



COMUNE DI ORISTANO



Relazione Tecnica

Esecuzione delle attività di campionamento e analisi previste nel Piano di Caratterizzazione dei sedimenti marini del Porto di Torregrande



La presente relazione illustra le attività di campionamento e analisi e la metodologia utilizzata per la caratterizzazione dei sedimenti marini che nell'ambito del "Progetto di ripristino del tirante d'acqua nel porto di Torregrande".

Contenuto della relazione di caratterizzazione ambientale

- risultati dell'indagine chimica-fisica-batteriologica-microbiologica dei sedimenti del sito di prelievo (con documentata certificazione circa l'analisi dei materiali che accerti la rilevanza non inquinante degli stessi secondo i parametri di cui al D.M. n. 471/1999) ai sensi del D.M. (Ambiente) 24.01.96;
- descrizione granulometrica e tessiturale dei materiali dei siti interessati;
- cartografia illustrativa della distribuzione dei contaminanti chimici e batteriologici nei sedimenti;
- risultati dell'indagine relativa alla componente fitozoobenthonica.

Allegati alla relazione

Grafici delle concentrazioni dei parametri fuori norma.

Schede di campionamento carotaggi.

Catena di custodia campioni.

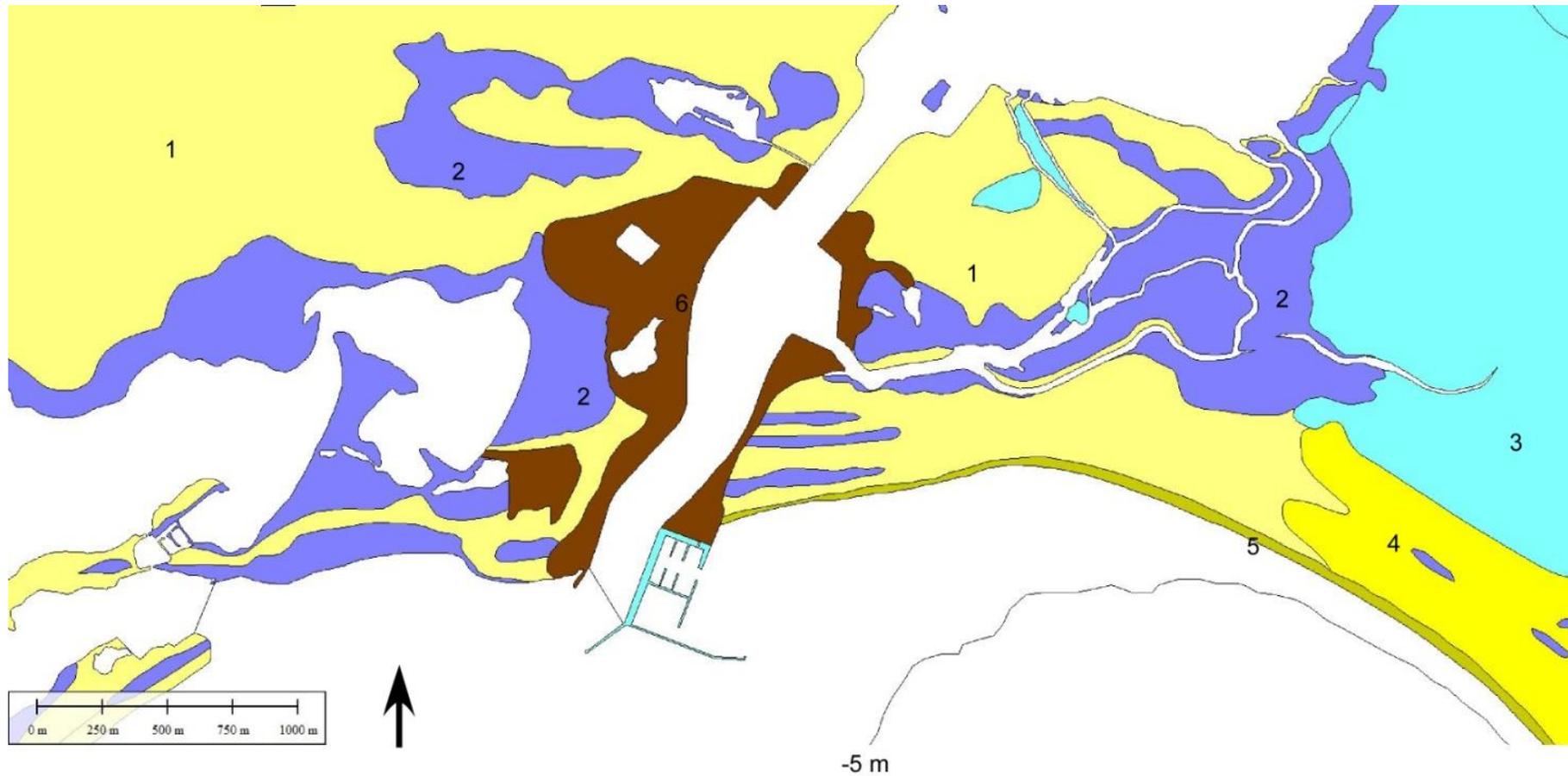
Schede di campionamento fitozoobenthos

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il porticciolo turistico di Torregrande è localizzato nel settore nord-orientale del Golfo di Oristano. Il golfo è una ampia insenatura compresa tra i promontori rocciosi di Capo san Marco e Capo Frasca, e rappresenta la terminazione settentrionale della fossa del Campidano. La costa interna del golfo è bassa, formata da una serie di cordoni sabbiosi interrotti dalle bocche delle lagune costiere e dalla foce del fiume Tirso. Le formazioni geologiche affioranti nel settore settentrionale del Golfo di Oristano sono riportate in Figura 1

Dal punto di vista geomorfologico il porticciolo di Torregrande è posizionato sulla sponda sinistra del canale scolmatore che costituisce l'attuale bocca a mare della laguna di Cabras. Verso ovest il sistema costiero è formato dai cordoni litorali che chiudono la laguna di Mistras, verso est il sistema di spiaggia-duna di Torregrande è contiguo alla pian alluvionale del fiume Tirso. I depositi più antichi sono costituiti da sedimenti litorali pleistocenici (1). I depositi olocenici sono rappresentati da limi lagunari (2) alluvioni fluviali della piana del Tirso (3) sabbie eoliche e di spiaggia (4 e 5). Intorno al canale artificiale che costituisce il collegamento tra lo stagno di Cabras e il mare (canale scolmatore), sulla cui sponda si appoggia il porto turistico di Torregrande, sono presenti depositi di origine antropica derivanti dai lavori di sbancamento e costruzione del canale stesso.

L'idrodinamica nel golfo è principalmente controllata dal vento e dalle onde, mentre le maree e i forzanti baroclinici non influenzano significativamente la circolazione delle acque. Il vento dominante della zona è il maestrale, proveniente da nord-ovest (settori tra 310° e 315°), comprendente il 70% di eventi con un'intensità superiore 10ms^{-1} . Il vento di Maestrale genera una circolazione d'acqua in senso orario nella parte centrale e in altre parti del bacino. In prossimità dei due capi (Capo San Marco e Capo Frasca) e lungo i bordi del bacino nelle aree più riparate, la circolazione dell'acqua è caratterizzata dalla presenza di piccoli vortici a rotazione antioraria. I valori massimi della velocità della corrente vengono rilevati nella parte settentrionale del Golfo in ingresso in prossimità di Capo San Marco dove i valori sono superiori a 0.4ms^{-1} con un vento di Maestrale di circa 15m^{-1} . I tempi di residenza dell'acqua sono compresi tra 0 e 6 giorni, con valori elevati in prossimità dei due capi, dove le acque vengono intrappolate per tempi più lunghi. Le maree astronomiche nella zona sono molto deboli e l'escursione massima dell'acqua misurata in assenza di vento è di circa 20 cm. L'apporto di acqua dolce nel Golfo è a carattere torrentizio con afflusso prossima allo zero in estate quando la pioggia è scarsa. Anche durante l'inverno, quando le precipitazioni sono più abbondanti, il flusso d'acqua dolce proveniente dal fiume Tirso e dai canali lagunari è molto basso a causa della presenza di dighe. In particolare, il deflusso medio dal fiume Tirso (l'unica fonte di acqua fresca che scorre direttamente nel golfo) è inferiore a $5\text{m}^3\text{ s}^{-1}$.



- 6 Depositi Antropici
- 5 Depositi Litorali attuali (Olocene)
- 4 Depositi Eolici (Olocene)
- 3 Depositi alluvionali (Olocene)
- 2 Depositi Palustri (Olocene)
- 1 Depositi Litorali (Pleistocene - Olocene?)

Figura 1. Formazioni geologiche affioranti nel settore settentrionale del Golfo di Oristano sono riportate in

CAMPIONAMENTO ED ANALISI

Nell'ambito del "Progetto di ripristino del tirante d'acqua nel porto di Torregrande" per, approfondimento del fondale interno al porto e all'imboccatura portuale necessario per ripristinare le condizioni di sicurezza della navigabilità e consentire sia l'accosto sicuro alle imbarcazioni che ormeggio all'interno del porto, sono stati effettuati i campionati e le analisi finalizzate alla caratterizzazione dei sedimenti.

Tutte le metodologie utilizzate per la caratterizzazione dei sedimenti sono conformi al "Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini" edito nell'agosto 2006 dal Ministero dell'Ambiente e realizzato da APAT e ICAM.

Sono state campionate 35 stazioni individuate dalla suddivisione dell'area oggetto del dragaggio in aree unitarie di campionamento di 50 metri per 50 metri lungo la perimetrazione interna ai manufatti del porto, banchine e pontili, e di 100 metri per 100 metri nell'area esterna al porto a esso adiacente.

Precedentemente al campionamento per ognuno dei 35 punti di prelievo è stata eseguita la bonifica subacquea superficiale e profonda di un'area di m² 50,24 corrispondente a un'impronta circolare di raggio 4 mt, secondo la procedura tecnica e fasi in essa richiamate, regolate dalla legge 177 del 1° ottobre 2012 e in conformità con la norma Uni 11366 pubblicata nel mese di ottobre 2010 come pratiche di buona norma per i lavori subacquei professionali e ordinanza della capitaneria di porto di Oristano n. 57/2014 del 18/11/2014.

Il numero e la localizzazione delle stazioni di campionamento sono quelli indicati negli elaborati progettuali e nella documentazione tecnica trasmessa dal Comune di Oristano e dai verbali degli incontri tecnici svolti tra ARPAS e Comune di Oristano in data 16/03/2015 (prot. 8088 del 16/03/2015) e in data 20/03/2015 (prot. 9880 del 20/03/2015).

