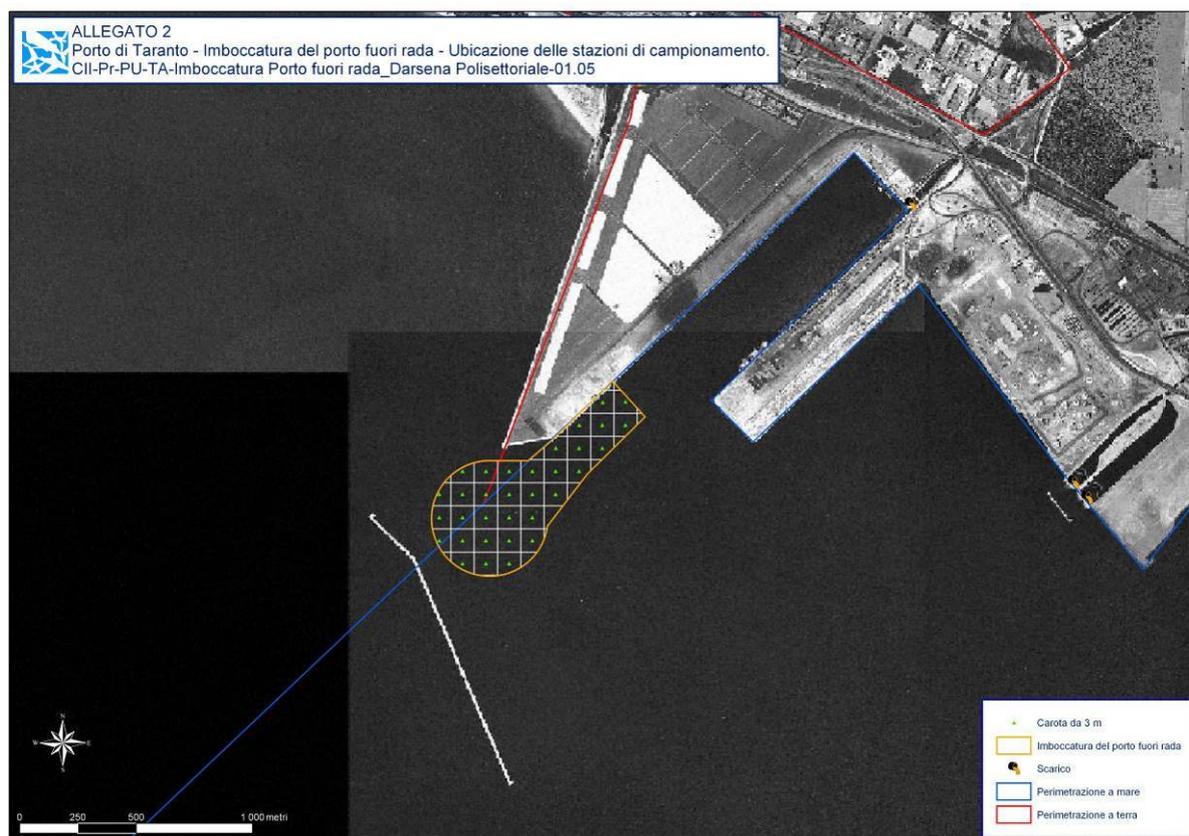


Figura 2: stazioni teoriche di campionamento previste all'imboccatura del Porto fuori rada

### Schema di caratterizzazione nella restante area del Molo Polisettoriale

Nell'area marina in esame è stato predisposto di un reticolo di maglie regolari 100x100 m con l'individuazione di n. 79 maglie; all'interno di ogni maglia è stata individuata una stazione di campionamento con il prelievo di una carota di lunghezza pari a 3 e 4 m e di diametro non inferiore ai 10 cm, per un totale di n. **69** carote da 3 m e n. **10** carote da 4 m (Figura 3).

Anche in questo caso la profondità delle carote è stata scelta considerando uno spessore d'investigazione ragionevole per ricavare informazioni dettagliate sulla contaminazione più recente e per intercettare l'orizzonte di sedimenti presumibilmente non contaminati (argille azzurre).

I livelli da prelevare ed analizzare da ciascuna carota, definiti dal piano di caratterizzazione, sono partendo dal top:

- per le carote da 3 m

- 0-20 cm, 30-50 cm, 100-120 cm, 180-200 cm e 280-300 cm;

- per le carote da 4 m

- 0-20 cm, 30-50 cm, 100-120 cm, 180-200 cm, 280-300 cm e 380-400 cm.

Nel dettaglio, da ciascuna carota prelevata dovranno essere analizzate orientativamente le seguenti sezioni, corrispondenti ai livelli, partendo dal top:

carote da 3 m

- 0-20 cm, 30-50 cm, 100-120 cm e 180-200 cm su tutte le carote;
- 280-300 cm nel caso in cui, da una analisi visiva della carota, si evidenzia che non è stato raggiunto lo strato di argille azzurre;

### carote da 4 m

- 0-20 cm, 30-50 cm, 100-120 cm e 180-200 cm su tutte le carote;
- 280-300 cm e 380-400 cm nel caso in cui, da una analisi visiva della carota, si evidenzi che non è stato raggiunto lo strato di argille azzurre.

In sintesi, il piano di caratterizzazione dei sedimenti prevedeva il prelievo di n .405 livelli di cui n. **316 da analizzare**.



Figura 3: stazioni teoriche di campionamento previste nella restante area del Molo Polisettoriale

Ai fini di una corretta esecuzione delle attività di caratterizzazione dei fondali, l'ICRAM ha elaborato il protocollo contenente le metodiche di campionamento ed analisi (rif. ICRAM doc. # Specifiche per campionamento ed analisi\_Taranto\_Aree portuali-v.2) ed il "Piano Operativo di Campionamento per l'esecuzione del Piano di caratterizzazione ambientale delle aree da sottoporre a dragaggio: Imboccatura Porto fuori Rada e Darsena Polisettoriale" (rif. ICRAM doc. # Piano Operativo-v.2\_CII-Pr-PU-TAImboccatura Porto fuori Rada\_Darsena Polisettoriale-01.05, gennaio 2008), nel quale sono dettagliati i codici delle stazioni di campionamento, le relative coordinate, le sezioni da prelevare e da conservare per ciascuna carota ed i relativi codici, le analisi da effettuare su ciascuna sezione prescelta per le analisi.

## 1.2. Attività di caratterizzazione eseguite

La caratterizzazione ambientale dell'area della Darsena Polisettoriale e dell'imboccatura del Porto fuori rada sono state attuate dalla Associazione Temporanea di Imprese costituita da SGS Italia S.p.A. e SELC Società Cooperativa e commissionate dall'Autorità Portuale di Taranto.

Le attività di campionamento dei sedimenti marini si sono svolte nel periodo compreso tra il 01/08/08 e il 21/08/08.

Tutte le attività sono state eseguite facendo riferimento a quanto riportato nei documenti ICRAM relativi alle metodiche di campionamento ed analisi (rif. ICRAM doc. # Specifiche per campionamento ed analisi\_Taranto\_Aree portuali-v.2) ed al "*Piano Operativo di Campionamento per l'esecuzione del Piano di caratterizzazione ambientale delle aree da sottoporre a dragaggio: Imboccatura Porto fuori Rada e Darsena Polisettoriale*" (rif. ICRAM doc. # Piano Operativo-v.2\_CII-Pr-PU-TAImboccatura Porto fuori Rada\_Darsena Polisettoriale-01.05).

Preliminarmente alle attività di caratterizzazione dei sedimenti, così come previsto dal piano di caratterizzazione, sono state eseguite delle indagini preliminari per la ricerca di eventuali ordigni bellici in corrispondenza di ciascun punto di indagine.

Il prelievo delle per la ricerca di eventuali ordigni bellici in corrispondenza di ciascun punto di indagine è stato effettuato mediante vibro carotaggio, per un totale di **112 carote**.

In tutte le stazioni di campionamento era previsto il prelievo di carote di lunghezza pari a 3 m, ad eccezione di 10 carote, ubicate a ridosso del molo sud della Darsena Polisettoriale, la cui lunghezza prevista era pari a 4 m; in corrispondenza di alcune stazioni di campionamento sono stati intercettati orizzonti resistenti di argille da debolmente limose a limose ("Argille azzurre di Taranto") che hanno impedito il recupero di carote della lunghezza prevista con conseguente variazione nel numero di campioni prelevati in accordo con ICRAM.

Dai prelievi effettuati in corrispondenza delle 112 stazioni di campionamento sono stati complessivamente prelevati **259 campioni** di sedimento sui quali sono state eseguite le analisi geotecniche e le analisi chimiche previste.

Sono state inoltre campionate aliquote destinate alle analisi ecotossicologiche superficiali e profonde. Tutti i campioni sono stati successivamente trasportati, a temperature comprese tra i 4 e 6 °C, al laboratorio SGS di Villafranca Padovana dove sono stati stoccati in ambiente refrigerato a  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  e controllato, ed immediatamente analizzati.

In Figura 4 è riportata l'ubicazione reale delle stazioni di campionamento dei sedimenti della Darsena Polisettoriale.



Figura 4: Ubicazione delle reali stazioni di campionamento dei sedimenti della Darsena Polisetoriale

Sui campioni di sedimento sono state condotte le seguenti analisi:

- determinazioni di Granulometria, pH, Potenziale redox, metalli ed elementi in tracce (Alluminio, Arsenico, Cadmio, Cromo totale, Ferro, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Vanadio), Policlorobifenili, IPA, Idrocarburi totali (C<sub>≤</sub>12), Idrocarburi totali (C<sub>></sub>12), Azoto totale e fosforo totale, Cianuri, Carbonio organico (TOC) su **n. 259 campioni**;
- determinazioni di Parametri microbiologici (Streptococchi fecali, Salmonella, Spore di clostridi solfitoriduttori) su **n. 41 campioni**;
- composti organostannici (Σ mono-, di-, tri-butilstagno, come Sn) su **n. 50 campioni**;
- determinazioni di Diossine e furani e Amianto su **n. 20 campioni**;
- esecuzione di saggi ecotossicologici (*Vibrio fischeri* e *Brachionus plicatilis*) su **n. 14 campioni**.

I dettagli delle suddette attività di caratterizzazione sono riportati nella relazione redatta da SGS Italia S.p.A. e SELC Società Cooperativa su incarico dell’Autorità Portuale di Taranto (rif. doc. # G 148-07/RT1/Finale1/GEN 09).

## 2. ATTIVITÀ DI INTERLABORATORIO

Nel periodo antecedente le attività di campionamento dei sedimenti sono state condotte prove interlaboratorio su campioni incogniti di materiale di riferimento, al fine di verificare l'efficienza e l'efficacia delle metodiche analitiche proposte dal laboratorio incaricato delle determinazioni.

Le attività in oggetto hanno avuto inizio nel mese di gennaio 2008, con la consegna di alcuni campioni incogniti relativi alla matrice "sedimento marino" per l'effettuazione della determinazione dei parametri analitici maggiormente significativi, quali metalli, composti organoclorurati, idrocarburi policiclici aromatici, carbonio e fosforo totali, composti organostannici, oli totali, fenoli e clorofenoli diossine e furani e PCB diossina simili.

Tali prove, relativamente ad alcuni parametri standard quali metalli ed elementi in tracce, Fosforo e Carbonio totale, composti organici semivolatili ed IPA, hanno dato esito positivo, mentre sono state verificate alcune incongruenze tra il risultato sperimentale ed il valore di riferimento relativamente ad alcuni congeneri dei PCB e ai composti organostannici.

Pertanto, è stato richiesto al personale tecnico del laboratorio di provvedere alla conservazione delle aliquote dei campioni derivanti dalle attività di caratterizzazione in oggetto destinate alle determinazioni di PCB e composti organostannici e, nel contempo, alle opportune verifiche relative alle metodiche analitiche usate per la determinazione di tali parametri. Successivamente sono state condotte ulteriori prove su materiale certificato. Tali verifiche sono state concluse con esito positivo nel Dicembre 2008.

La valutazione qualitativa dei dati relativi alla presente caratterizzazione è stata effettuata a fronte degli esiti positivi delle attività di interlaboratorio svolte, ed ha tenuto conto anche delle osservazioni in essa contenute già evidenziate al personale del tecnico del laboratorio al termine delle suddette attività.

### **3. CRITERI E METODI PER LA VALUTAZIONE E L'ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE**

Nel presente paragrafo sono riportati i criteri ed i metodi utilizzati per la valutazione dei risultati delle attività di caratterizzazione effettuata sui sedimenti dell'area della Darsena Polisettoriale, alla luce della normativa in campo ambientale.

#### **3.1. Valori di intervento**

Al fine di valutare il grado di contaminazione di sedimenti di aree a forte compromissione e la relativa potenziale pericolosità per l'ambiente acquatico, e quindi definire la necessità di un intervento di bonifica nelle aree oggetto di indagine, l'ICRAM (ora ISPRA) ha proposto valori di intervento per sedimenti di aree contraddistinte da forti alterazioni causate da attività antropiche attuali e pregresse per il sito di bonifica di interesse nazionale di Taranto. Il documento contenente tali valori e le modalità applicative (rif. ICRAM doc. # CII-Pr-PU-TA-valori intervento-01.04), trasmesso da ICRAM con prot. n. 9088/04 del 23 novembre 2004, è stato approvato in sede di Conferenza dei Servizi "decisoria" del 29 dicembre 2004.

Tali valori derivano da riferimenti internazionali, integrati per alcuni parametri, da risultati di studi condotti in Italia, e nel caso specifico del Sito di bonifica di Interesse Nazionale di Taranto, anche dai risultati delle attività di caratterizzazione ambientale (fisica, chimica ed ecotossicologica) eseguite nell'area del Porto di Taranto.

Alla luce dei risultati di tutte le caratterizzazioni effettuate fino ad oggi sia dall'Autorità Portuale di Taranto, sia dal Commissario di Governo per l'Emergenza Ambientale in Puglia (Rif. doc. ISPRA CII-EI-PU-TA-MarGrandellotto\_OvestPunta Rondinella-relazione-01.07, settembre 2009), nell'area marino costiera inclusa nel SIN di Taranto, i valori di intervento definiti per tali sedimenti riportati in Tabella 1 risultano essere confermati.

NUMERO CAS		PARAMETRI	VALORI DI INTERVENTO
		<b>Metalli</b>	<b>mg/kg s.s</b>
7440-38-2		Arsenico	20
7440-43-9	PP	Cadmio	1,0
7440-47-3		Cromo totale	70 *   160 **
7439-97-6	PP	Mercurio	0.8
7440-02-0	P	Nichel	40 *   100 **
7439-92-1	P	Piombo	50
		Rame	45
		Zinco	110
		Organostannici	<b>µg /kg s.s</b>
	PP	Tributilstagno (Σ mono, di e tributil)	70 (Sn)
		<b>Policiclici Aromatici</b>	<b>µg /kg s.s.</b>
	PP	IPA totali	4000
50-32-8	PP	Benzo(a)pirene	760
120-12-7	P	Antracene	245
206-44-0	P	Fluorantene	1500
91-20-3	P	Naftalene	390
		<b>Pesticidi</b>	<b>µg /kg s.s.</b>
309-00-2		Aldrin	5
319-84-6	PP	Alfa esaclorocicloesano	1
319-85-7	PP	Beta esaclorocicloesano	1
58-89-9	PP	Gamma esaclorocicloesano lindano	1
		DDT	5
		DDD	5
		DDE	5
60-57-1		Dieldrin	5
		<b>Diossine e Furani</b>	<b>µg /kg</b>
		Sommat. PCDD,PCDF e PCB diossina simili(T.E.)	30 X 10 <sup>-3</sup>
133-63-63		PCB	<b>µg /kg</b>
		<b>PCB totali</b>	190

(\*) per sedimenti con frazione pelitica ≤ 20 %

(\*\*) per sedimenti con frazione pelitica > 20 %

Tabella 1: Valori di intervento

### 3.2. Stima delle concentrazioni dei contaminanti nel volume di indagine

Precedenti studi dell'ICRAM (ora ISPRA) (rif. doc. ICRAM # CII-EI-PU-TA-IV Sporgente e Darsena ad Ovest-relazione-01.05, Aprile 2005) hanno permesso di individuare, al di sotto di uno strato di sedimenti marini recenti, la presenza di un substrato costituito da argille grigio-azzurre di età plio-pleistocenica. La storia geologica di tali depositi, unitamente ai risultati delle analisi di speciazione chimica, hanno permesso di escludere eventuali contributi antropici in tale substrato, che pertanto non è stato considerato come oggetto di potenziale bonifica.