Il posizionamento dei punti di campionamento è stato individuato con DGPS differenziale in RTK mod. Layca 300.

I campioni sono stati prelevati, con l'impiego di un carotatore a mano a sedimento protetto all'interno di tubo PVC Ø 90 cellofanato all'interno.

In ogni area dei 35 punti individuati sono state prelevate due carote per un totale di 70 campioni al fine di ottenere una quantità di materiale sufficiente per costituire i diversi subcampioni da sottoporre alle analisi e conservazione del campione. Il volume della carota da 70 mm su un'altezza di 50 cm è, infatti, pari a 2,35 litri per peso specifico 1,2 sedimento con un peso per campione pari a kg 2,82.

Sono state campionati:

- n. 16 da 50 cm con carotiere lungo 100 cm;
- n. 34 da 100 cm con carotiere lungo 150 cm;
- n. 14 da 150 cm con carotiere lungo 200 cm;
- n. 6 da 200 cm con carotiere lungo 250 cm.

Il carotatore, manovrato dal sommozzatore, è stato infisso nel fondale marino, a percussione con massa di percussione 30 kg, fino alla quota di riferimento. Ogni carota è stata sigillata con la posizione di riferimento scritta in inchiostro indelebile sulla superficie esterna.

Il campionamento dei sedimenti è avvenuto nei giorni 17 e 18 ottobre 2016, il campionamento per l'analisi fitozoobentonica è avvenuto il 25 ottobre 2016.

I prelievi sono stati eseguiti dalla Ditta SUB SERVICE S.r.l. - rappresentata dal Sig. Giulio Garau, Sig. Federico Garau, Sig. Silvio Garau, e il Dr. Gianni Brundu per conto dell'IMC, per il supporto logistico del personale subacqueo e componenti della supervisione tecnica dell'ARPA Sardegna è stata impiegata la motobarca Silvio I° iscritta nei registri delle navi minori e galleggianti della capitaneria di porto di Oristano al n. OS1219.

In data 17 ottobre 2016 i tecnici Dr.ssa Cristina Campanelli, T.d.P. Antonio Scudu, T.d.P. Gianfranco Puddu e T.d.L Palmira Matta del Dipartimento ARPAS di Oristano hanno presieduto alle operazioni per la validazione dei campionamenti dei sedimenti marini.

Al campionamento del fitozoobentos hanno presieduto T.d.L Palmira Matta e T.d.L Francesca Pilia del Dipartimento ARPAS di Oristano.

Le carota di sedimento sigillate sono state immediatamente trasferite presso i laboratori della Fondazione IMC dove sono state effettuate le operazioni di campionamento sulle carote condotte dei tecnici del IMC rappresentati dal Ing. Anuta Chindris, Dr.ssa Barbara Loi, Dr.ssa Assunta Figus e Dr. Alessio Pinna, Dr. Stefano Guerzoni e dell'IAMC/ CNR Dr. Giovanni De Falco e del Dr. Alessandro Conforti,

In accordo con il protocollo di validazione (prot. ARPAS n.14105 del 05/05/2015 aggiornato con nota prot. 32513 del 14/10/2016) per le attività di campionamento e analisi previste dal Piano di Caratterizzazione dei sedimenti marini del Porto turistico di Oristano, sono stati validati n. 5 punti di indagine per un totale di 13 campioni prelevati a diverse profondità come dettagliatamente descritto nelle schede di campionamento allegate.

Le schede allegate alla presente relazione indicano per ciascun punto: la sigla del campione, la profondità di campionamento, l'ora di prelievo, i parametri da analizzare, le caratteristiche dei contenitori e altre notizie utili che si è ritenuto segnalare.

Le carote estratte sono state riposte in cassette catalogatrici di cui è stata acquisita documentazione fotografica. E' stata effettuata la descrizione litostratigrafica delle carote.

Delle carote, sono stati campionati:

- per quelle di lunghezza inferiore o pari a 0,50 metri il primo strato pari a 0,50 m;
- per quelle di lunghezza superiore a 0,50 metri ma inferiore a 1,00 metri il primo strato pari a 0,50m e lo strato tra i 0,50 m e 1,00 m;
- per quelle di lunghezza superiore a 1,00 metri ma inferiore a 1,50 metri il primo strato pari a 0,50 m, lo strato tra i 0,50 m e 1,00 m e lo strato tra i 1,00 m e 1,50 m;
- per quelle di lunghezza superiore a 1,50 metri ma inferiore a 2,00 metri il primo strato pari a 0,50 m, lo strato tra i 0,50 m e 1,00 m, lo strato tra i 1,00 m e 1,50 m e lo strato tra i 1,50 m e 2,00 m;

Ciascun campione è stato prelevato in due aliquote (aliquota A e aliquota B) poste in diversi contenitori in relazione ai parametri da analizzare, come descritto nelle schede allegate.

Tutti i contenitori sono stati etichettati e conservati refrigerati; entrambe le aliquote A e B sono state inoltre imbustate, sigillate e controfirmate dalle parti presenti.

Nel corso del prelievo sono stati eseguiti i rilievi fotografici.

I campioni sono stati spediti ai Laboratori incaricati a cura dei Tecnici del IMC con le modalità previste dalle norme tecniche di settore per assicurare la conservazione dei campioni fino all'arrivo in laboratorio.

Le modalità di trasporto dei campioni sono documentate dalle schede relative alla catena di custodia.

Le analisi per i parametri chimici sono state effettuate presso i laboratori indicati nel protocollo di validazione e validate "in Audit" dai tecnici del laboratorio ARPAS secondo quanto previsto dal protocollo di validazione firmato dalle parti.

I campioni aliquota B sono stati conservati a cura del Comune presso i Laboratori incaricati per le analisi al fine di garantire la conservazione conformemente alle norme tecniche di riferimento.

DESCRIZIONE DELLE CAROTE

La descrizione delle carote è riportata nelle schede di campionamento allegate. I sedimenti sono generalmente costituiti da fango plastico ridotto, ricco di sostanza organica di colore nero spesso caratterizzato da abbondanti fibre di *Posidonia oceanica*.

In riferimento al punto di indagine ORST02/200, come descritto nelle schede di campionamento, si fa presente che non è stato possibile prelevare le due sezioni di carota comprese tra 1,00-1,50 m. e tra 1,50-200 m. per la probabile presenza di una lettiera compatta di Posidonia.

Si fa rilevare inoltre che per il campione ORST02/200-(S03)/SC0000-0050 per la sezione da 0.00 a 0.50 m. la quantità di campione non risulta sufficiente per la costituzione dell'aliquota B.

In riferimento al punto di indagine ORST25/150 si fa presente che le coordinate WGS84 del punto di campionamento sono: Nord 39°54'14,0000"; Est 8°29'31,0000" in quanto quelle riportate nei documenti progettuali cadevano nella maglia ORST25/100.

RISULTATI DELLE ANALISI

Il lavoro di caratterizzazione ambientale è stato effettuato sui campioni prelevati dalle carote a intervalli di 50 cm secondo lo schema di campionamento utilizzato e approvato da ARPAS. I campioni prelevati sono stati sottoposti alle seguenti analisi:

- residuo fisso a 105°C;
 - contenuto d'acqua naturale;
 - determinazione in sito di Eh e pH;
 - Carbonio Azoto e fosforo totale;
 - Concentrazione in metalli pesanti; (Alluminio, Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Cromo esavalente, Piombo, Manganese, Mercurio, Nichel, Rame. Vanadio, Zinco, Ferro);
 - Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)
 - Idrocarburi leggeri (C =< 12)
 - Idrocarburi pesanti (C>12)
 - Pesticidi organoclorurati
 - Aldrin
 - Dieldrin
 - alfa-Esaclorocicloesano
 - beta-Esaclorocicloesano
 - gamma-Esaclorocicloesano (Lindano)
 - Eptacloro
-

- Eptacloro epossido
- Ossiclordano
- cis-Clordano
- trans-Clordano
- Trans-nonachlor
- Cis-nonachlor
- Endrin
- Mirex
- Metossicloro
- p,p'-DDD
- p,p'-DDE
- p,p'-DDT
- o,p'-DDD
- o,p'-DDE
- o,p'-DDT
- DDD
- DDE
- DDT
- CLOROBENZENI
- PCB totali
- COMPOSTI ORGANICI AROMATICI
- Organometalli

Inoltre come da scheda relativa alla catena di custodia allegata un 1/3 dei campioni prelevati sono stati sottoposti a ulteriori analisi, denominate Parametri Aggiuntivi 1 che consistono in:

- Analisi Ecotossicologiche,
- Composti organostannici (sommatoria di mono-, di- e tri- butilstagno).

Su tre dei 3 campioni prelevati sono stati sottoposti a ulteriori analisi denominate Parametri Aggiuntivi 2 che consistono in:

- Analisi Microbiologiche aggiuntive (Miceti)
 - Analisi Fisiche aggiuntive (Mineralogia).
-

Analisi Granulometriche, contenuto in acqua, materia organica, potenziale redox e pH

I campioni sono quasi tutti totalmente pelitici, con un contenuto in sabbia pari a zero. Un campione presenta circa il 30 % in sabbia (ORST16/100-(S37)/SC0050-0100), un numero limitato di campioni presenta un contenuto in sabbia < 10%.

Il contenuto in acqua risulta intorno al 75% in peso, il pH>7, il potenziale redox oscillante tra valori debolmente negativi e positivi. Il Carbonio Organico Totale è >10 % s.s., denotando un forte arricchimento in materia organica dei sedimenti.

Metalli pesanti

Elevate concentrazioni di metalli pesanti sono state riscontrate su tutti i campioni prelevati (Figura 2). In particolare tutti i campioni eccedono i limiti previsti dal DM 56/09 Tab 2/A-3/B per le concentrazioni di Arsenico, Cadmio e Piombo, mentre la maggior parte dei campioni eccedono i limiti previsti dal D. Lgs n° 152/2006 (Uso verde pubblico privato e residenziale), per il contenuto in Zinco e, talvolta, Rame e Cromo. Le concentrazioni sono riportate nei grafici in allegato.

Idrocarburi

Quasi tutti i campioni prelevati eccedono i limiti previsti dal D. Lgs n° 152/2006 (Uso verde pubblico privato e residenziale) per gli idrocarburi pesanti (Figura 3).

Le concentrazioni in ciascuna stazione sono riportate nei grafici in allegato.

Altri inquinanti

In 12 stazioni di campionamento su 35 si registrano valori di Tributilstagno (TBT) che eccedono i limiti previsti dal DM 56/09 Tab 2/A-3/B (Figura 4).

Dodici campioni (ubicati nelle stazioni in Figura 5) eccedono i limiti previsti dalle normative citate per altri inquinanti (IPA, PCB, DDT, DDE)

Le concentrazioni in ciascuna stazione sono riportate nei grafici in allegato.

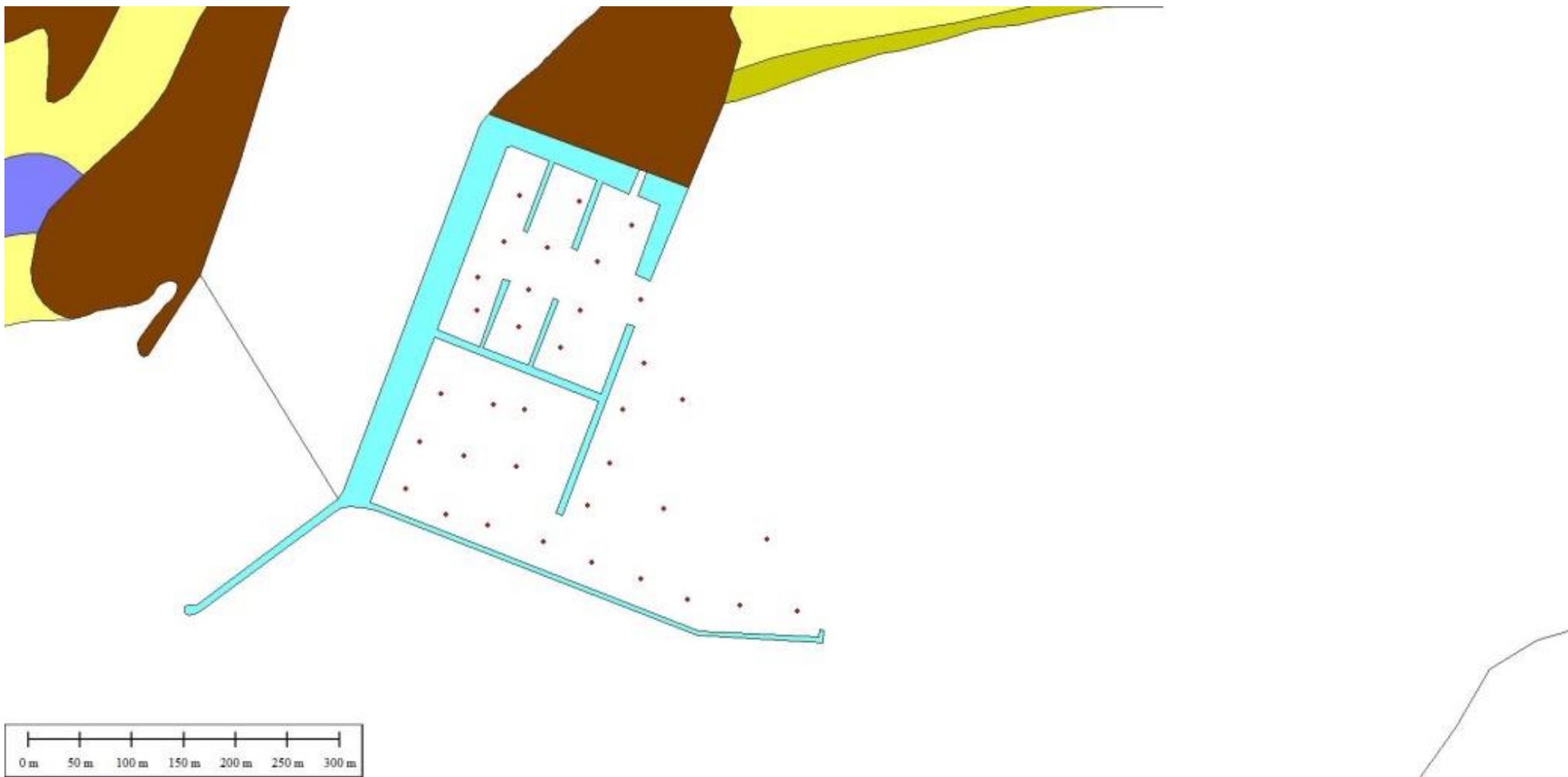


Figura 2. Ubicazione dei campioni con elevati valori in metalli pesanti

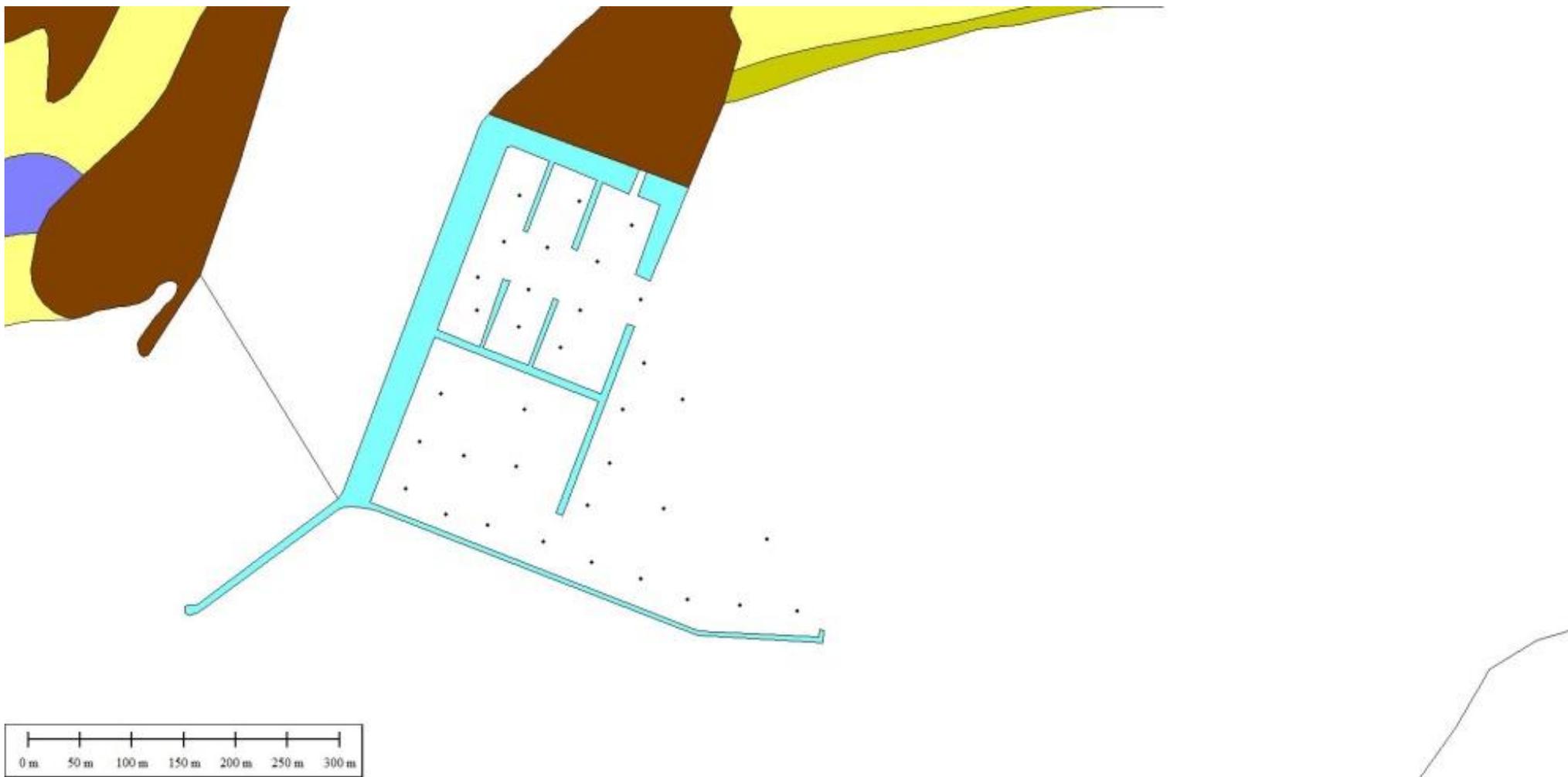


Figura 3. Ubicazione dei campioni con elevati valori in idrocarburi pesanti

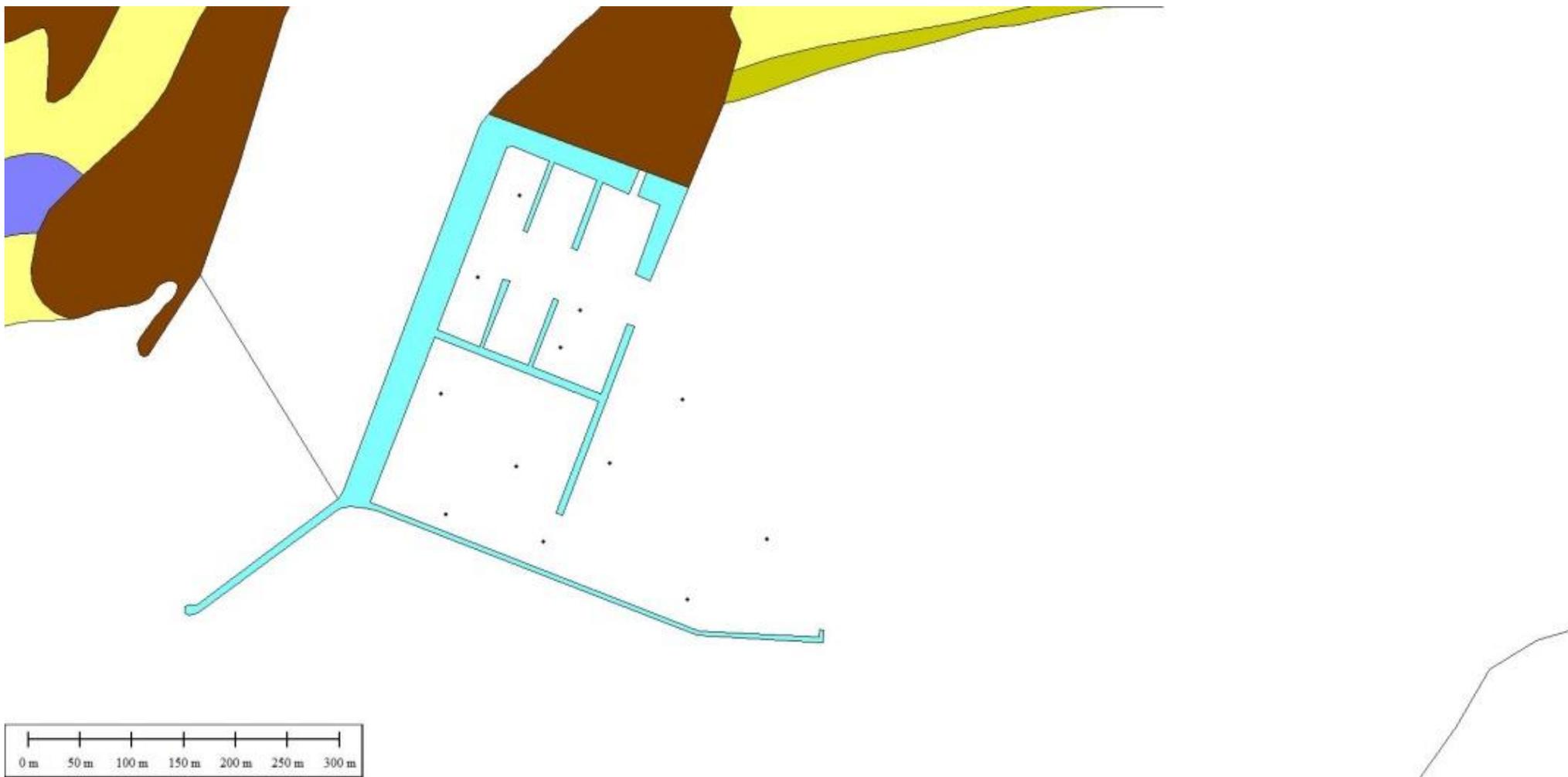


Figura 4. Ubicazione dei campioni con elevati valori in TBT

..