Tutte le rappresentazioni e le stime volumetriche si riferiscono pertanto allo strato di sedimentazione recente.

I dati relativi alle caratterizzazioni sono stati elaborati, con metodologie geostatistiche, al fine di ottenere la stima della distribuzione delle concentrazioni degli inquinanti nello spazio ed individuare i volumi di sedimento da sottoporre ad interventi di messa in sicurezza e bonifica.

Una prima fase ha previsto lo studio dei principali parametri statistici (minimo, massimo, media, deviazione standard, quantili) e delle matrici di correlazione per tutti i principali analiti, per la totalità dei campioni e per ogni singolo strato indagato.

Grazie a questa prima fase di studio è stato possibile individuare, tra tutti gli analiti determinati, quelli ritenuti maggiormente preoccupanti, da avviare ad una successiva elaborazione geostatistica per stimarne la concentrazione in tutto il volume di sedimento oggetto di indagine.

L'area di indagine è stata discretizzata con una griglia tridimensionale con celle di dimensione 50x50x0,5 m, ai fini della stima delle frazioni granulometriche e delle concentrazioni dei parametri chimici. La stima degli spessori di sedimentazione recente è stata invece effettuata su una griglia bidimensionale con celle di dimensione 50x50 m.

Nel seguito vengono descritte le metodologie geostatistiche utilizzate per la stima dei vari parametri oggetto d'indagine.

#### 3.2.1. Stima dello spessore della coltre sedimentaria recente (Kriging con disuguaglianze)

Ai fini del calcolo dei volumi, è stato necessario elaborare le quote estratte dall'esame stratigrafico dei carotaggi allo scopo di ottenere una stima dell'andamento della quota del tetto delle argille plio-pleistoceniche in tutta l'area d'indagine.

Il substrato di argille è sempre presente al di sotto di quello campionabile, ma non sempre è stato intercettato dai carotaggi.

I dati relativi allo spessore dello strato di sedimentazione recente si possono quindi dividere in due categorie:

- gli *hard data*, dove il carotaggio ha incontrato le argille e, quindi, si conosce esattamente l'entità dello spessore di sedimentazione recente
- ed i *soft data*, dove il carotaggio non ha incontrato lo strato di argille e, quindi, si conosce solo lo spessore minimo che i sedimenti recenti possono assumere (maggiore o uguale alla lunghezza della carota)

Per la stima dello spessore della coltre sedimentaria recente è stato quindi necessario elaborare sia i dati di spessore (*hard data*) che le disuguaglianze (*soft data*).

A tale scopo è stata utilizzata una procedura di *kriging con disuguaglianze* che ha previsto le seguenti fasi di elaborazione:

- trasformazione dei dati *soft* ed *hard* in gaussiani tramite un'anamorfose e calcolo il variogramma degli *hard data*.
- calcolo del valore atteso dello spessore di sedimentazione recente laddove i carotaggi non hanno raggiunto le argille, tramite la tecnica di simulazione detta *Gibbs Sampler*, in maniera tale che sia coerente con il variogramma, gli *hard data* e le disuguaglianze.
- stima, tramite *block kriging*, mediante l'uso degli *hard data* e dei valori simulati, dello spessore di sedimentazione recente in tutta l'area di indagine.

### 3.2.2. Stima delle concentrazioni (Block kriging)

La metodologia utilizzata per stimare le concentrazioni dei vari contaminanti è quella del *block kriging*. Questo metodo, una variante del più noto kriging ordinario, utilizza per ciascuna variabile di stima il variogramma per calcolarne la variabilità spaziale, modellizzarla, ed infine stimarne la concentrazione media all'interno di ogni cella. Per ottenere la concentrazione media all'interno dei blocchi, ciascuno di questi viene discretizzato in un certo numero di blocchi più piccoli, in ognuno dei quali viene calcolata la concentrazione puntuale nel suo baricentro; l'insieme di tutte le concentrazioni ottenute viene poi mediato e costituirà la concentrazione media del blocco più grande.

Il vantaggio del *block kriging*, rispetto al kriging ordinario, consiste nell'ottenere stime più affidabili e, soprattutto, nell'associare al blocco un valore rappresentativo di tutto il suo volume e non solo del suo baricentro.

### 3.2.3. Stima delle frazioni granulometriche (Block Co-kriging)

Il metodo del *block co-kriging* permette di stimare contemporaneamente le percentuali delle diverse classi granulometriche (ghiaia, sabbia e pelite), rispettando in ogni punto il vincolo fisico che impone che la somma delle tre percentuali dia sempre cento.

Si costruiscono, preventivamente, i variogrammi diretti ed incrociati delle frazioni granulometriche, ovvero i modelli tridimensionali della variabilità spaziale delle percentuali dei passanti ai singoli vagli e delle loro correlazioni; una volta costruiti i variogrammi, questi vengono utilizzati per stimare, tramite il *block co-kriging*, le percentuali medie di ogni frazione granulometrica rispettando il vincolo imposto.

#### 4. VALUTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE ATTIVITÀ DI CARATTERIZZAZIONE

I dati della caratterizzazione di seguito commentati tengono conto degli esiti della caratterizzazione oggetto del presente documento eseguita dall'Autorità Portuale, integrati con i risultati della caratterizzazione eseguita dal Commissario di Governo per l'Emergenza Ambientale in Puglia. In particolare, l'unico parametro della caratterizzazione eseguita dal Commissario di Governo che non è stato considerato è lo Zinco, a seguito all'esito delle attività di validazione eseguite da ARPA Puglia (Rif. doc ISPRA # CII-EI-PU-TA-MarGrandeIlotto\_OvestPunta Rondinella-relazione-01.07, settembre 2009).

##### 4.1. Valutazione ed elaborazione dei risultati delle indagini granulometriche effettuate sui sedimenti

I risultati granulometrici sono stati utilizzati per classificare i sedimenti in considerazione delle principali classi dimensionali generalmente presenti in un sedimento marino (ghiaia, sabbia, silt, argilla). A tale scopo è stata utilizzata la classificazione di Shepard, modificata. L'area d'indagine, inclusa nel settore ad Ovest di Punta Rondinella nel Mar Grande di Taranto, è caratterizzata da sedimenti prevalentemente pelitico-sabbiosi con una frequenza minore di sabbie pelitiche concentrate principalmente nel settore più interno della darsena. I sedimenti risultano a granulometria mediamente fine, con percentuali di sabbia che per la maggior parte dei campioni non superano il 25-30%. Le classi maggiormente rappresentate variano tra le argille limose i limi sabbiosi con una presenza limitata di sabbie limose e loam (Figura 5).

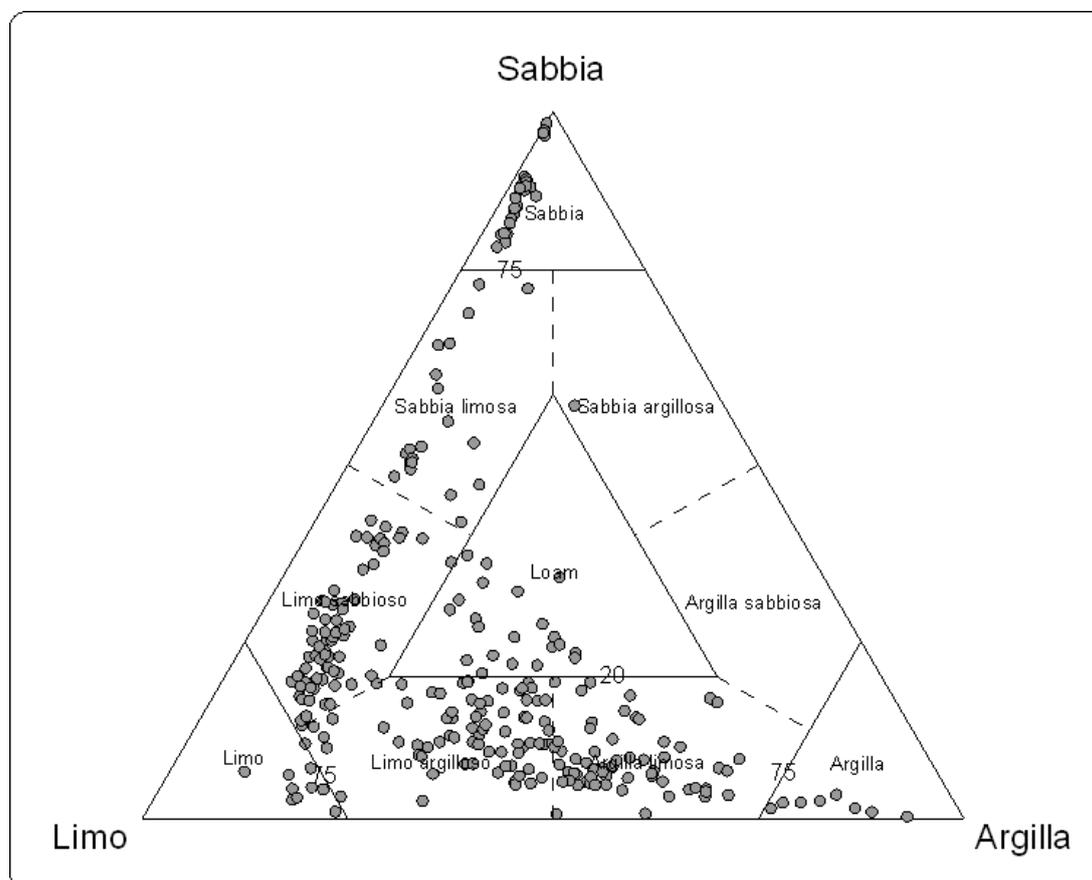


Figura 5: Diagramma di Shepard (1954) modificato dei sedimenti della darsena polisetoriale

Le caratteristiche sedimentologiche presenti nel livello più superficiale dell'area indagata (Figura 6) tendono a mantenersi, pur con un definito gradiente di diminuzione, nei livelli sottostanti fino al limite di profondità caratterizzato, ad eccezione delle aree in cui un substrato, costituito da argille grigio-azzurre di età plio-pleistocenica, si sostituisca alla sedimentazione recente. Una significativa anomalia si riscontra nel canale interno dove all'aumentare della profondità (fino ai 3 metri indagati) corrisponde un incremento della distribuzione di materiale più grossolano (da Figura 6 a Figura 11).



Figura 6: Classificazione granulometrica dei sedimenti dell'area della Darsena Polisettoriale. Livello 0-50 cm



Figura 7: Classificazione granulometrica dei sedimenti dell'area della Darsena Polisetoriale. Livello 50-100 cm

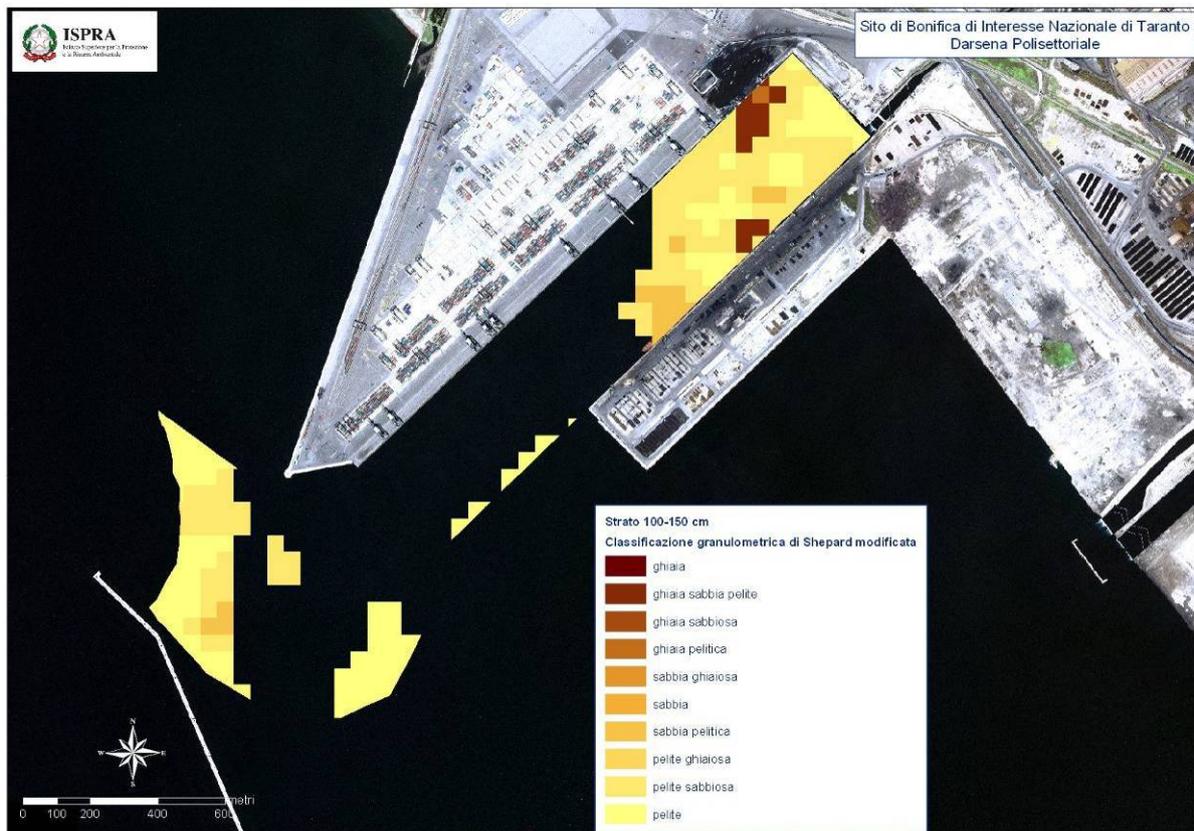


Figura 8: Classificazione granulometrica dei sedimenti dell'area della Darsena Polisetoriale. Livello 100-150 cm



Figura 9: Classificazione granulometrica dei sedimenti dell'area della Darsena Polisetoriale. Livello 150-200 cm