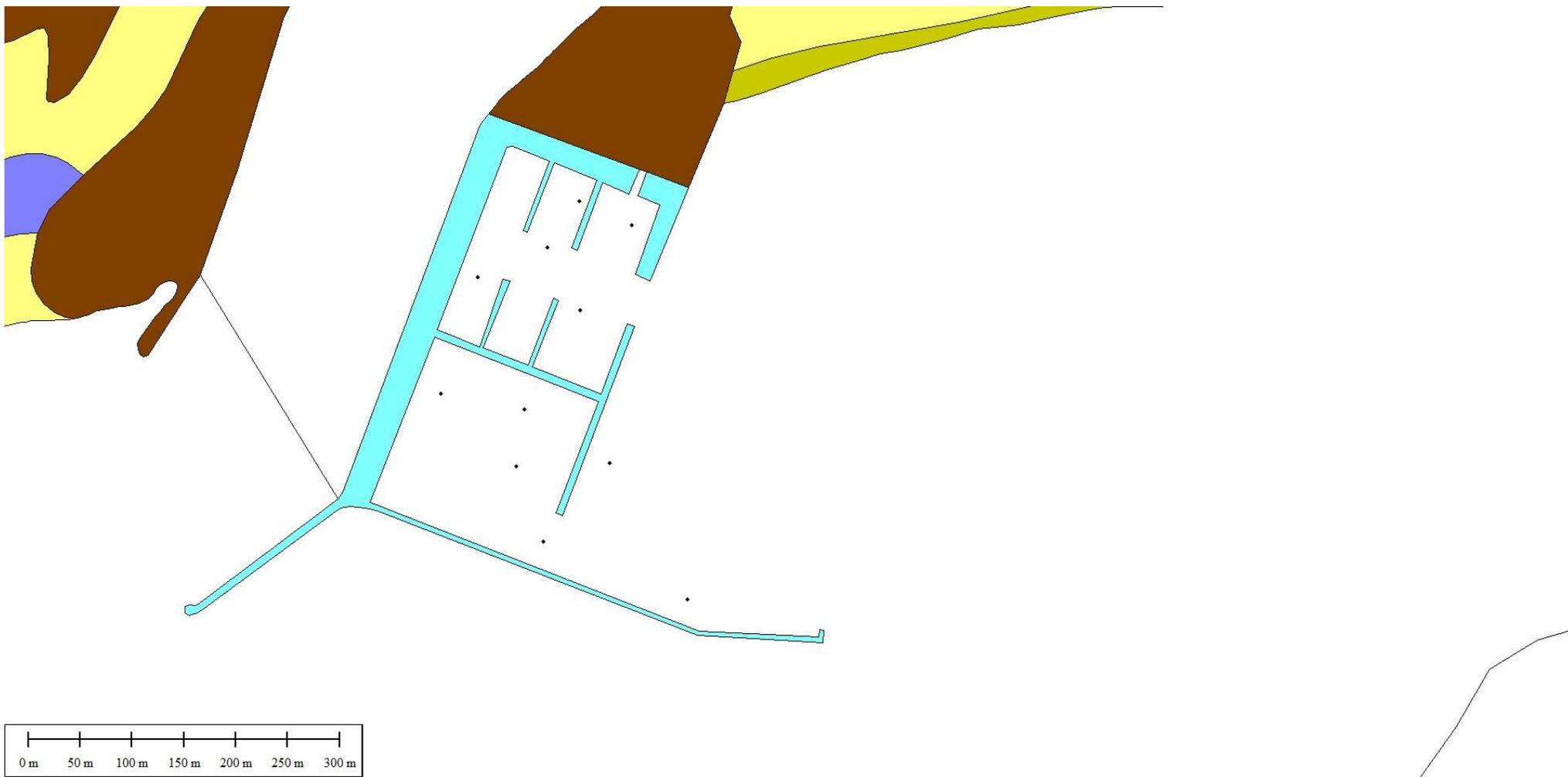


Figura 5. Ubicazione dei campioni che eccedono i limiti di legge per il contenuto in IPA, PCB, DDT, DDE.

Analisi Microbiologiche

I risultati relativi ai parametri microbiologici riscontrati nei sedimenti evidenziano una presenza di *Streptococchi fecali*, mentre i livelli di concentrazione di *Escherichia Coli* risultano inferiori al limite di quantificazione.

La *Salmonella spp* è risultata assente quasi in tutti i campioni analizzati, con l'eccezione di otto campioni ORST03/200-(S07)/SC0050-0100, ORST03/200-(S08)/SC0100-0150, ORST06/150-(S16)/SC0050-0100, ORST07/200-(S19)/SC0050-0100, ORST08/150-(S23)/SC0050-0100, ORST09/150-(S26)/SC0050-0100, ORST30/100-(S66)/SC0050-0100 e ORST35/050(S75)/SC0000-0050, riportati in Figura 6.

Analisi ecotossicologiche

La batteria di saggi ecotossicologici utilizzata è costituita complessivamente da 3 specie: il batterio *Vibrio fischeri* (Microtox®), la microalga unicellulare *Dunaliella tertiolecta* ed il rotifero *Brachionus plicatilis*, rappresentanti rispettivamente i decompositori, i produttori primari e i consumatori.

Per la definizione della classe di tossicità si riporta la Tabella 1 tratta dal documento APAT ICRAM (2007) – “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini”. Il criterio di classificazione ecotossicologica si basa sul risultato peggiore riscontrato sul singolo campione.

Tabella 1: Estratto della tabella inserita nel documento APAT-ICRAM “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini (2007) modificata.

Specie test	Tossicità assente/ trascurabile	Tossicità presente	Tossicità elevata	Tossicità molto elevata
<i>Vibrio fischeri</i>	S.T.I.≤3	3<S.T.I.≤6	6<S.T.I.≤12	S.T.I.>12
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	EC20≥90%	EC20<90%	40%≤EC50<100%	EC50<40%
		EC50>100%		
<i>Brachionus plicatilis</i>	EC20≥90%	EC20<90%	40%≤EC50<100%	EC50<40%
		EC50>100%		

In ordine alla valutazione della fase solida eseguita attraverso il sistema Microtox®, i saggi biologici mediante *Vibrio fischeri* hanno presentato valori superiori a S.T.I.≤3 per sei campioni in Tabella 2.

Tabella 2: Risultati del saggio biologico mediante il microrganismo V. fischeri .

Campione	S.T.I.
ORST04/100-(S11)/SC0050-0100	8,3
ORST20/100-(S43)/SC0000-0050	4,6
ORST23/100-(S50)/SC0000-0050	4,8
ORST25/150-(S55)/SC0050-0100	3,7
ORST30/100-(S65)/SC0000-0050	4,3
ORST30/100-(S66)/SC0050-0100	4,5

I risultati dei saggi biologici mediante *Dunaliella tertiolecta* applicati agli elutriati relativi ai campioni con il valore inferiore al EC50>100% sono riportati nella Tabella 3.

Tabella 3: Risultati del saggio biologico mediante *D.tertiolecta*.

Campione	Saggio di inibizione della <i>Dunaliella tertiolecta</i> -72h
	EC50 %
ORST07/200-(S19)/SC0050-0100	90
ORST12/100-(S31)/SC0050-0100	90
ORST20/100-(S44)/SC0050-0100	79
ORST25/150-(S56)/SC0100-0150	97
ORST30/100-(S65)/SC0000-0050	90
ORST30/100-(S66)/SC0050-0100	65

I risultati dei saggi biologici mediante *Brachionus plicatilis* presentano per tutti i 24 campioni un valore eccedente al EC50>100% in entrambi saggi ecotossicologici LC50% 24h e 48h.