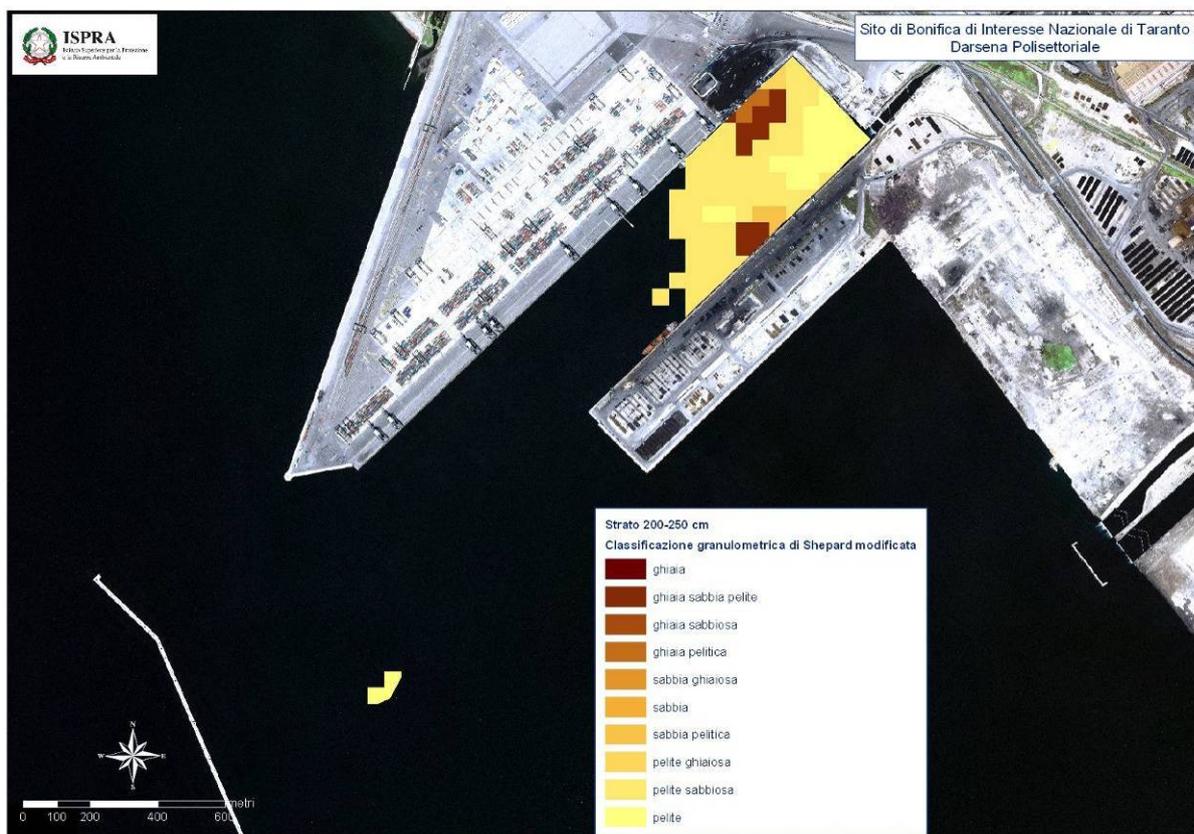


Figura 10: Classificazione granulometrica dei sedimenti dell'area della Darsena Polisetoriale. Livello 200-250 cm



Figura 11: Classificazione granulometrica dei sedimenti dell'area della Darsena Polisetoriale. Livello 250-300 cm

#### 4.2. Valutazione ed Elaborazione dei risultati delle indagini chimiche effettuate sui sedimenti

La valutazione della qualità chimica della matrice sedimento è stata eseguita utilizzando i seguenti limiti di riferimento:

- valori di intervento per l'area definiti nel paragrafo 3.1.
- a fini di una possibile gestione del sedimento, le concentrazioni determinate sono state confrontate con i limiti riportati nella Colonna B Tabella 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, i quali sono stati definiti sulla base dei criteri definiti nel D.M. 7 novembre 2008 e s.m.i., facendo specifico riferimento all'aggiornamento associato al parere ISS n. 0032074 del 23 giugno 2009 “ *Criteri di classificazione dei rifiuti contenenti idrocarburi \_ Integrazione del parere ISS del 05/07/2006 n. 0036565* ”.

La valutazione della localizzazione e dell'estensione della contaminazione è stata fatta sulla base degli esiti delle elaborazioni geostatistiche delle concentrazioni dei diversi contaminati individuati (paragrafo 3.2). Inoltre, per completezza dell'informazione, sono state riportate anche le visualizzazioni puntuali degli analiti i cui superamenti sono risultati essere poco numerosi e non localizzati. Il contributo di quest'ultimi è stato comunque considerato nel calcolo dei volumi totali.

Si evidenzia che le aree non rappresentate nelle elaborazioni (che quindi risultano in nero) sono quelle dove è stata individuata la presenza del substrato e pertanto il volume di sedimento elaborato è stato considerato pari a zero.

Dall'osservazione dei risultati analitici relativi alla caratterizzazione in oggetto è emerso uno stato di contaminazione rilevante principalmente legato alle elevate concentrazioni di composti organici, in particolar modo IPA ed Idrocarburi Pesanti. Le aree maggiormente impattate risultano essere adiacenti i punti di attracco del Terminal Container e del Molo V, nonché la parte più interna della Darsena, adiacente la costa.

E' stata inoltre evidenziata una contaminazione legata a metalli, in particolar modo Mercurio, Rame e Arsenico, per i quali, oltre ai diffusi superamenti del valore di intervento, si osservano superamenti della Colonna B Allegato 5 al Titolo V alla Parte IV del D.Lgs. 152/06. Per Piombo, Cadmio e Zinco, sono state spesso determinate concentrazioni superiori al valore di intervento.

Gli esiti della caratterizzazione hanno evidenziato inoltre una contaminazione da composti organici quali PCB e Composti Organostannici.

Gli **IPA totali** mostrano numerosi superamenti del valore di intervento che interessano, almeno nello strato più superficiale, quasi interamente l'area della Darsena Polisettoriale.

Spostandosi negli strati più profondi l'area caratterizzata si riduce a causa della presenza del substrato (paragrafo 3.2) ed anche i superamenti risultano più localizzati nella zona interna della Darsena, fino ad arrivare all'ultimo strato in cui è emersa contaminazione, lo strato 150-200 cm, in cui i superamenti interessano un'area estremamente ristretta immediatamente adiacente la costa.

Per gli IPA Totali sono emersi inoltre superamenti della Colonna B Allegato 5 al Titolo V alla Parte IV del D.Lgs. 152/06 che nello strato più superficiale interessano l'area adiacente la parte centrale del Terminal Container e ad essa antistante ed adiacente il Molo V, nonché piccole aree della parte più interna della Darsena. I superamenti della Colonna B raggiungono lo strato 100-150 cm, puntualmente, nell'area adiacente la radice del Molo V (Figura 12 - Figura 15)

La massima concentrazione, pari a 1490 mg/kg s.s., è stata determinata nell'area adiacente la parte centrale del Terminal Container nello strato 0-50 cm.



Figura 12. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di IPA Totali rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 13. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di IPA Totali rilevate nello strato 50-100 cm

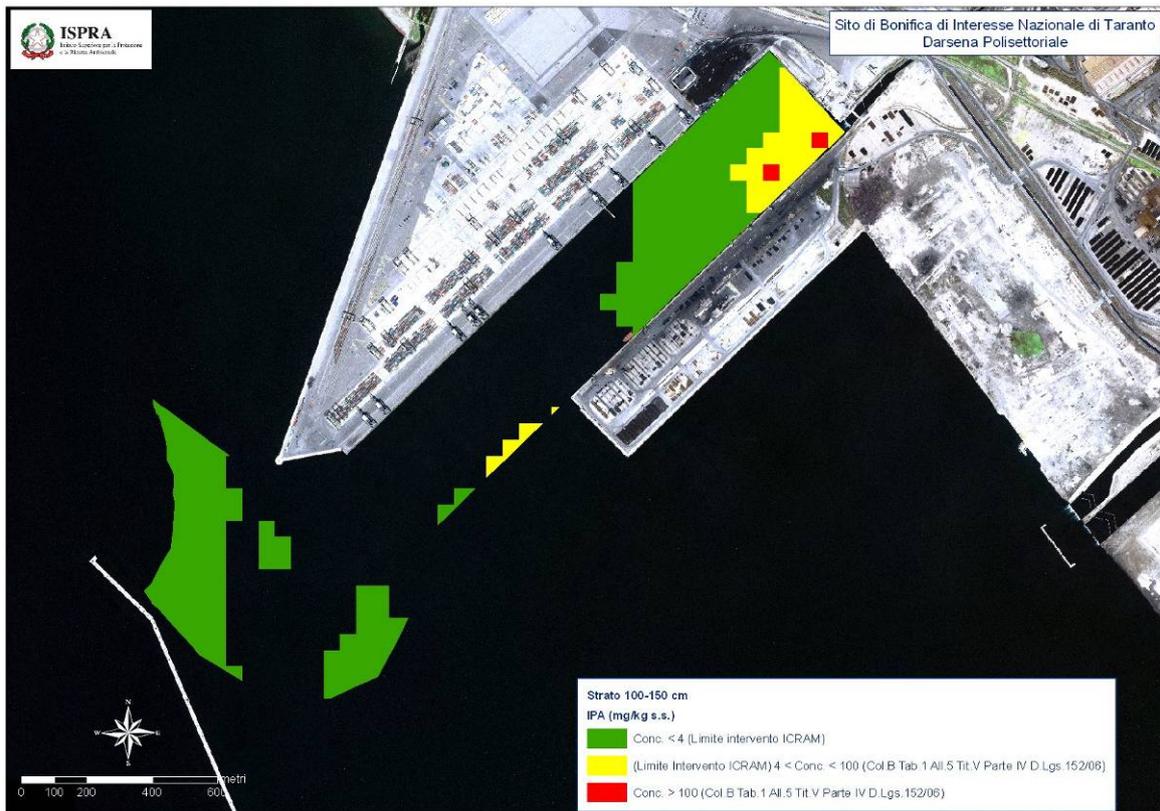


Figura 14. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di IPA Totali rilevate nello strato 100-150 cm



Figura 15. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di IPA Totali rilevate nello strato 150-200 cm

Tra gli IPA determinati, il composto più critico è risultato essere il **Benzo(a)pirene**, per il quale oltre a diffusi superamenti del valore di intervento e numerosi superamenti della Colonna B, essenzialmente localizzati nelle aree dove è stata riscontrata la principale contaminazione legata agli IPA Totali, è stato evidenziato il superamento del limite definito per la classificazione di pericolosità (DM 7 novembre 2008) in corrispondenza dell'area adiacente la parte centrale del Terminal Container nello strato più superficiale, dove è stata determinata la massima concentrazione pari a 263 mg/kg s.s, in corrispondenza della stessa stazione in cui è stata riscontrata la massima concentrazione degli IPA totali.

I superamenti del limite di Colonna B sono distribuiti in aree prevalentemente adiacenti il Molo V ed il Terminal Container. Detti superamenti raggiungono il metro di profondità. Le concentrazioni superiori al valore di intervento che, nella parte più interna della Darsena raggiungono lo strato 150-200 cm, mostrano lo stesso andamento già discusso per gli IPA totali (Figura 16 - Figura 19).



Figura 16. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Benzo(a)pirene rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 17. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Benzo(a)pirene rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 18. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Benzo(a)pirene rilevate nello strato 100-150 cm

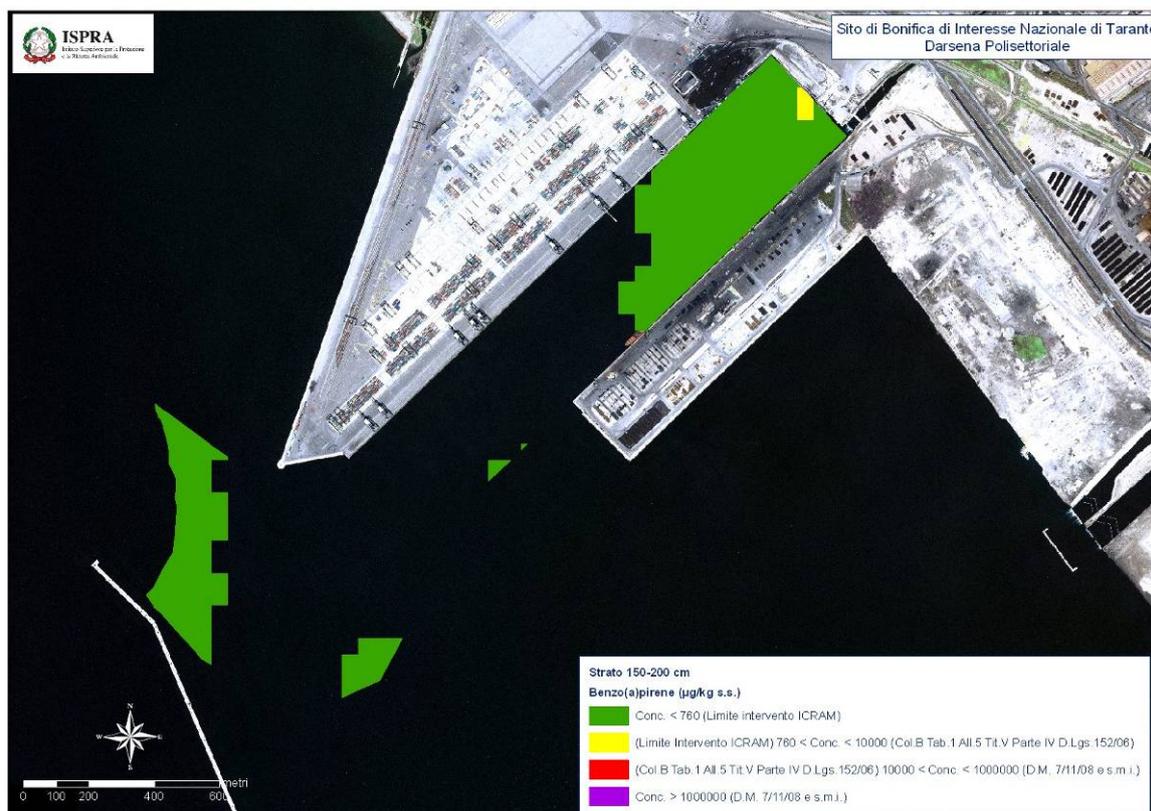


Figura 19. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Benzo(a)pirene rilevate nello strato 150-200 cm

Di seguito si riportano le elaborazioni degli **Idrocarburi Totali** (indicativamente considerati come la sommatoria di Idrocarburi leggeri  $_{IC \leq 12}$  e Idrocarburi pesanti  $_{IC > 12}$ ) perché per gli stessi sono state determinate concentrazioni superiori a 1000 mg/kg s.s., limite di concentrazione definito per la classificazione della pericolosità legata alla presenza di idrocarburi, secondo il parere ISS n. 0032074 del 23/06/2009, quando detta concentrazione è associata a marker di cancerogenesi presenti in concentrazione superiore a quella indicata Tabella 2, esplicitata nel parere ISS e definita sulla base dell'art. 2 della decisione del Consiglio UE 2000/532/CE e s.m.i. e alla direttiva 67/548/CEE e s.m.i.

Marker	Valore limite (mg/kg s.s.)	Sinonimo
Benzo(a)pirene	100	Benzo(def)crisene
Dibenzo(ah)antracene	100	
Benzo(b)fluorantene	1000	Benzo(e)fluorantene Benzo(e)acefenantrilene
Benzo(e)pirene	1000	
Benzo(j)fluorantene	1000	
Benzo(k)fluorantene	1000	
Benzo(a)antracene	1000	
Crisene	1000	

Tabella 2: Concentrazione limite dei marker di cancerogenesi riportata nel parere ISS del 2009

Nel caso specifico, alla concentrazione di Idrocarburi Totali maggiore di 1000 mg/kg s.s. si è associata la concentrazione di Benzo(a)pirene superiore a 100 mg/kg s.s., che ha portato a classificare pericolosi i sedimenti corrispondenti.

L'area in cui sono stati riscontrati sedimenti pericolosi a seguito della concentrazione degli Idrocarburi Totali è ovviamente corrispondente a quella in cui è stata riscontrata la pericolosità legata alla presenza di Benzo(a)pirene.

I superamenti di 1000 mg/kg s.s., non associati a concentrazioni di Benzo(a)pirene superiori a 100 mg/kg s.s., sono localizzati nella parte interna della Darsena Polisetoriale e nell'area antistante la parte terminale del Molo V, dove raggiungono lo strato 100-150 cm (Figura 20 - Figura 22)

Si evidenzia che gli Idrocarburi leggeri (IC<12) sono risultati, nella quasi totalità dei campioni analizzati, non quantificati. Laddove quantificati, le relative concentrazioni non hanno superato 0,5 mg/kg s.s.

In considerazione del minimo peso delle concentrazioni di Idrocarburi leggeri nelle concentrazioni degli Idrocarburi totali, per le valutazioni e le carte degli Idrocarburi totali sono state effettuate utilizzando le elaborazioni statistiche degli idrocarburi pesanti.



Figura 20. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Idrocarburi Totali rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 21. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Idrocarburi Totali rilevate nello strato 50-100 cm

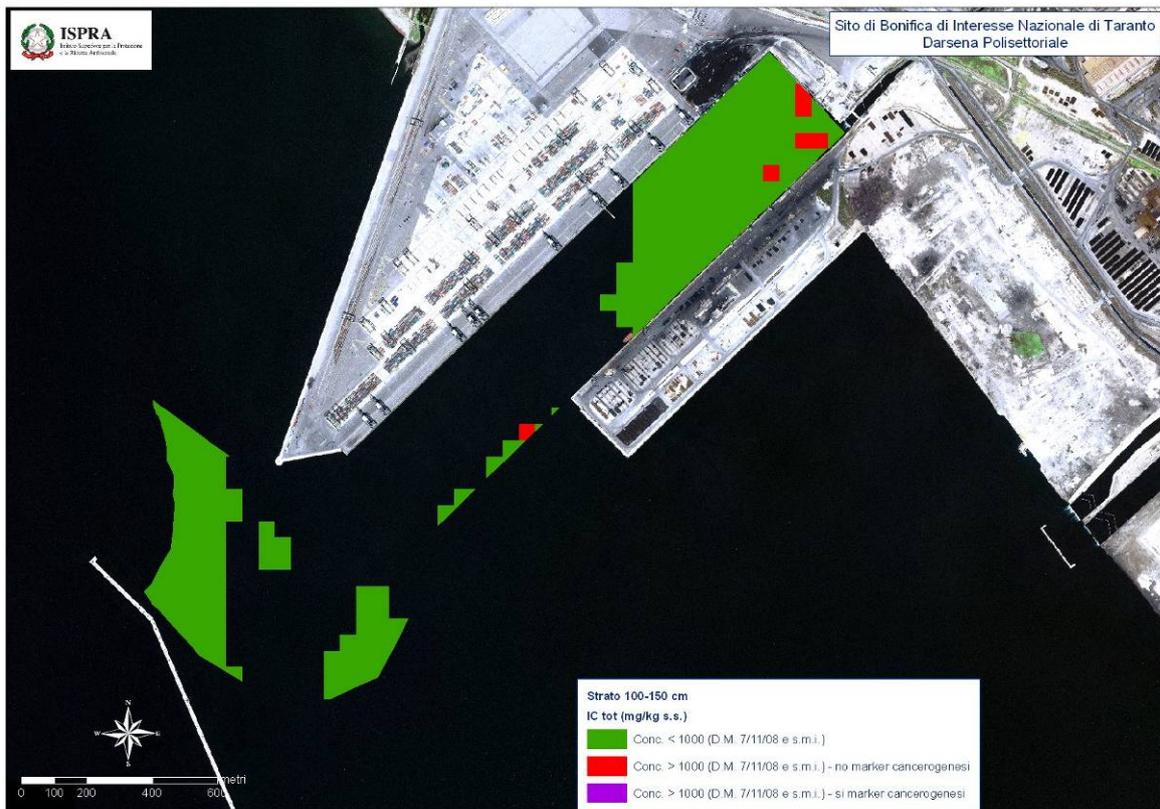


Figura 22. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Idrocarburi Totali rilevate nello strato 100-150 cm

Come già descritto per gli Idrocarburi totali, gli **Idrocarburi pesanti (C>12)** mostrano concentrazioni particolarmente elevate, anche superiori a 750 mg/kg s.s., limite di colonna B Tabella 1 Allegato 5 al titolo V alla parte IV del D.Lgs. 152/06 prevalentemente localizzati nella parte interna della Darsena dove raggiungono lo strato 100-150 cm (Figura 23 - Figura 25). La massima concentrazione, pari a 2110 mg/kg s.s., è stata determinata a circa 800 m dalla costa, nello strato 0-50 cm.



Figura 23. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di IC>12 rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 24. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di IC>12 rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 25. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di IC>12 rilevate nello strato 100-150 cm

Per completare il commento degli IPA, tra i singoli IPA analizzati, non considerando il Benzo(a)pirene già discusso, Fluorantene, Antracene e Naftalene hanno evidenziato superamenti del valore di intervento.

Per Dibenzo(ah)antracene, Benzo(a)antracene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(ghi)perilene, Indeno(123cd)pirene e Pirene, per i quali non è definito un valore di intervento, sono stati evidenziati superamenti della Colonna B Allegato 5 al Titolo V alla Parte IV del D.Lgs. 152/06.

**Benzo(k)fluorantene, Benzo(ghi) perilene, Indeno(123cd)pirene e Benzo(a)antracene** presentano alcuni superamenti della Colonna B principalmente localizzati nello strato 30-50 cm in aree adiacenti il Terminal Container e il Molo V e nello strato 100-120 cm dove interessano un'area molto ristretta adiacente la radice del Molo V. Per il Benzo(a)antracene sono stati evidenziati superamenti anche nello strato più superficiale 0-30 cm (Figura 26 - Figura 41). Le massime concentrazioni, determinate in corrispondenza di una stessa stazione (la stessa in cui è stata determinata il massimo valore del Benzo(a)pirene) nello strato 30-50 cm, sono pari rispettivamente a 117 mg/kg s.s., 83,5 mg/kg s.s. e 96.3 mg/kg s.s.

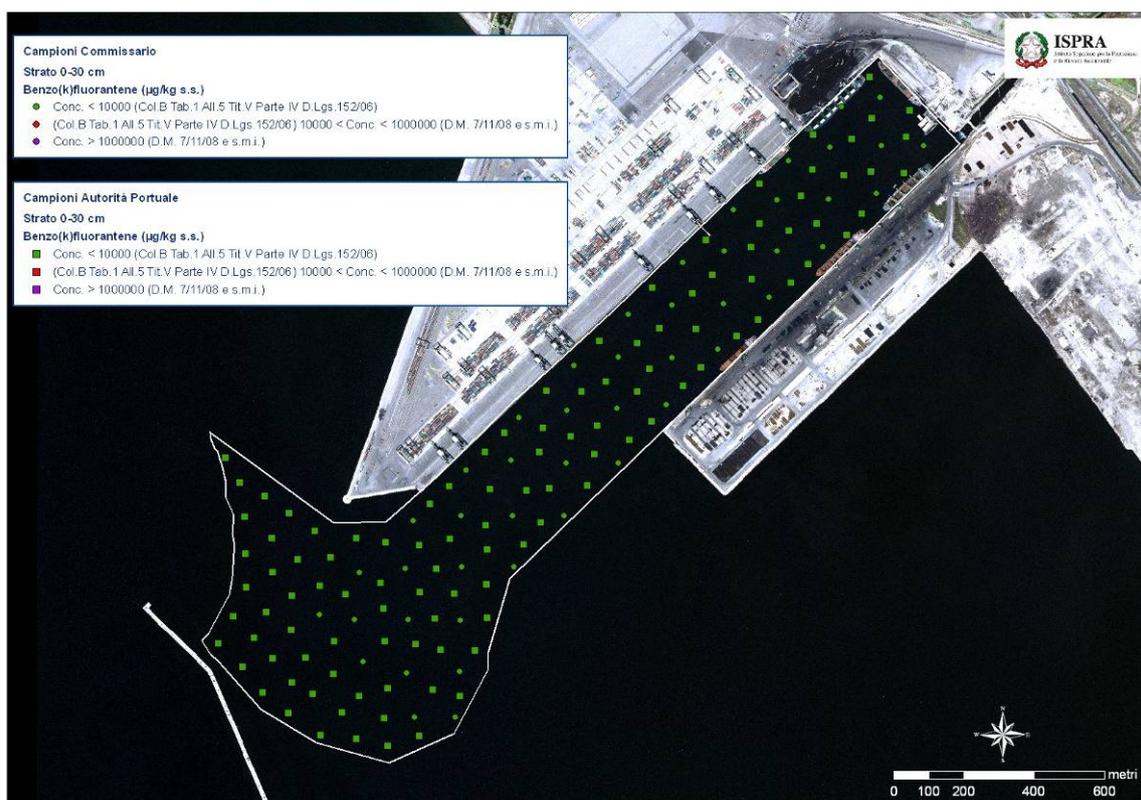


Figura 26. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(k)fluorantene rilevate nello strato 0-30 cm



Figura 27. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(k)fluorantene rilevate nello strato 30-50 cm

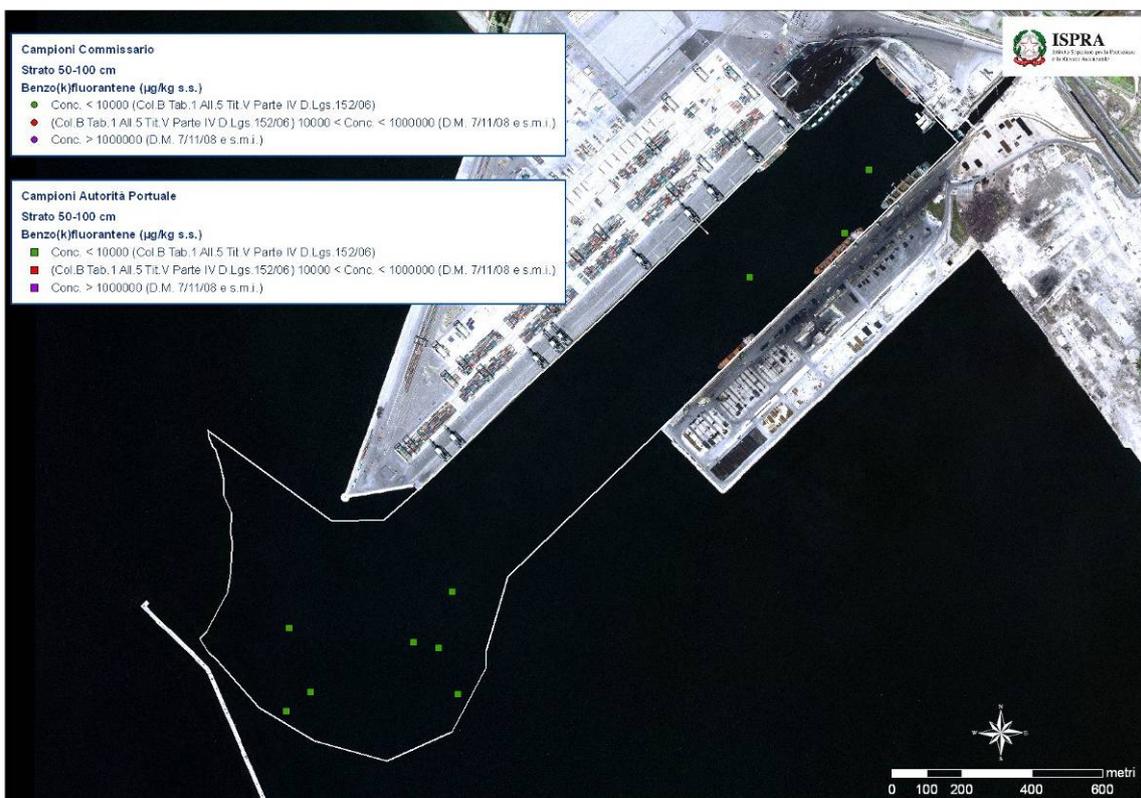


Figura 28. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(k)fluorantene rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 29. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(k)fluorantene rilevate nello strato 100-120 cm



Figura 30. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(ghi)perilene rilevate nello strato 0-30 cm



Figura 31. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(ghi)perilene rilevate nello strato 30-50 cm



Figura 32. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(ghi)perilene rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 33. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(ghi)perilene rilevate nello strato 100-120 cm

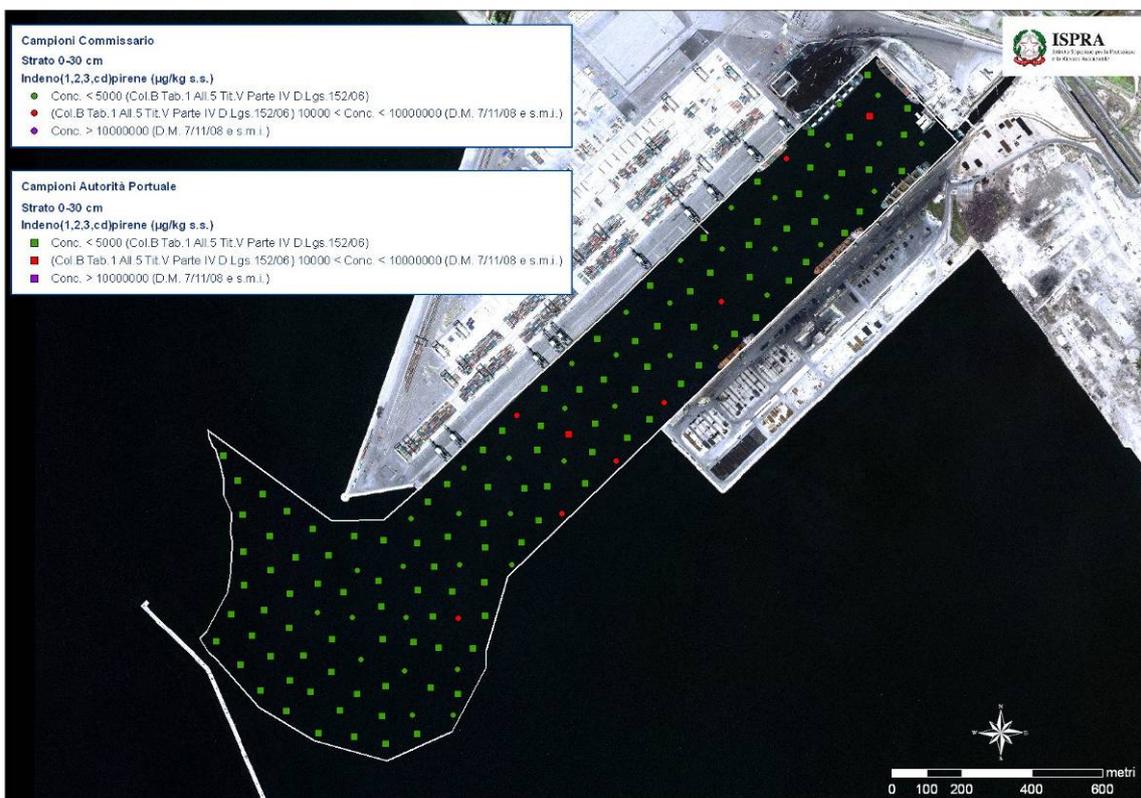


Figura 34. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Indeno(123cd)pirene rilevate nello strato 0-30 cm



Figura 35. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Indeno(123cd)pirene rilevate nello strato 30-50 cm