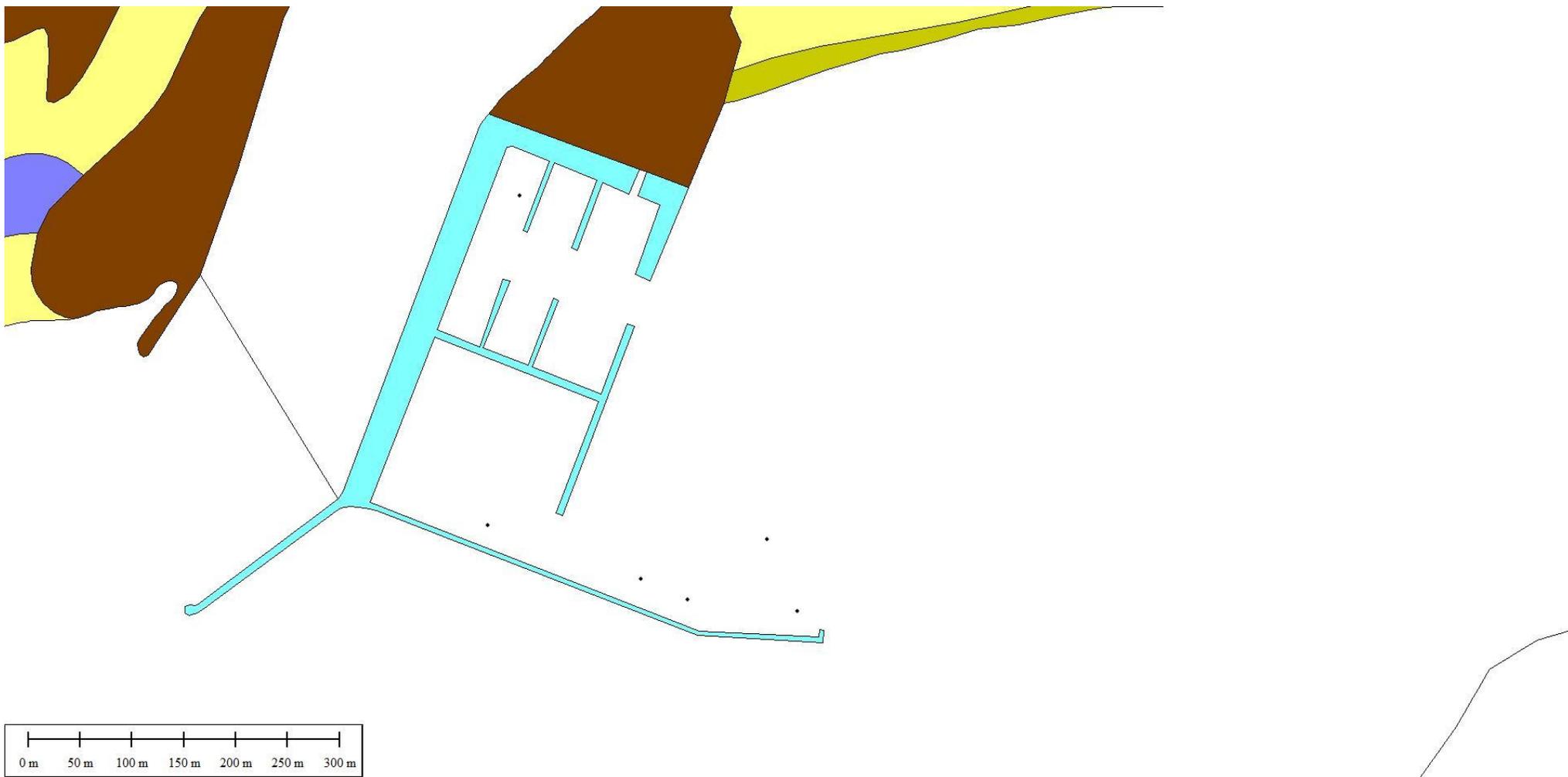


Figura 6. Ubicazione dei campioni che eccedono i limiti di legge per il contenuto in Salmonella

CAMPIONAMENTO ED ANALISI FITOZOOBENTONICA

Il piano di campionamento per l'analisi fitozoobentonica era di tipo stratificato; l'intera area è stata suddivisa in quattro strati, due relativi alla zona interna di ormeggio delle imbarcazioni e due esterne ad stessa nella zona di ingresso al porto, e per ognuna di essa è stata scelta random una stazione di campionamento.

Le stazioni interne di campionamento, risultate in ORST02/200 e ORST25/150, sono state siglate come ORST02/200-FZB e ORST25/150-FZB, rispettivamente, mentre per le stazioni esterne, ORST08/150 e ORST17/150, sono state usate le sigle ORST08/150-FZB e ORST17/150-FZB, rispettivamente.

Per ogni stazione, pochi giorni dopo le operazioni di carotaggio, sono stati prelevati due campioni di sedimento, uno per l'analisi fitozoobentonica (A) e uno da conservare come testimone di riserva (B). Il campionamento è stato effettuato direttamente dall'imbarcazione utilizzando una benna tipo Van Veen della capacità di 15 litri e apertura pari a $0,1 \text{ m}^2$, particolarmente adatta al prelievo di campioni di sedimento su fondale fangoso. Una volta prelevati, i campioni sono stati riposti all'interno di sacchetti di plastica resistente e dotati di chiusura ermetica, etichettati e conservati al buio all'interno di un contenitore refrigerato. Per ogni campione sono stati registrati la data, le condizioni meteo-marine, la profondità, gli operatori e gli strumenti di campionamento; inoltre, è stata fatta una descrizione macroscopica del campione.

In laboratorio, i campioni sono stati sottoposti a setacciatura utilizzando un setaccio a maglia 1 mm, al fine di eliminare l'acqua in eccesso e i sedimenti fini; la parte di campione trattenuta sul setaccio è stata trasferita in un sacchetto di polietilene etichettato e conservato in congelatore ($20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Successivamente, i campioni sono stati scongelati con un debole getto di acqua corrente e sottoposti a *sorting*, al fine di individuare gli organismi animali e vegetali e separarli dal resto del campione. Vista l'elevata abbondanza di gasteropodi di piccole dimensioni nel campione ORST08/150-FZB, il *sorting* di questi molluschi è stato fatto su un sub-campione pari a $1/16$ del campione originale.

Una volta smistati, gli organismi sono stati identificati sino al più basso livello tassonomico possibile (LPT= Lowest Possible Taxon) e conservati in appositi contenitori etichettati contenenti una soluzione di etanolo 90%. La determinazione tassonomica è stata eseguita con l'ausilio di uno stereo microscopio e di un illuminatore a fibra ottica; per il riconoscimento di alcune specie, come gli anellidi policheti, si è reso necessario estroflettere preventivamente l'apparato masticatore ai fini del riconoscimento. Per ciascun *taxon* sono stati registrati i valori di abbondanza (numero di individui) e di biomassa umida (tramite bilancia analitica).

Per il riconoscimento tassonomico sono state utilizzate le seguenti fonti bibliografiche:

- Barnes D. R. (1972) - Zoologia: gli invertebrati.
- Cottiglia M. (1983) - Crostacei Decapodi lagunari.
- Fauvel P. (1923) - Faune de France, Polychètes errantes.
- Fauvel P. (1925) - Faune de France, Polychètes sédentaires.
- Riedl R. (1991) - Fauna e flora del Mediterraneo.
- Torelli A. (1982) - Gasteropodi conchigliati.

Per ciascun campione, i valori di abbondanza e biomassa sono stati rapportati al metro quadrato, e sono stati calcolati i seguenti indici:

- Densità (N) *Num. ind./m²*
- Dominanza (May, 1979) $D = n_i/N$
- Ricchezza specifica totale (S; Pielou, 1974) *Numero totale di specie presenti*
- Diversità specifica di Shannon-Weaver (H') $H' = -\sum p_i \cdot \text{Log } p_i$

dove: n_i = numero di individui della specie i -esima; N = numero totale di individui

dove: p_i = frequenza numerica della specie i -esima rispetto al totale degli individui (Pielou, 1974)

RISULTATI DELLE ANALISI

All'interno dei quattro campioni di sedimento prelevati dall'area portuale di Torregrande è stato registrato un totale di 217 animali appartenenti a 13 *taxa* differenti, di cui 11 molluschi e 2 policheti (Tabella 1). I campioni ORST02/200-FZB e ORST08/150-FZB, inoltre, erano caratterizzati dalla presenza della fanerogama marina *Cymodocea nodosa*.

I campioni prelevati all'interno dell'area interessata all'ormeggio delle imbarcazioni (ORST02/200-FZB e ORST25/150-FZB) presentano una maggiore densità di animali rispetto ai campioni esterni all'area di ormeggio (ORST08/150-FZB e ORST17/150-FZB). In particolare, ORST08/150-FZB risulta essere particolarmente ricca di animali (1190 individui/m²) rispetto agli altri campioni (da 20 a 540 individui/m²) (Figura 7).

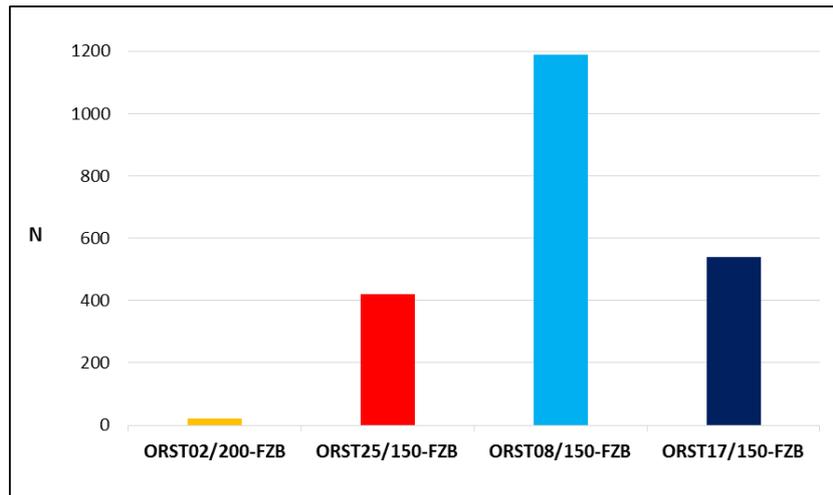


Figura 7: Densità (D) (individui/m²) registrate nei quattro campioni di sedimento.

Nonostante l'elevata abbondanza di organismi animali, nel campione ORST08/150-FZB è stata registrata una bassa quantità di biomassa umida (10,8 g/m²), segno che la maggior parte degli organismi ritrovati aveva dimensioni molto piccole. La minore quantità di biomassa umida è stata registrata nel campione ORST02/200-FZB (0,9 g/m²), mentre il picco massimo si è avuto in ORST25/150-FZB (48,3 g/m²) (Figura 8).

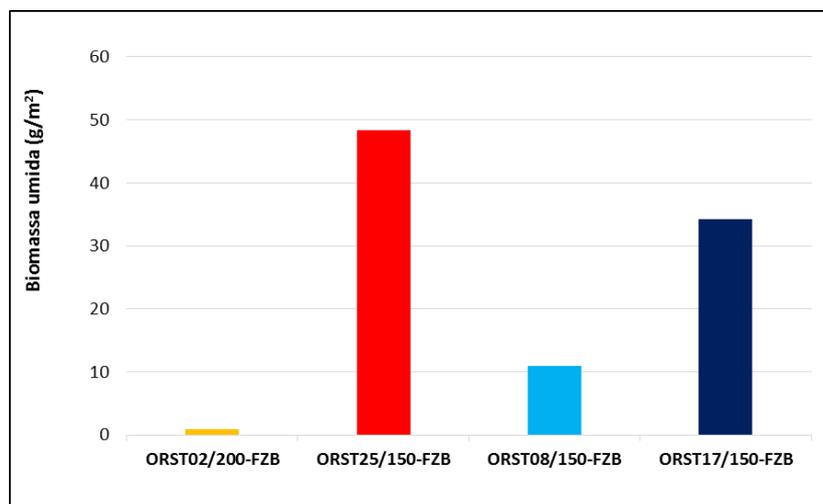


Figura 8: Biomassa umida (g/m²) registrata nei quattro campioni di sedimento.

In tutti e quattro i campioni di sedimento analizzati è risultata una netta dominanza specifica da parte del mollusco gasteropode *Bittium reticulatum* (da 43% a 81%) (Figura 9). Una elevata dominanza del mollusco bivalve *Loripes lacteus* è stata registrata nei campioni ORST17/150-FZB (57%) e ORST25/150-FZB (36%) (Figura 9), con una densità pari a 310 e 150 individui/m², rispettivamente; lo stesso mollusco è stato rinvenuto anche nel campione ORST08/150-FZB, anche se in quantità abbastanza ridotte (densità 20 individui/m², dominanza 2%) (Figura 9, Tabella 4). Il campione

ORST02/200-FZB, oltre che da *B reticulatum*, era dominato al 50% dal gasteropode *Tritia neritea* (10 individui/m²). Tutti gli altri *taxa* rinvenuti sono risultati in una dominanza inferiore al 12% nei campioni ORST08/150-FZB e ORST25/150-FZB (Figura 9).

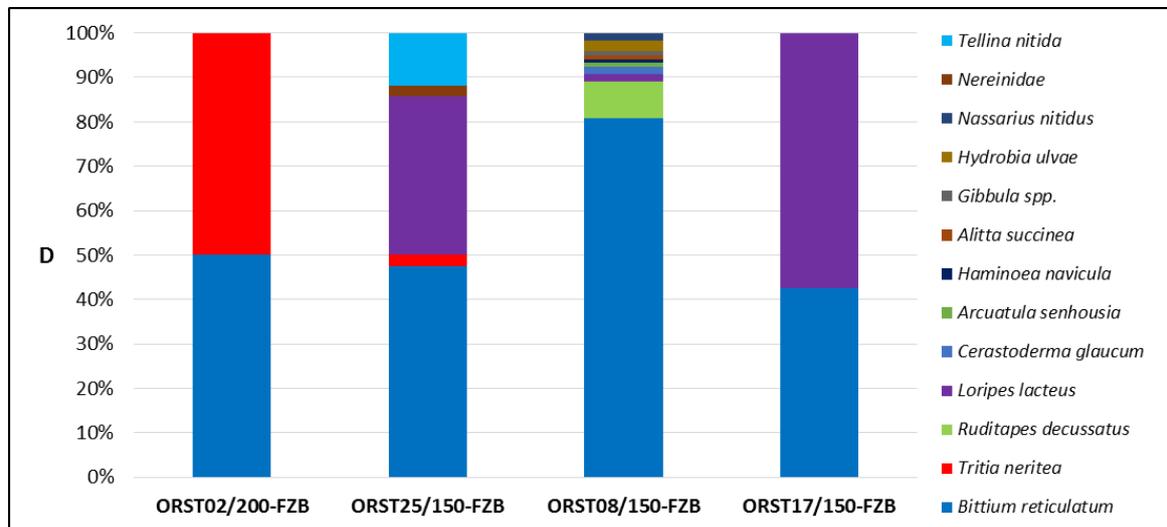


Figura 9: Rappresentazione grafica della dominanza (D) nei quattro campioni di sedimento.

Tabella 4: Lista dei *taxa* rinvenuti nei quattro campioni di sedimento e relative densità (individui/m²).

		ORST02/200 FZB	ORST25/150 FZB	ORST08/150 FZB	ORST17/150 FZB
Molluschi bivalvi	<i>Arcuatula senhousia</i>			10	
	<i>Cerastoderma glaucum</i>			20	
	<i>Loripes lacteus</i>		150	20	310
	<i>Ruditapes decussatus</i>			100	
	<i>Tellina (Peronidia) nitida</i>		50		
Molluschi gasteropodi	<i>Bittium reticulatum</i>	10	200	960	230
	<i>Gibbula spp.</i>			10	
	<i>Haminoea navicula</i>			10	
	<i>Nassarius nitidus</i>			20	
	<i>Peringia ulvae</i>			30	
	<i>Tritia neritea</i>	10	10		
Policheti	<i>Nereinidae</i>		10		
	<i>Alitta succinea</i>			10	

Il campione ORST08/150-FZB è quello avente la più elevata ricchezza specifica, 9 specie di molluschi e 1 polichete; nei campioni ORST02/200-FZB e ORST17/150-FZB sono state trovate solamente due specie di molluschi, mentre il campione ORST25/150-FZB è risultato in una ricchezza specifica pari a 5, 4 molluschi e 1 polichete (Figura 10).

La diversità specifica, indice biotico che si basa sulla ripartizione delle abbondanze all'interno delle specie (dominanza) e sul numero di *taxa* che compongono un popolamento, ha indicato una scarsa

diversificazione delle comunità bentoniche in tutti i campioni, anche se ORST25/150-FZB ha registrato una diversità specifica (1,15) leggermente superiore agli altri (da 0,68 a 0,84) (Figura 11).

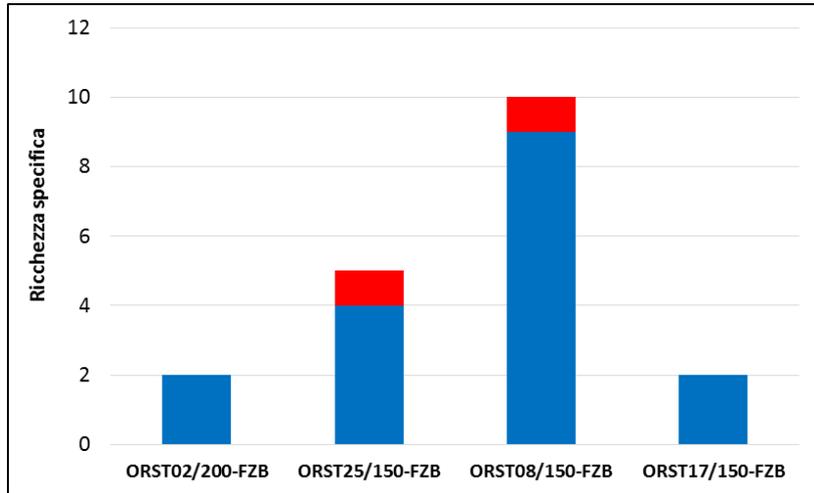


Figura 10: Ricchezza specifica registrata nei quattro campioni di sedimento.

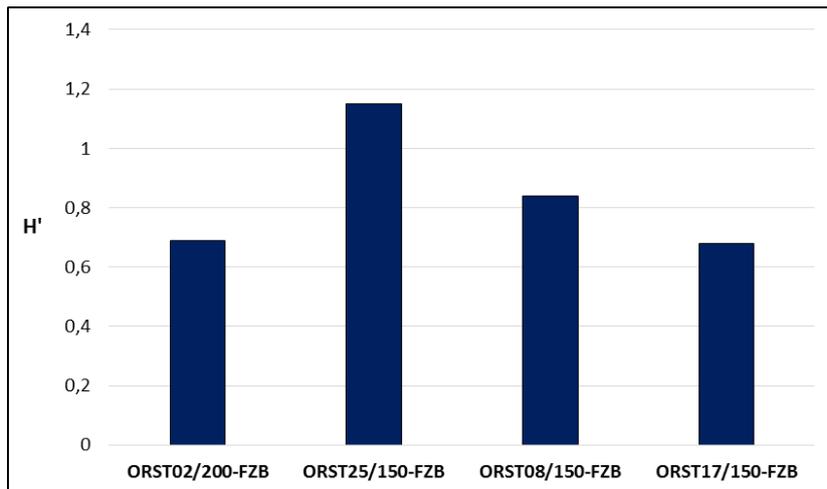
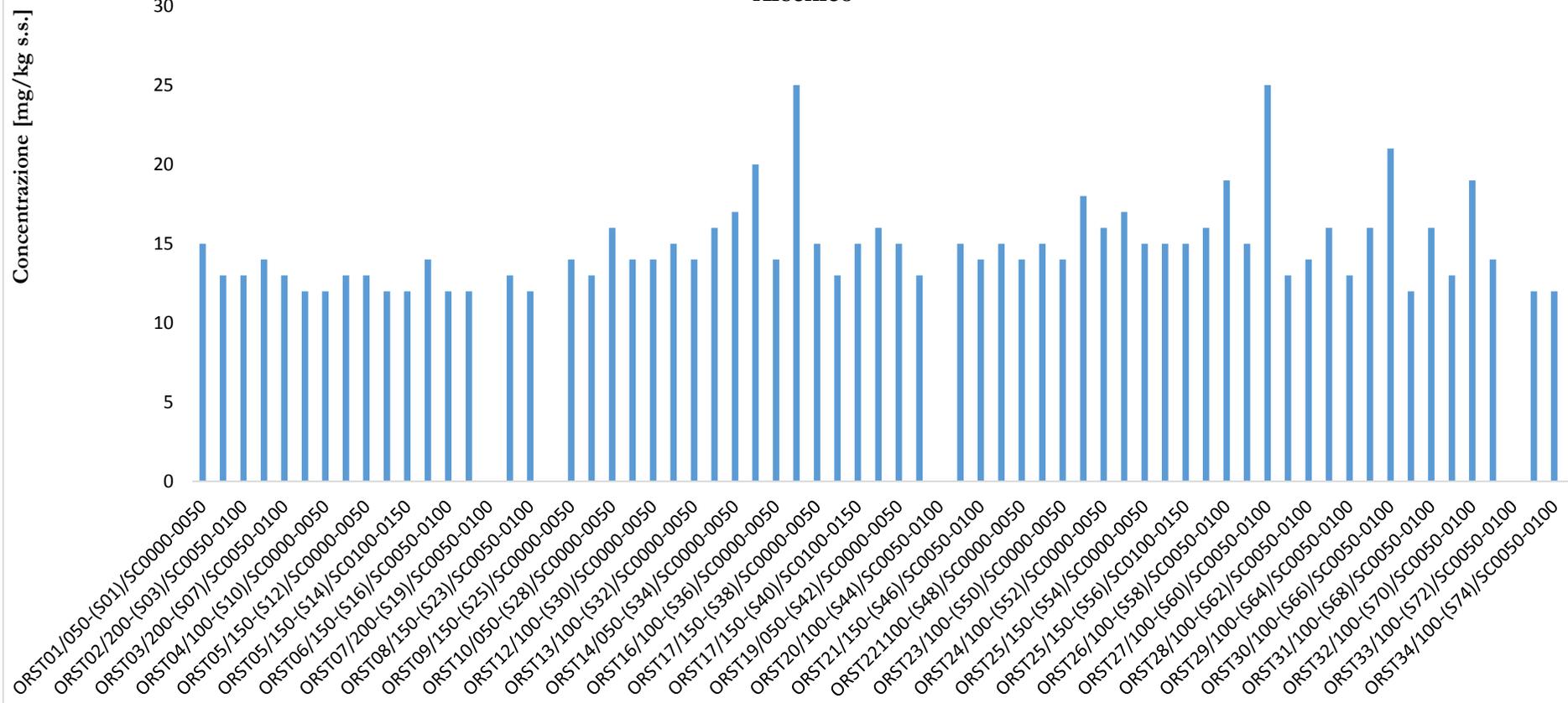


Figura 11: Diversità specifica di Shannon-Weaver (H') applicato ai valori di abbondanza.