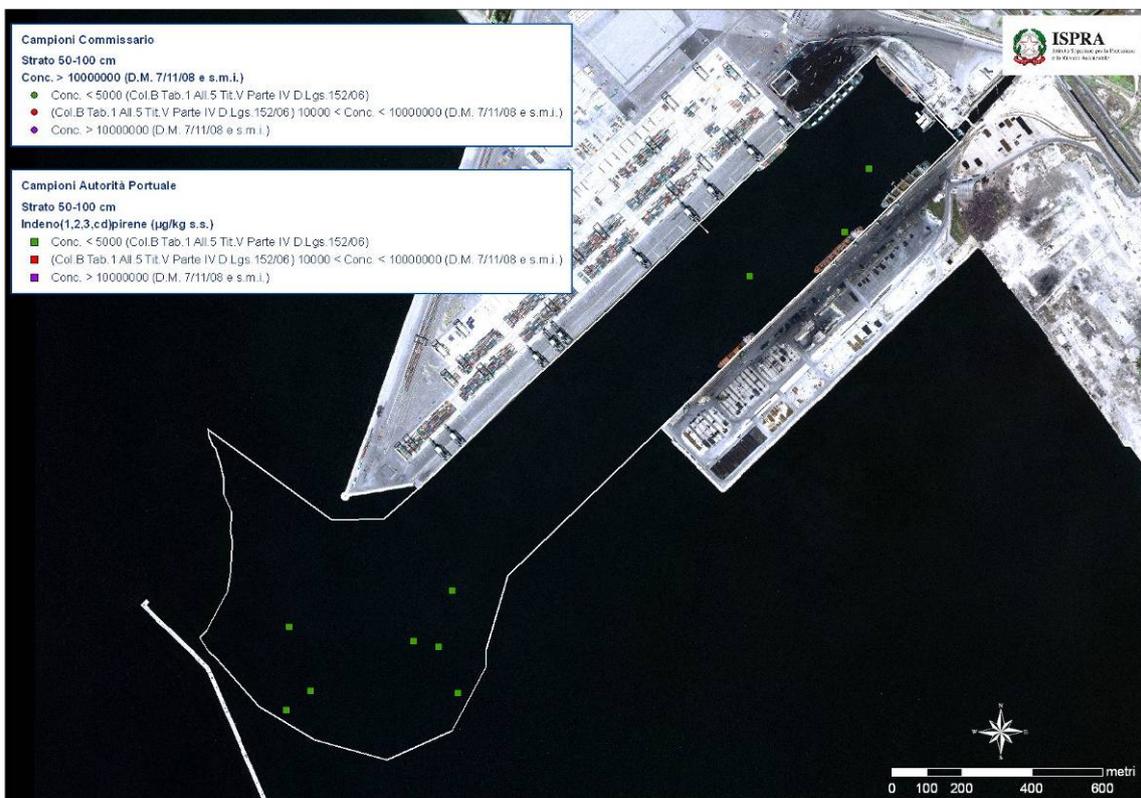


Figura 36. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Indeno(123cd)pirene rilevate nello strato 50-100 cm

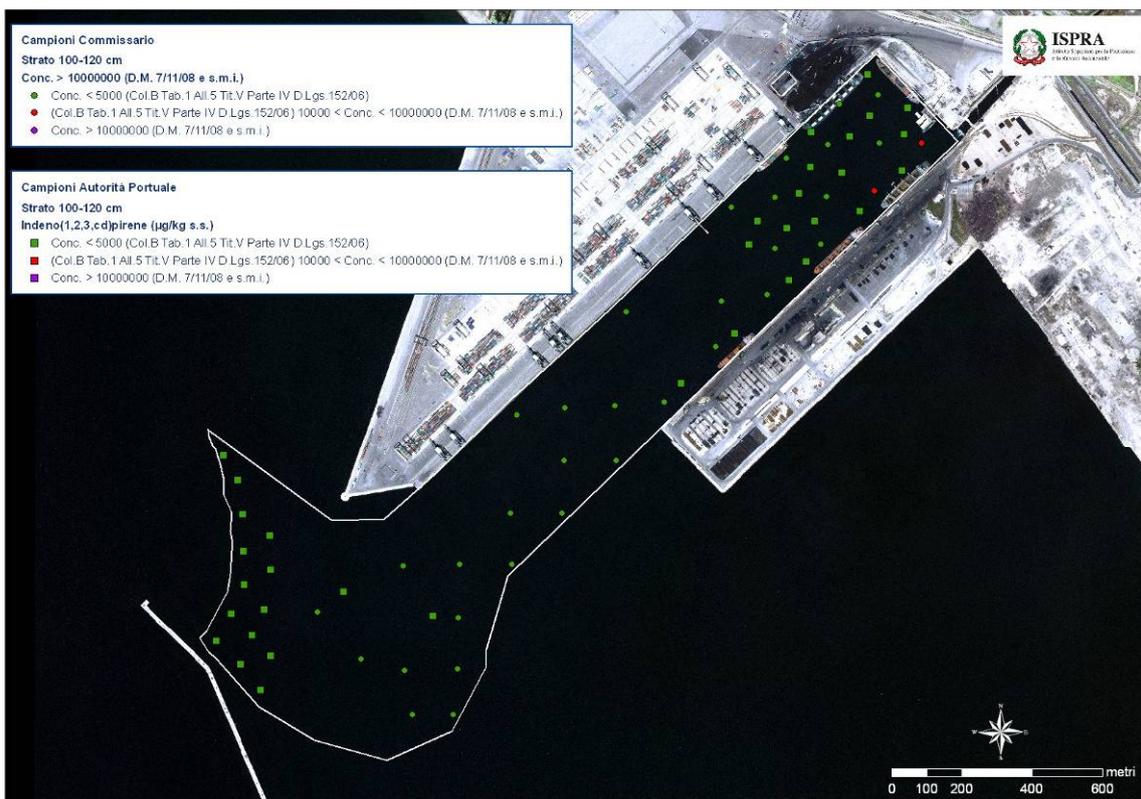


Figura 37. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Indeno(123cd)pirene rilevate nello strato 100-120 cm



Figura 38. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(a)antracene rilevate nello strato 0-30 cm



Figura 39. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(a)antracene rilevate nello strato 30-50 cm

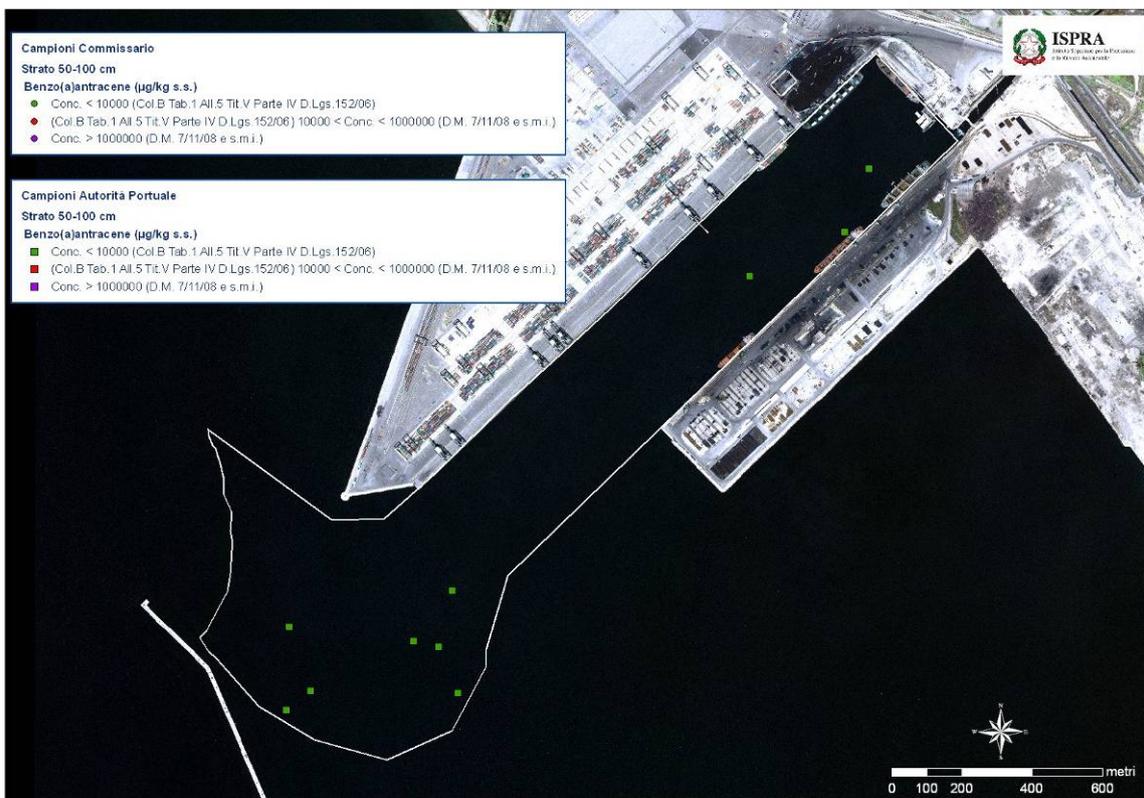


Figura 40. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(a)antracene rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 41. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Benzo(a)antracene rilevate nello strato 100-120 cm

Il **Dibenzo(ah)antracene** ed il **Pirene** presentano un unico superamento della Colonna B nell'area antistante la parte centrale del Terminal Container nello strato 30-50 cm, in corrispondenza della stessa stazione in cui è stata evidenziata la massima concentrazione dei precedenti IPA (Figura 42.- Figura 45). Le massime concentrazioni determinate sono pari rispettivamente a 31,5 mg/kg s.s. e 113 mg/kg s.s.



Figura 42. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Dibenzo(a,h)antracene rilevate nello strato 0-30 cm



Figura 43. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Dibenzo(a,h)antracene rilevate nel livello 30-50 cm



Figura 44. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Pirene rilevate nello strato 0-30 cm



Figura 45. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Pirene rilevate nello strato 30-50 cm

**Fluorantene** e **Antracene** presentano diffusi superamenti del valore di intervento nello strato superficiale, che, spostandosi verso gli strati profondi, riducono l'area interessata fino a raggiungere, per Fluorantene, lo strato 150-200 dove interessano un'area molto ristretta ed adiacente la costa, e per Antracene lo strato 100-150 cm dove l'area interessata dai superamenti è essenzialmente localizzata in un'area adiacente la costa e la radice del Molo V (Figura 46 - Figura 52).

Le massime concentrazioni, determinate nello strato 30-50 cm sempre in corrispondenza della stessa stazione in cui sono stati evidenziati i superamenti degli IPA discussi precedentemente, sono pari rispettivamente a 137 mg/kg s.s. e 10,2 mg/kg s.s.



Figura 46. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Fluorantene rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 47. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Fluorantene rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 48. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Fluorantene rilevate nello strato 100-150 cm



Figura 49. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Fluorantene rilevate nello strato 150-200 cm



Figura 50. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Antracene rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 51. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Antracene rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 52. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Antracene rilevate nello strato 100-150 cm

Il **Naftalene** presenta un unico superamento del valore di intervento, in corrispondenza dello strato più superficiale di un'area adiacente la parte più interna del Terminal Container. La massima concentrazione determinata è pari a 0.6 mg/kg s.s. (Figura 53)



Figura 53. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Naftalene rilevate nello strato 0-30 cm

Per quanto riguarda i metalli, Arsenico, Zinco, Piombo, Mercurio, Rame, Cadmio e Nichel presentano superamenti del valore di intervento; Arsenico e Vanadio presentano inoltre un unico superamento del limite della Colonna B Allegato 5 al Titolo V alla Parte IV del D.Lgs. 152/06.

I superamenti del valore di intervento relativi all' **Arsenico**, nello strato più superficiale, risultano abbastanza diffusi in tutta l'area indagata. Detti superamenti raggiungono lo strato 150-200 cm dove interessano un'area ristretta adiacente la diga foranea antistante il Molo V (Figura 54 - Figura 57)

L'unico superamento della Colonna B è localizzato in un'area adiacente il Terminal Container nello strato 150-200 cm dove è stata determinata una concentrazione pari a 61,67 mg/kg s.s.



Figura 54. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Arsenico rilevate nello strato 0-50 cm

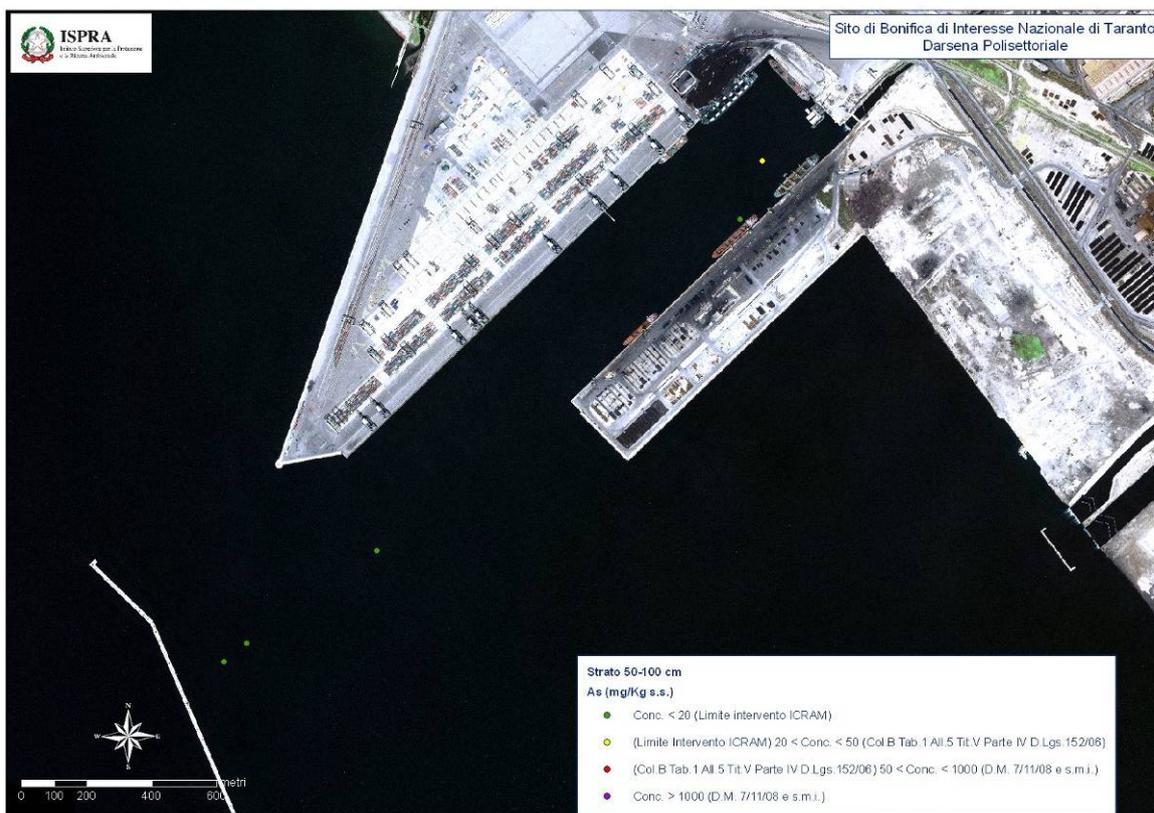


Figura 55. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Arsenico rilevate nello strato 50-100 cm

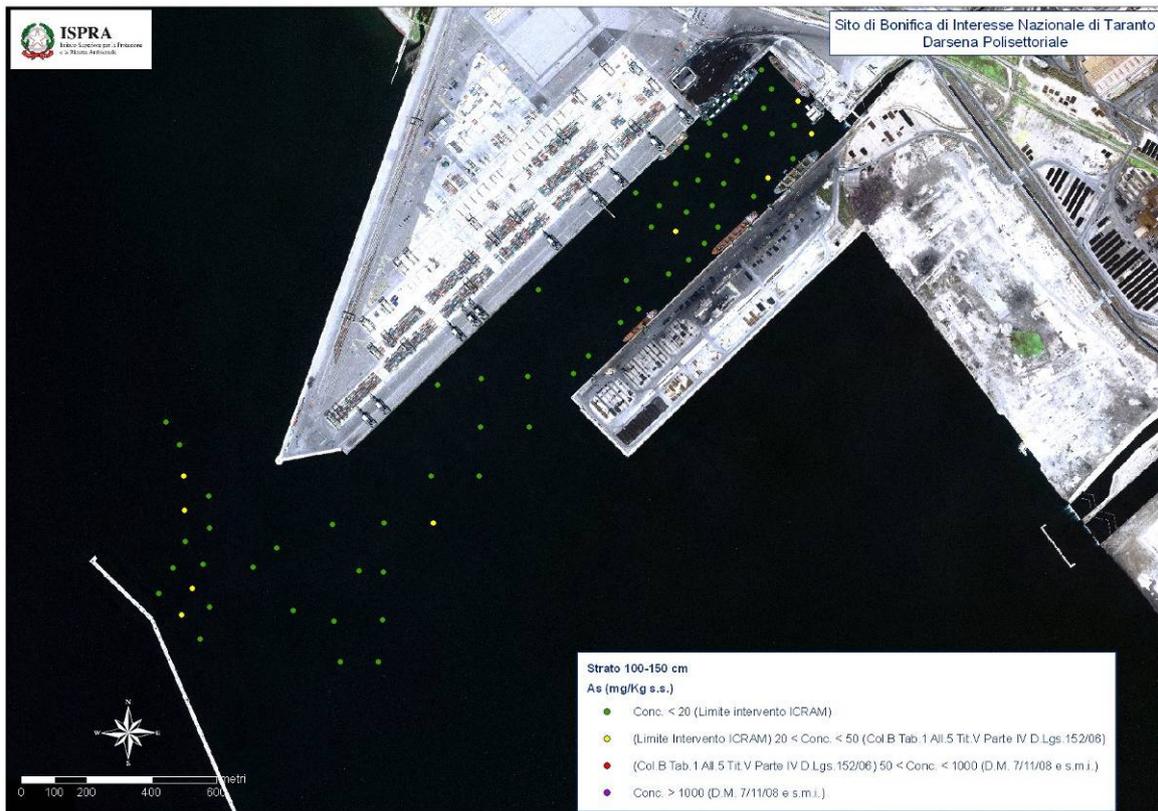


Figura 56. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Arsenico rilevate nello strato 100-150 cm