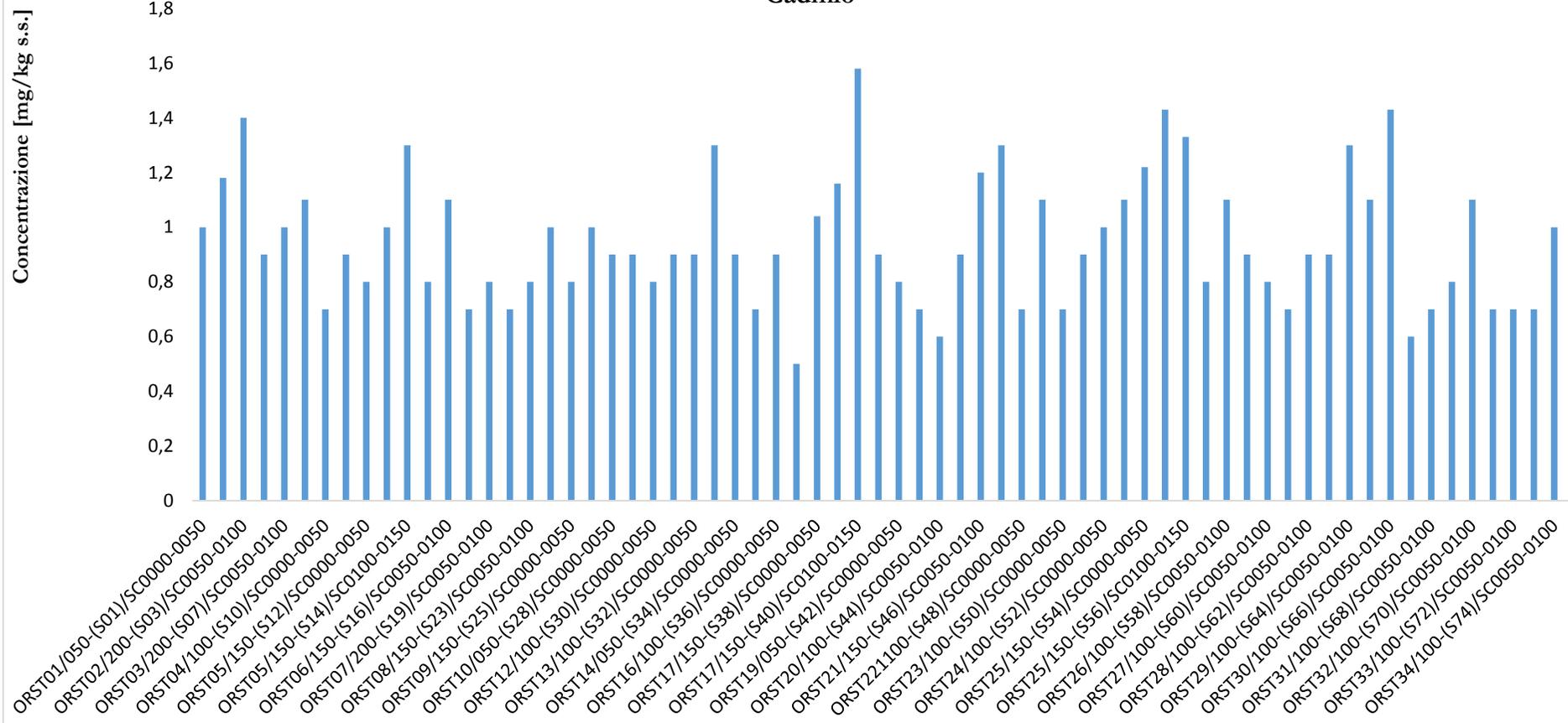
Allegati

Grafici delle concentrazioni dei parametri fuori norma.

Arsenico

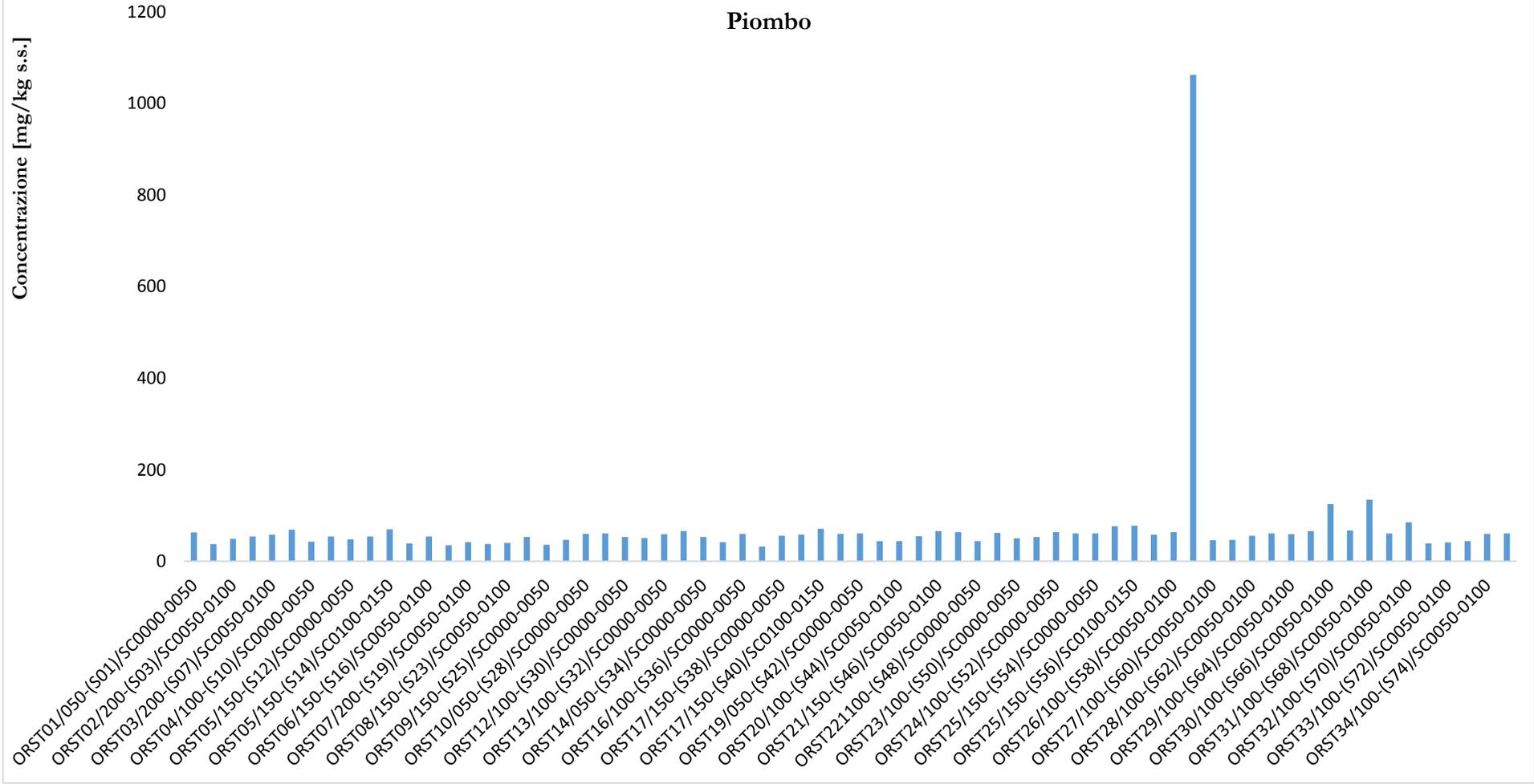


Cadmio

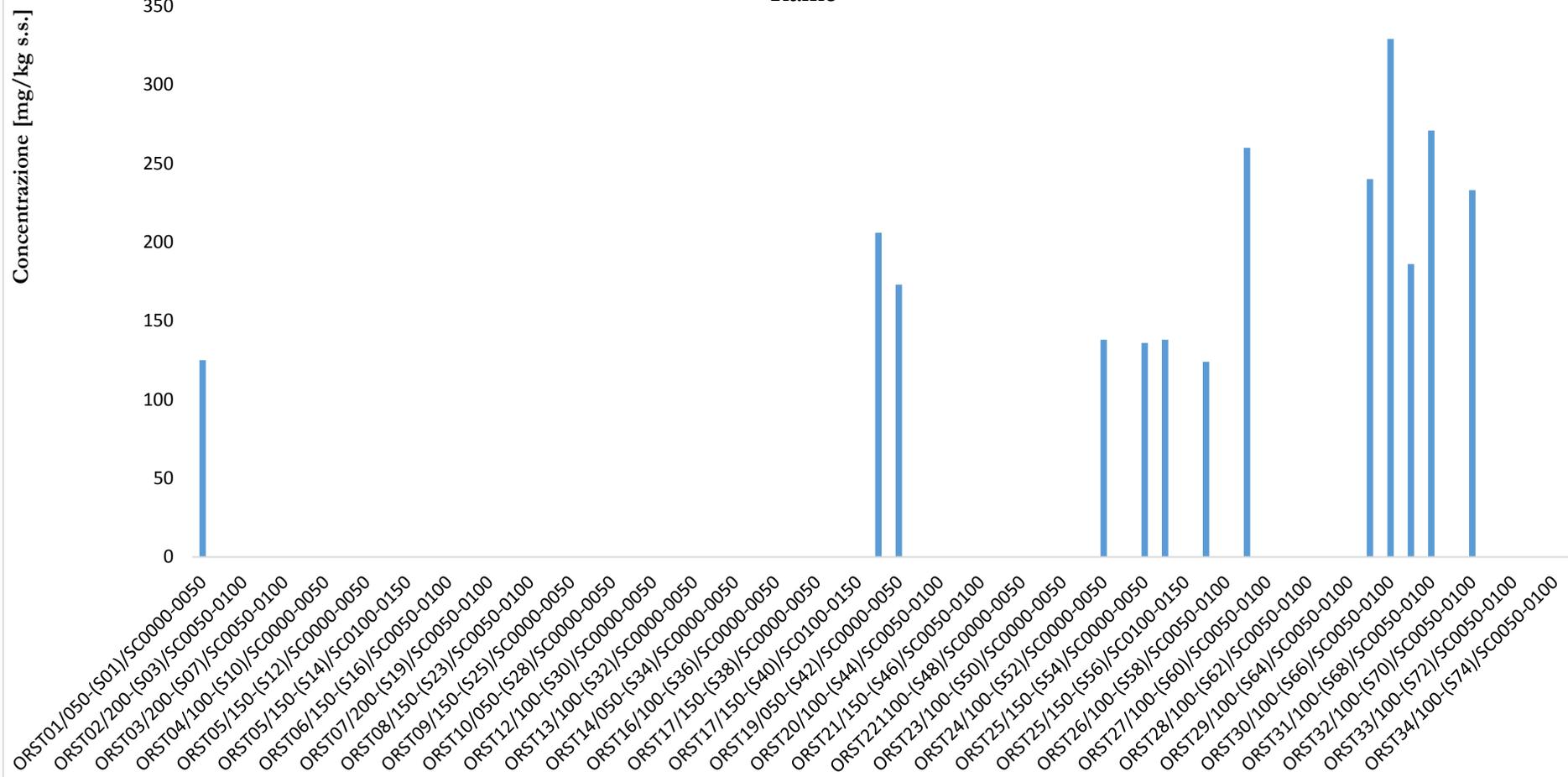


Piombo

Concentrazione [mg/kg s.s.]