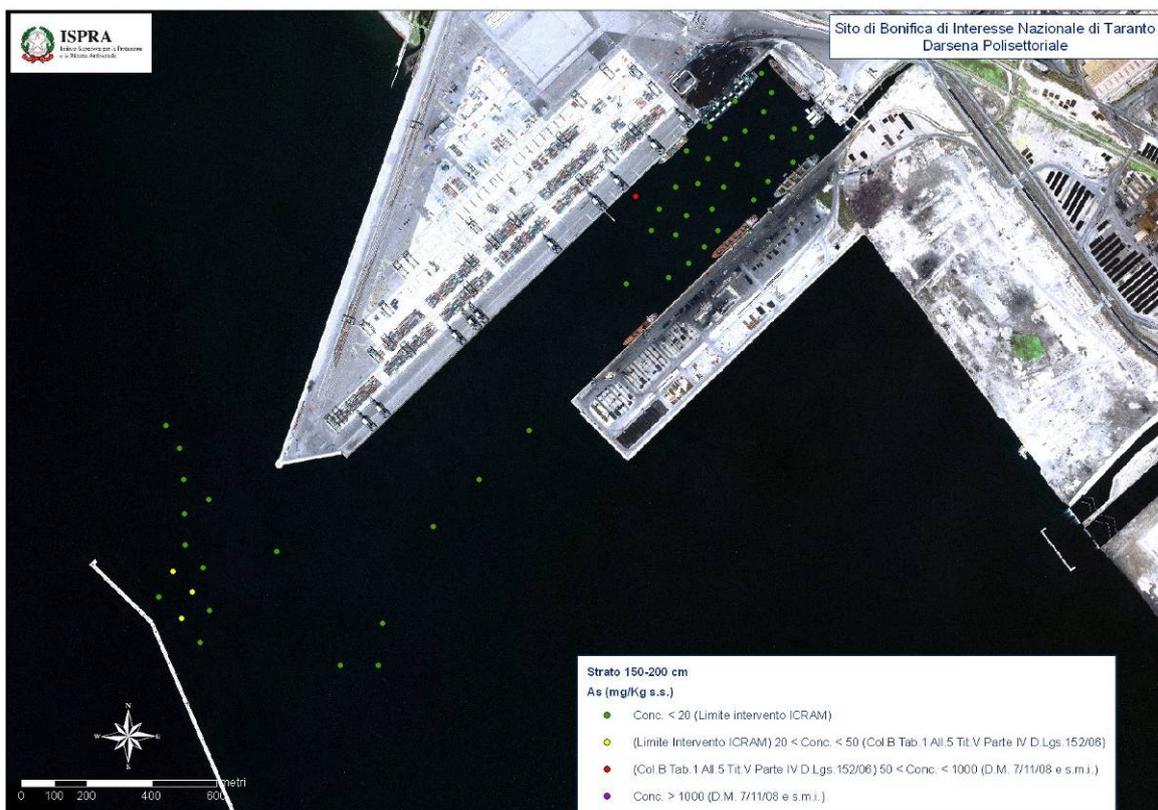


Figura 57. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Arsenico rilevate nello strato 150-200 cm

Lo **Zinco** ha evidenziato numerosi superamenti del valore di intervento principalmente distribuiti nella parte interna della Darsena e lungo il Molo V fino a raggiungere l'imboccatura della Darsena. I superamenti raggiungono lo strato 100-150 cm dove risultano localizzati nell'area adiacente la costa ed il Molo V (Figura 58 - Figura 60).

La massima concentrazione, determinata nello strato 100-150 cm dell'area immediatamente adiacente la costa ed Molo V, è pari a 2263 mg/kg s.s.



Figura 58. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Zinco rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 59. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Zinco rilevate nello strato 50-100 cm

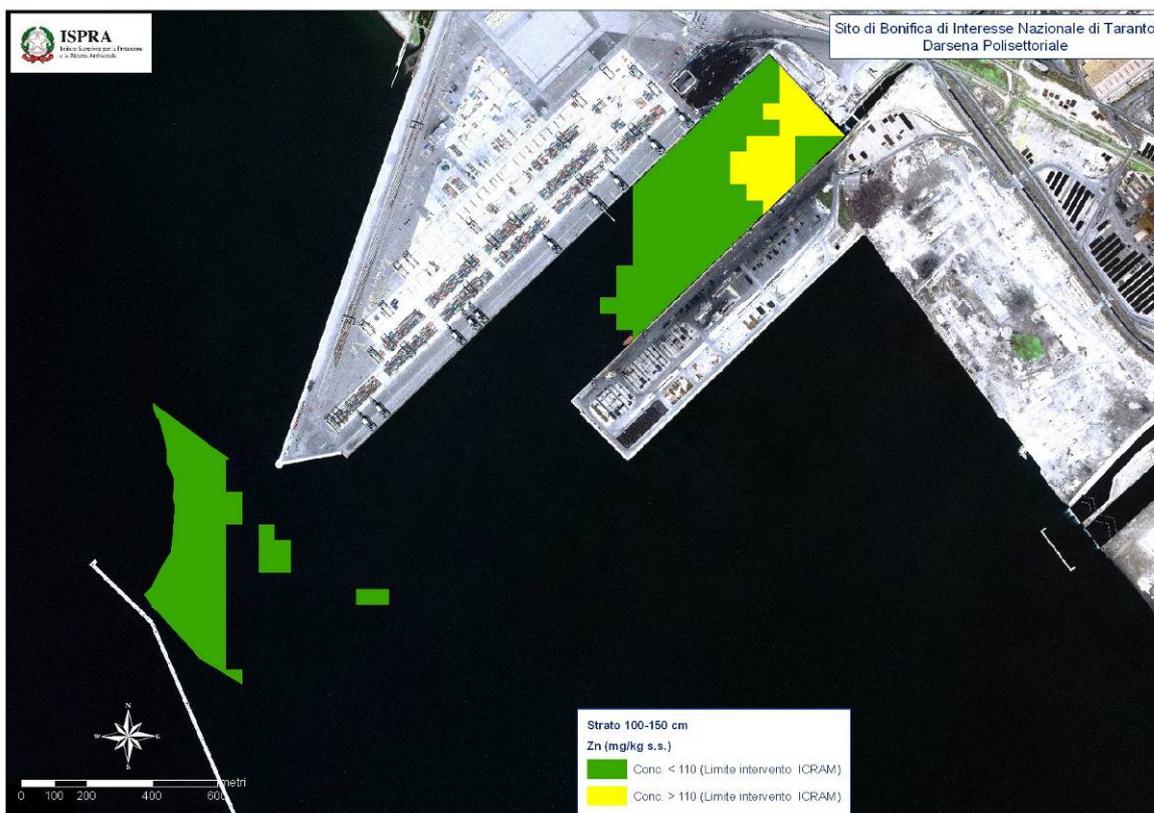


Figura 60. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Zinco rilevate nello strato 100-150 cm

Anche il **Piombo** presenta superamenti del valore di intervento diffusi nello strato superficiale, che si localizzano nell'area adiacente la costa e la radice del Molo V nello strato più profondo interessato dai superamenti, lo strato 100-150 cm (Figura 61 - Figura 63). La massima concentrazione, pari a 173 mg/kg s.s., è stata determinata nello strato 100-150 cm in corrispondenza della stazione in cui è stata riscontrata la massima concentrazione dello Zinco.



Figura 61. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Piombo rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 62. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Piombo rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 63. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Piombo rilevate nello strato 100-150 cm

Il **Mercurio** mostra, nello strato superficiale, superamenti isolati del valore di intervento distribuiti lungo la Darsena. I superamenti raggiungono lo strato 50-100 cm dove risultano localizzati nell'area adiacente la darsena antistante il Molo V (Figura 64 - Figura 65). La massima concentrazione, pari a 1,8 mg/kg s.s., è stata determinata nella parte interna della Darsena in corrispondenza dello strato superficiale.



Figura 64. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Mercurio rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 65. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Mercurio rilevate nello strato 50-100 cm

Il **Rame** ed il **Cadmio** presentano superamenti puntuali del valore di intervento che, nello strato superficiale, interessano l'area adiacente la costa ed il Molo V, nonché limitatamente al Rame l'imboccatura della Darsena, e che raggiungono lo strato 100-150 cm dove risultano localizzati nella sola parte interna della Darsena, adiacente la costa ed il Molo V (Figura 66 - Figura 71).

Le massime concentrazioni sono risultate pari rispettivamente a 130 mg/kg s.s. (strato 0-50 cm adiacente Molo V) e 1,3 mg/kg s.s. (strato 100-150 cm)



Figura 66. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Rame rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 67. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Rame rilevate nello strato 50-100 cm

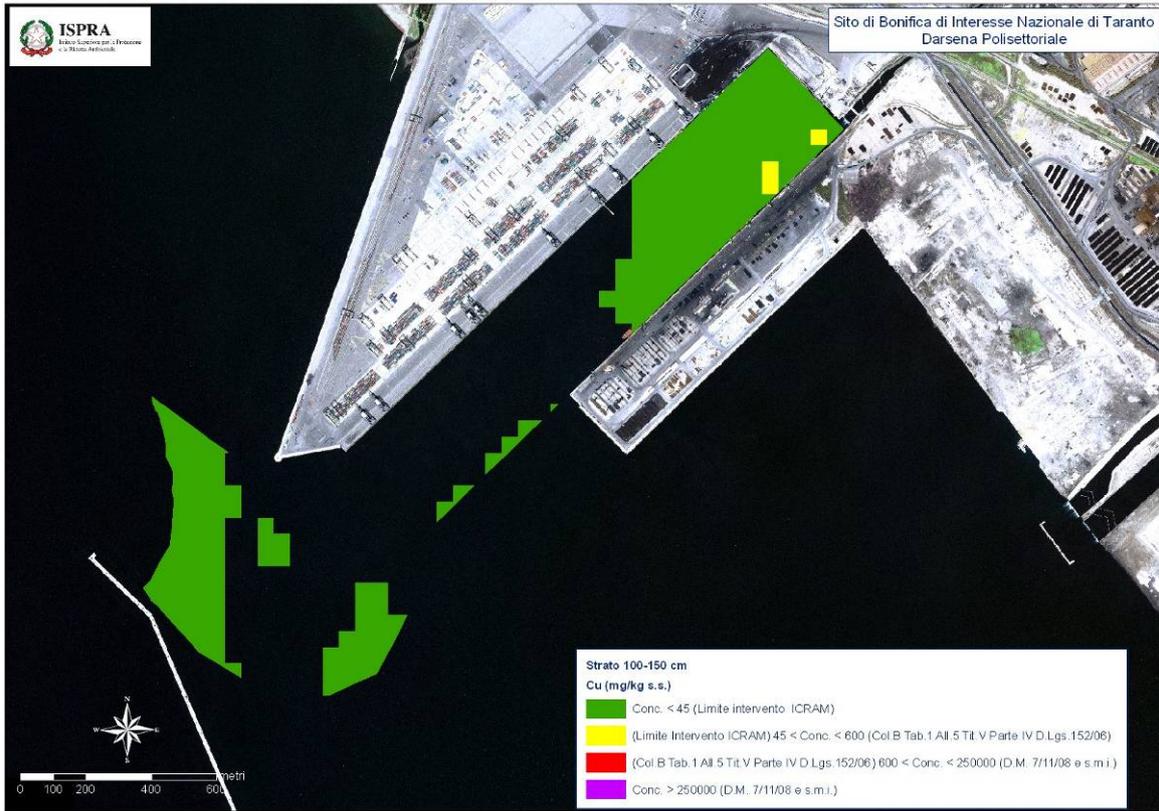


Figura 68. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Rame rilevate nello strato 100-150 cm

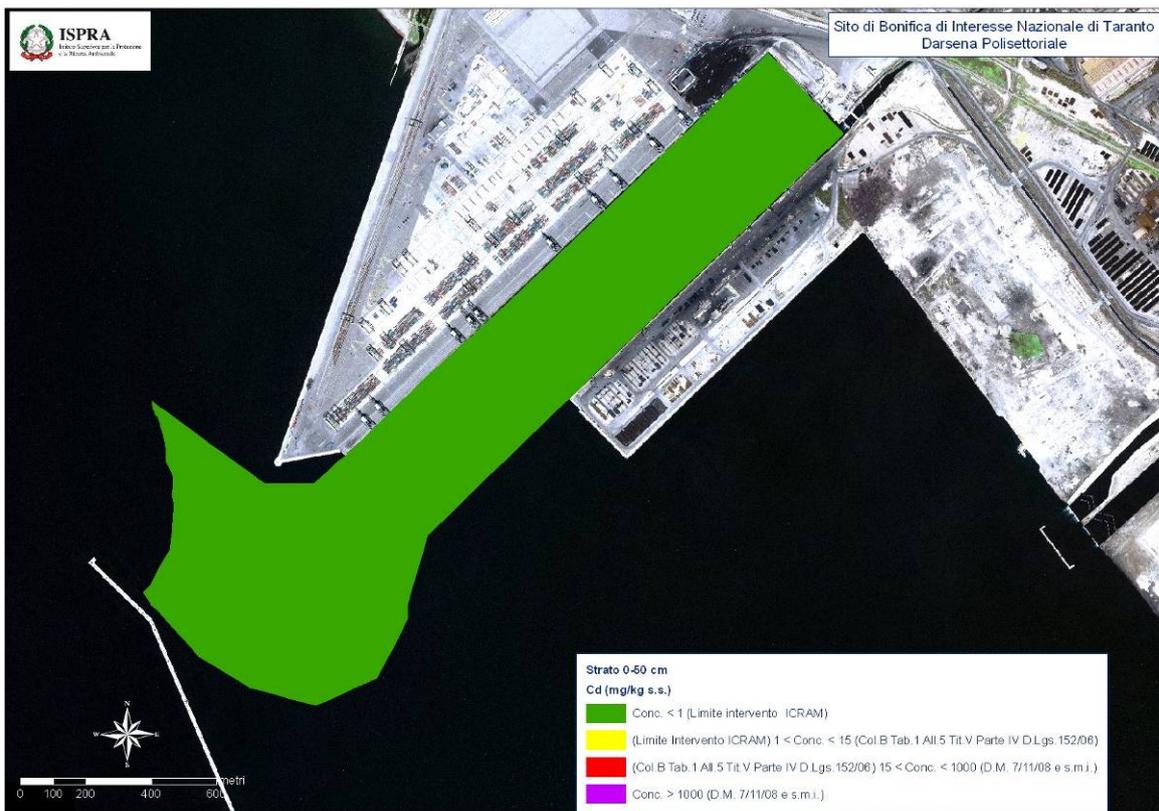


Figura 69. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Cadmio rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 70. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Cadmio rilevate nello strato 50-100 cm



Figura 71. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Cadmio rilevate nello strato 100-150 cm

Il **Nichel** mostra superamenti puntuali del valore intervento che, nello strato superficiale interessano l'area adiacente il terminal Container e l'imboccatura della Darsena e raggiungono lo strato 100-150 cm nella sola area direttamente antistante il Molo V (Figura 73 - Figura 74).

La massima concentrazione, determinata nella parte interna della Darsena nello strato superficiale, è pari a 360 mg/kg s.s..



Figura 72. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Nichel rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 73. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Nichel rilevate nello strato 50-100 cm

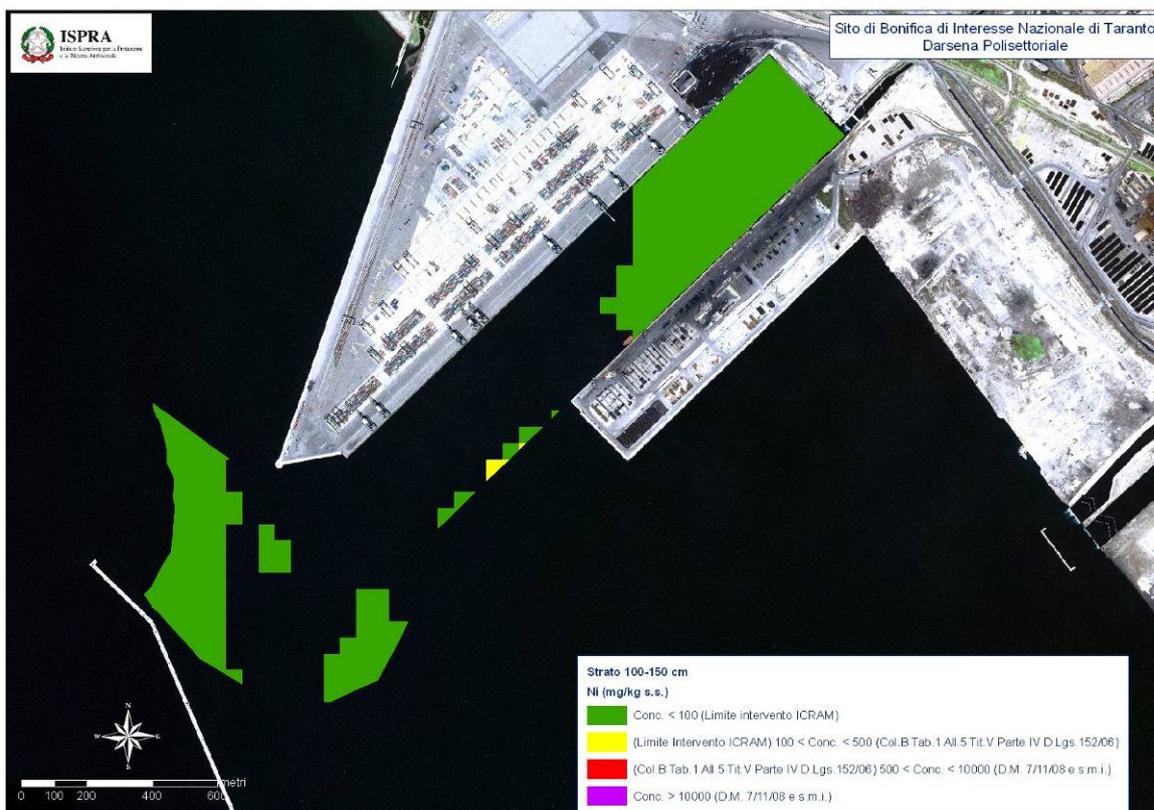


Figura 74. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di Nichel rilevate nello strato 100-150 cm

Il superamento della Colonna B del **Vanadio** è localizzato nell'area direttamente antistante il Molo V nello strato più superficiale, in cui è stata determinata una concentrazione pari a 686 mg/kg s.s. (Figura 75).



Figura 75. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Vanadio rilevate nello strato 0-30 cm

Gli esiti della caratterizzazione hanno evidenziato per i **PCB** Totali superamenti del valore di intervento che interessano il primo metro di sedimento indagato e che sono essenzialmente localizzati nell'area compresa tra il Molo v ed il Terminal Container (Figura 76 - Figura 77) La massima concentrazione, pari a 2050  $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s., è stata determinata nello strato 0-50 cm nell'area adiacente la parte centrale del Terminal Container in corrispondenza della stessa stazione



Figura 76. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di PCB Totali rilevate nello strato 0-50 cm



Figura 77. Elaborazione geostatistica delle concentrazioni di PCB Totali rilevate nello strato 50-100 cm

Per i **Composti Organostannici** sono emersi alcuni superamenti tutti localizzati in corrispondenza di aree di attracco lungo il pontile ILVA ed il Terminal Container (Figura 78 - Figura 79).

Di particolare rilievo la massima concentrazione determinata nel livello 0-20 cm di un'area adiacente il Molo V e pari a 16900  $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s., a fronte degli altri superamenti riscontrati, tutti compresi nel range 97  $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s. e 430  $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s. e del valore di intervento pari a 70  $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s..



Figura 78. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Composti Organostannici rilevate nello strato 0-30 cm



Figura 79. Visualizzazione puntuale delle concentrazioni di Composti Organostannici rilevate nello strato 30-50 cm

### 4.3. Valutazione ed Elaborazione dei risultati delle indagini ecotossicologiche effettuate sui sedimenti

I dati utilizzati per la valutazione ecotossicologica di quest'area, come già specificato nel paragrafo 4, tengono conto degli esiti della caratterizzazione eseguita dall'Autorità Portuale nell'area marina-costiera della Darsena Polisetoriale di Taranto, integrati con i risultati della caratterizzazione eseguita dal Commissario di Governo per l'Emergenza Ambientale in Puglia.

In Figura 80 è riportata l'esatta ubicazione delle stazioni di campionamento dei sedimenti dove sono state condotte tali indagini, mentre in Figura 81 è riportata un'immagine che riporta il giudizio sintetico di tossicità dei campioni prelevati nell'area delle Darsena Polisetoriale.

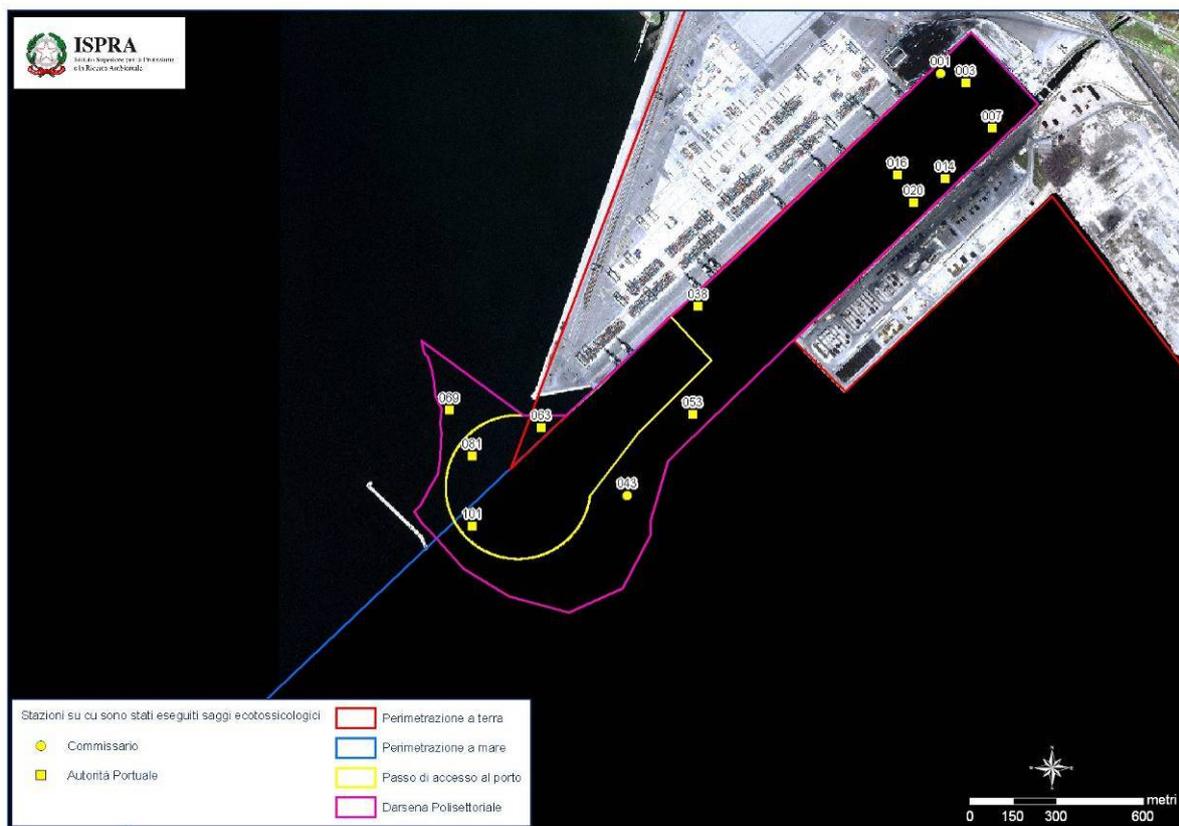


Figura 80: Ubicazione delle stazioni di campionamento per l'esecuzione di saggi ecotossicologici nell'Area della Darsena Polisetoriale

Per la caratterizzazione eseguita dall'Autorità Portuale di Taranto sono stati prelevati ed analizzati n. **14** campioni di sedimento.

E' stata impiegata una batteria di saggi biologici costituita dal crostaceo anfipode *Corophium orientale*, applicato al sedimento tal quale, e dall'alga verde *Dunaliella tertiolecta*, applicata all'elutriato.

Sulla base delle risultanze analitiche pervenute, considerando i criteri di valutazione ecotossicologica di cui al "Manuale per la movimentazione di fondali marini" (APAT-ICRAM, 2007), così come recepiti all'Allegato 1 del DM 56 del 14/09/2009, le risposte biologiche riscontrate sono risultate piuttosto eterogenee per organismo-test e per matrice. Dei 14 campioni esaminati solo 2 (TA02/0003/SC0180-0200 e TA02/0007/SC0180-0200) possono essere considerati privi di effetti ecotossicologici. Tutti i restanti hanno causato

effetti più o meno evidenti. In particolare, i campioni TA02/0003/BN0000-0020, TA02/0053/BN0000-0020, TA02/0053/SC0030-0050, possono essere considerati piuttosto tossici, in quanto hanno determinato effetti superiori al 50% (in termini di mortalità per il primo campione, come inibizione della crescita per il secondo e il terzo).

Da segnalare, inoltre, alcuni casi di biostimolazione di incerta interpretazione, come per i campioni TA02/0069/SC0180-0200 e TA02/0016/SC0180-0200, in quanto tale effetto potrebbe essere attribuibile sia alla presenza in concentrazioni relativamente basse di contaminanti, che innescano una reazione di crescita come risposta ad una condizione di stress, sia all'arricchimento in nutrienti della matrice analizzata per via del processo stesso di elutriazione che favorisce la solubilizzazione di nitrati e fosfati.

Per quanto riguarda la caratterizzazione eseguita dal Commissario di Governo, nel perimetro dell'area della Darsena Polisettoriale sono stati prelevati ed analizzati n. 4 campioni di sedimento, riconducibili a 2 carote delle quali sono stati saggiati i livelli 0-20 cm e 100-120 cm.

La batteria di saggi biologici utilizzata in questo caso risulta costituita da 2 organismi test (*Vibrio fischeri* e *Brachionus plicatilis*) con i quali sono state esaminate complessivamente due matrici ambientali elutriato e fase solida.

Sulla base delle risultanze analitiche pervenute, i campioni possono essere giudicati sostanzialmente privi di tossicità acuta o con tossicità trascurabile, con l'eccezione di TA04/0001/SC0100-0120, che può essere giudicato con tossicità bassa. In questo campione è stata rilevata una inibizione della bioluminescenza del batterio marino *V. fischeri* tale da poter individuare una EC20.

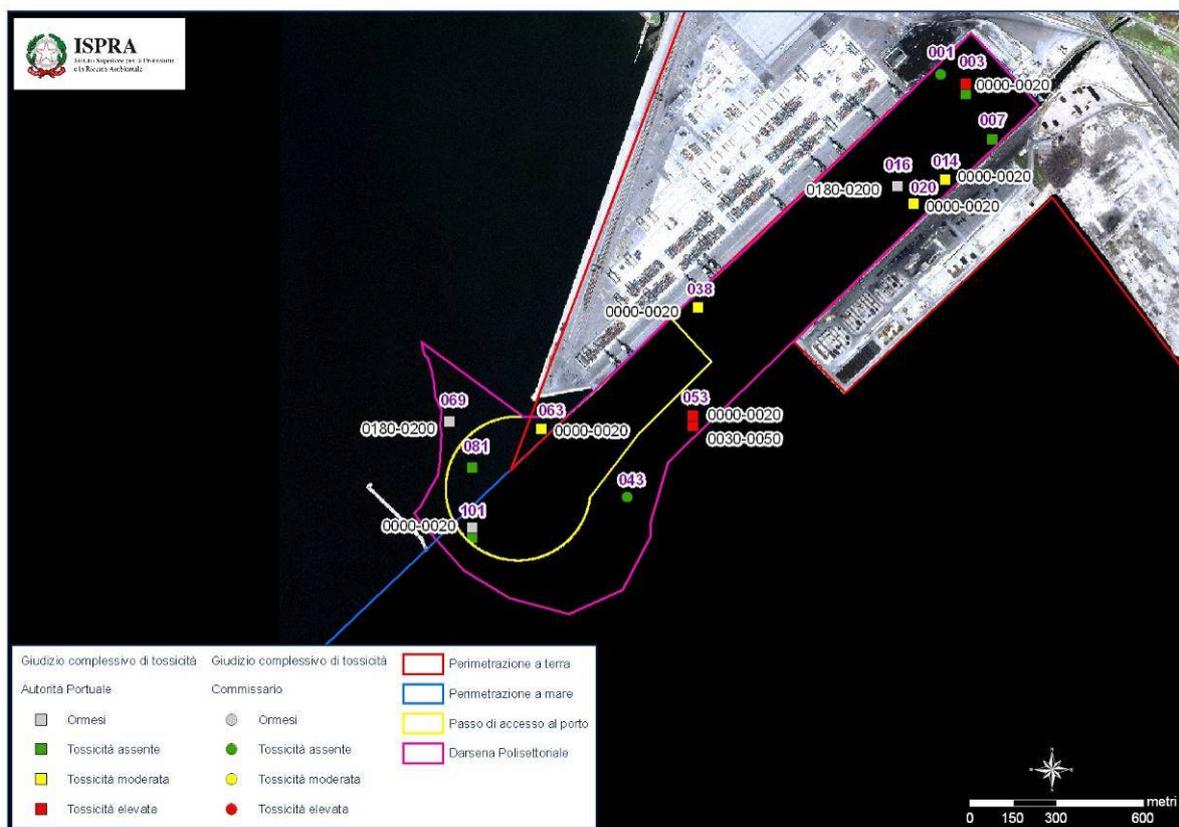


Figura 81: Giudizio sintetico di tossicità dei campioni prelevati nell'area Darsena Polisettoriale

#### **4.4. Valutazione dei risultati delle indagini microbiologiche effettuate sui sedimenti**

Dall'osservazione dei risultati delle indagini microbiologiche effettuate sui sedimenti dell'area oggetto della presente caratterizzazione, non si evincono particolari situazioni di inquinamento microbiologico. Infatti, non è stata rilevata la presenza di organismi patogeni, quali la Salmonella, e le concentrazioni di streptococchi fecali e spore di clostridi solfito riduttori non danno evidenza di contaminazione di origine fecale né recente né pregressa.

## 5. ELABORAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI FINALIZZATA AL CALCOLO DEI VOLUMI DI SEDIMENTO CONTAMINATO

Nel presente capitolo sono riportate le elaborazioni complessive dei risultati della caratterizzazione ambientale dell'area Darsena Polisettoriale, nonché la stima dei volumi di sedimento con concentrazioni superiori ai valori di intervento, così come definiti nel paragrafo 3.1, e pertanto da sottoporre ad interventi di bonifica. Ai fini del calcolo del volume dei sedimenti da sottoporre ad interventi di bonifica è stato utilizzato il medesimo sistema di griglie (paragrafo 3.2) utilizzato per le elaborazioni dei risultati analitici.

Ciascuna maglia è stata individuata come da sottoporre ad interventi di bonifica se in essa si è riscontrato, per anche un solo contaminante, il superamento:

- dei valori di intervento ICRAM;
- dei valori limite riportati nella colonna B della Tab. 1 dell'All. 5 al Titolo V alla Parte Quarta del D.Lgs. 152/06;
- dei valori limite per i pericolosi come da Allegato D del D.Lgs 152/2006 Parte IV - Titolo I e II, secondo quanto indicato dall'art. 1 comma 996 della Legge n. 296 del 27 dicembre 2006.

Tale criterio è stato adottato in quanto il valore di concentrazione stimato in una determinata cella non è un'informazione puntuale ma costituisce la concentrazione media di tutto il sedimento contenuto nella cella stessa: il superamento del limite rappresenta quindi un superamento generalizzato di tutto il volume individuato per la bonifica. Inoltre, alla singola cella delle griglie di elaborazione è stata attribuita, in via cautelativa, la qualità peggiore tra i superamenti dei contaminanti riscontrativi.

Il calcolo dei volumi di sedimento contaminato è stato effettuato in verticale per strati consecutivi spessi 50 cm. In quelle celle in cui dall'elaborazione della quota del tetto delle argille plio-pleistoceniche è risultato uno spessore di sedimento recente inferiore ai 50 cm, per il calcolo del volume è stato utilizzato lo spessore medio stimato all'interno della cella.

Nelle immagini che seguono, rappresentanti le elaborazioni per strati successivi di 50cm, sono state visualizzate solo quelle celle il cui spessore ricade almeno in parte nello strato di sedimentazione recente, mentre le celle che ricadono completamente all'interno del substrato di argille plio-pleistoceniche non sono state visualizzate.

In Tabella 3 sono riportati i volumi complessivi di sedimento contaminato, ottenuti, tenendo conto dello spessore della coltre sedimentaria recente, per ciascuno strato consecutivo di sedimento di spessore pari a 50 cm e fino alla massima profondità di contaminazione o di elaborazione di ciascuna area.

<b>STRATO (cm)</b>	<b>VOLUME TOTALE SEDIMENTO CONTAMINATO [m<sup>3</sup>]</b>
<b>0-50</b>	360 500
<b>50-100</b>	166 275
<b>100-150</b>	35 188
<b>150-200</b>	2 224
<b>200-250</b>	0
<b>250-300</b>	0
<b>TOTALE</b>	<b>564 187</b>

Tabella 3: Volumi complessivi di sedimento contaminato nell'area della Darsena Polisettoriale

Sono inoltre riportate nel seguito le carte contenenti l'elaborazione complessiva e le risultanti superfici da bonificare per l'area oggetto degli interventi (dalla Figura 82 alla Figura 87), rappresentate in strati consecutivi di sedimento di spessore di 50 cm fino alla profondità di 3 m, o meno nel caso in cui la contaminazione si arresti prima di tale quota. In tali figure vengono indicati con il:

- “**GIALLO**”, i sedimenti per cui almeno uno dei parametri analizzati presenta concentrazioni superiori ai valori di intervento ma inferiori ai valori di concentrazione limite indicati nella col. B tab. 1 del D.Lgs. 152/06;
- “**ROSSO**”, ai fini della gestione, 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” (valori limite riportati nell'Allegato D del D.Lgs 152/2006 Parte IV - Titolo I e II);
- “**VIOLA**”, ai fini della gestione, i sedimenti con concentrazioni superiori ai valori limite per la classificazione dei “pericolosi” (in linea con l'Allegato D del D.Lgs 152/2006 Parte IV - Titolo I e II).

In Tabella 4 sono infine riportati, per ciascuno strato consecutivo di sedimento, di spessore pari a 50 cm, e fino alla profondità di 3 m, i volumi complessivi da sottoporre ad interventi di bonifica per le aree di interesse, suddivisi nelle classi di colore individuate.

	<b>Limite Intervento ICRAM &lt; Conc. &lt; Col.B Tab.1 All.5 Tit. V Parte IV D.Lgs.152/06</b>	<b>Col.B Tab.1 All.5 Tit. V Parte IV D.Lgs.152/06 50 &lt; Conc. &lt; Pericolosi</b>	<b>Conc. &gt; Pericolosi</b>
<b>0-50</b>	300 755	57 758	1 987
<b>50-100</b>	137 489	28 786	
<b>100-150</b>	28 669	6 519	
<b>150-200</b>	2 224		
<b>200-250</b>			
<b>250-300</b>			
<b>TOTALI</b>	<b>469 137</b>	<b>93 063</b>	<b>1 987</b>
<i><b>Totali Rossi + Viola</b></i>		<i><b>95 050</b></i>	
<i><b>Totali Gialli+Rossi+Viola</b></i>		<i><b>564 187</b></i>	

Tabella 4: Volumi complessivi di sedimento da bonificare, suddivise per classi di qualità, nell'area della Darsena Polisettoriale (m<sup>3</sup>)

Si specifica che i volumi sopra riportati sono maggiori rispetto a quelli riportati nella Tabella 12 del documento “Piano di gestione dei sedimenti del Porto di Taranto” (Rif. doc. ISPRA # Piano di gestione sedimenti Porto di Taranto-v.20, Settembre 2009), in quanto l'area e la quota interessata da interventi di dragaggio previsti dal Piano sono inferiori rispetto all'area caratterizzata ai fini della bonifica.



Figura 82: Strati di sedimento 0-50 cm. Aree da sottoporre ad interventi di bonifica nella Darsena Polisetoriale



Figura 83: Strati di sedimento 50-100 cm. Aree da sottoporre ad interventi di bonifica nella Darsena Polisetoriale



Figura 84: Strati di sedimento 100-150 cm. Aree da sottoporre ad interventi di bonifica nella Darsena Polisetoriale

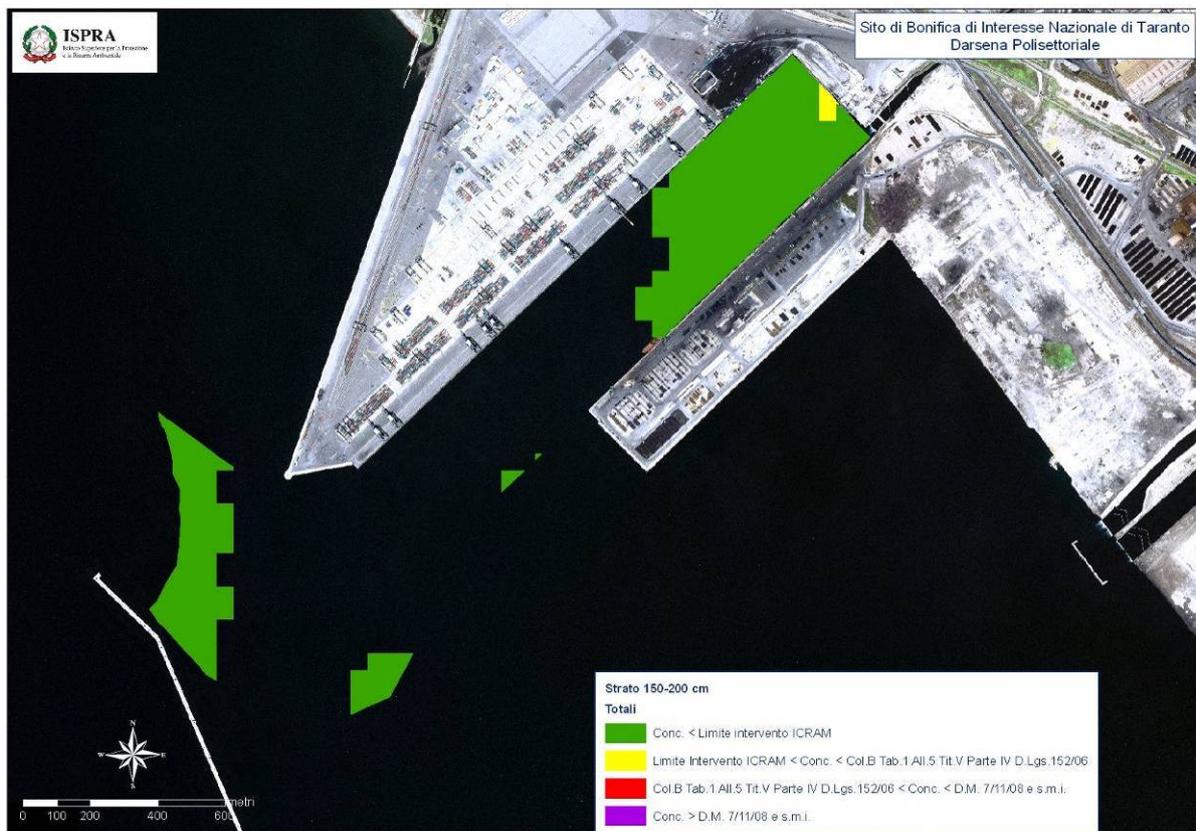


Figura 85: Strati di sedimento 150-200 cm. Aree da sottoporre ad interventi di bonifica nella Darsena Polisetoriale

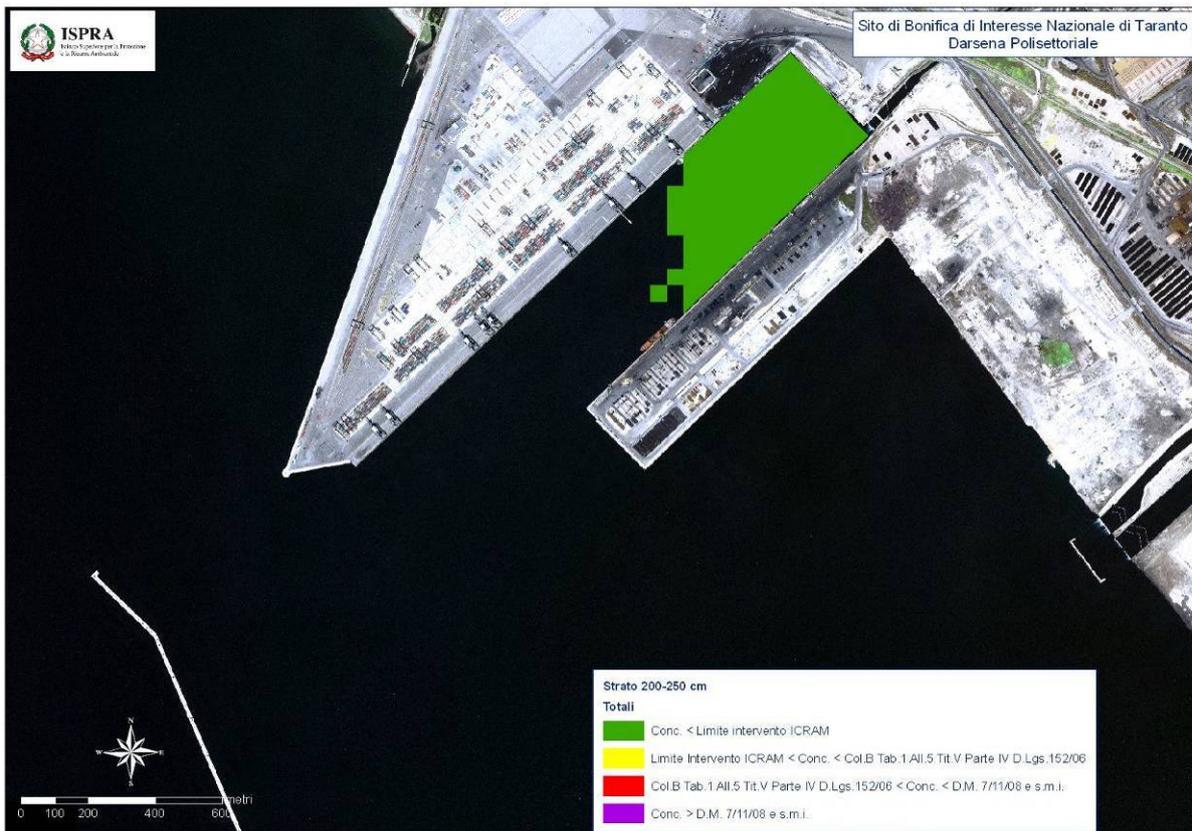


Figura 86: Strati di sedimento 200-250 cm. Aree da sottoporre ad interventi di bonifica nella Darsena Polisetoriale

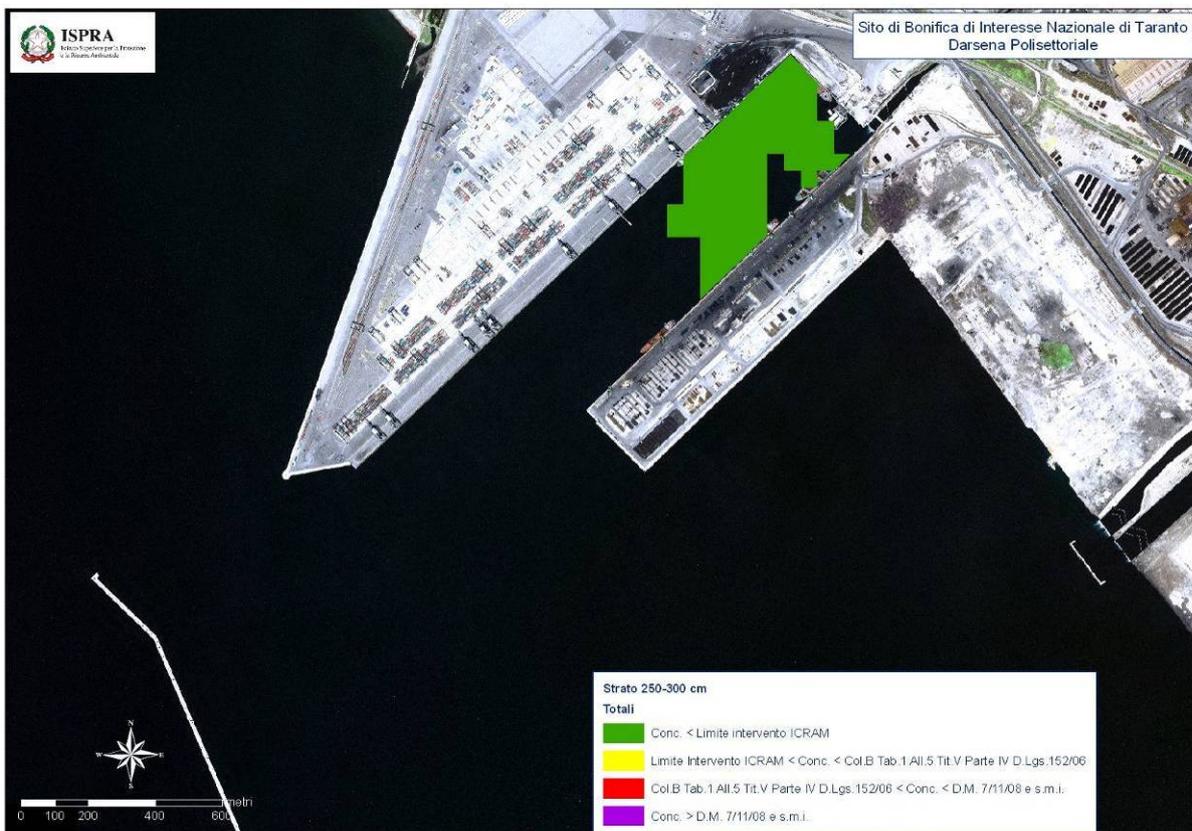


Figura 87: Strati di sedimento 250-300 cm. Aree da sottoporre ad interventi di bonifica nella Darsena Polisetoriale