Rame

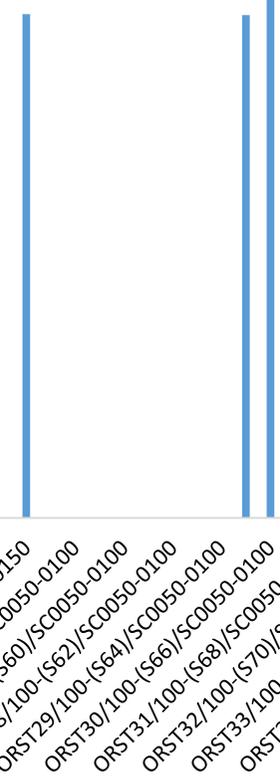


Cromo totale

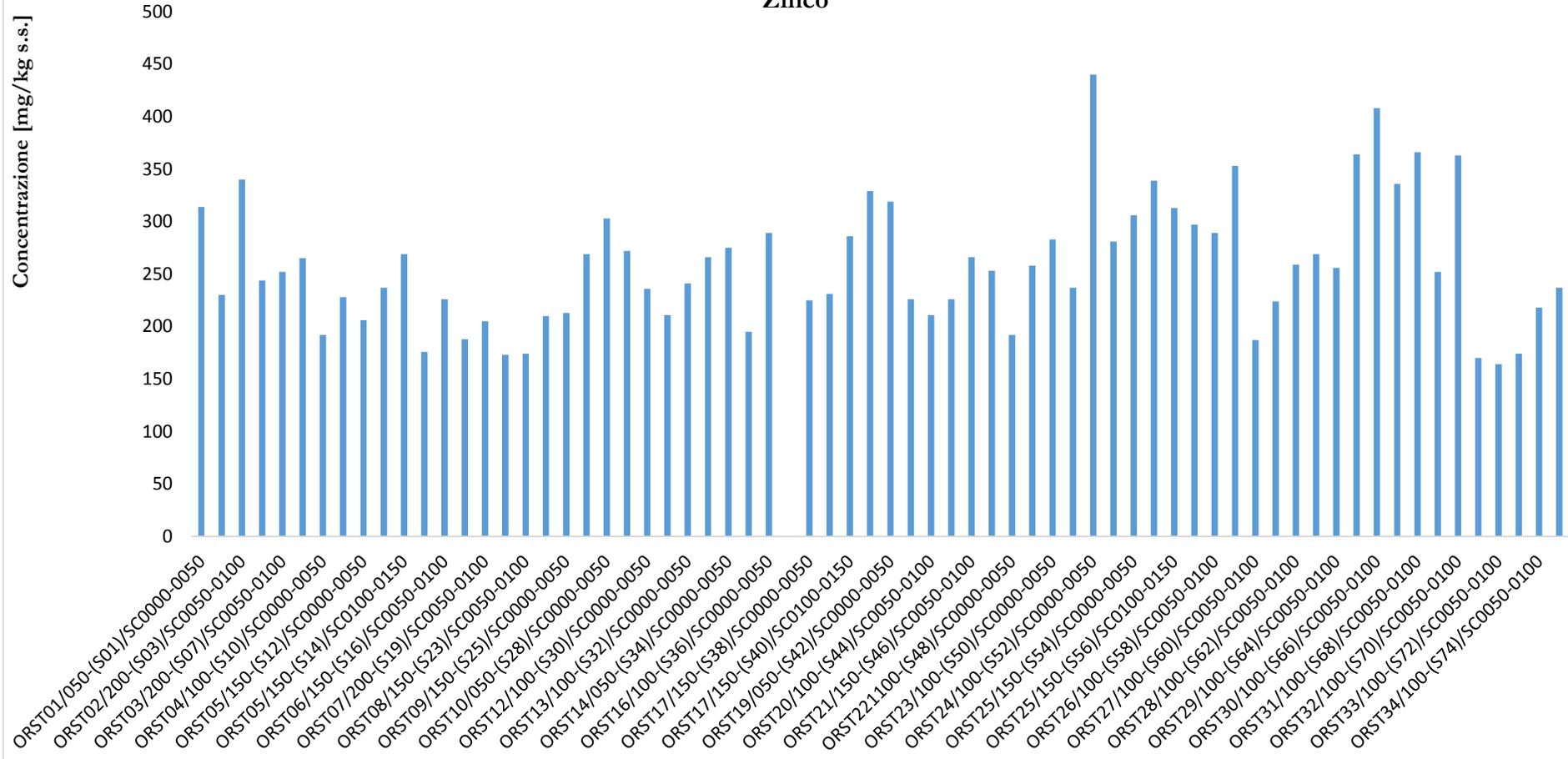
Concentrazione [mg/kg s.s.]

70
60
50
40
30
20
10
0

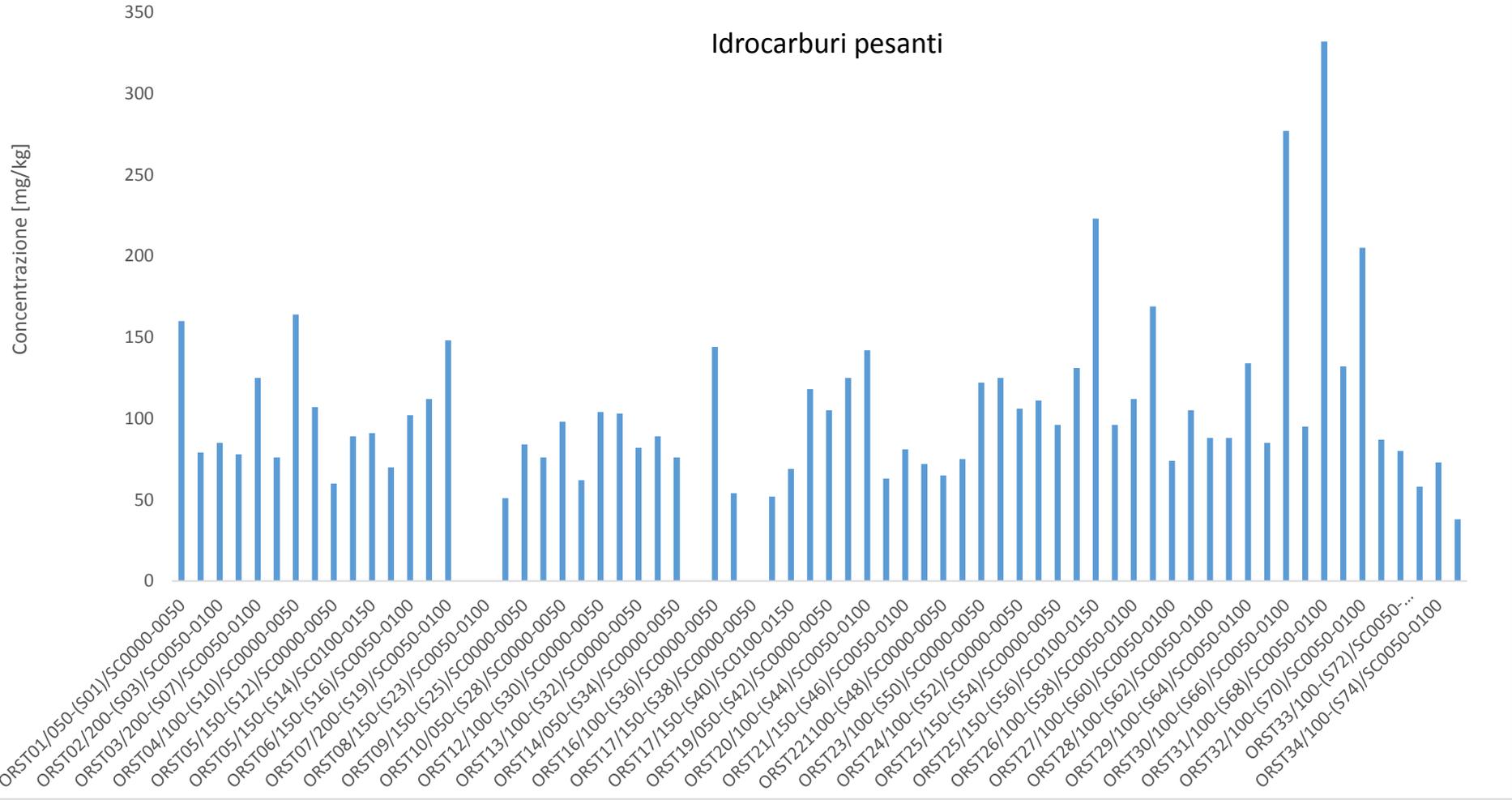
ORST01/050-(S01)/SC0000-0050
ORST02/200-(S03)/SC0050-0100
ORST03/200-(S07)/SC0050-0100
ORST04/100-(S10)/SC0000-0050
ORST05/150-(S12)/SC0000-0050
ORST06/150-(S14)/SC0100-0150
ORST07/200-(S16)/SC0050-0100
ORST08/150-(S19)/SC0050-0100
ORST09/150-(S23)/SC0050-0100
ORST10/050-(S25)/SC0050-0100
ORST12/100-(S28)/SC0000-0050
ORST13/100-(S30)/SC0000-0050
ORST14/050-(S32)/SC0000-0050
ORST16/100-(S34)/SC0000-0050
ORST17/150-(S36)/SC0000-0050
ORST17/150-(S38)/SC0000-0050
ORST19/050-(S40)/SC0000-0050
ORST20/100-(S42)/SC0100-0150
ORST21/150-(S44)/SC0000-0050
ORST22/100-(S46)/SC0050-0100
ORST23/100-(S48)/SC0050-0100
ORST24/100-(S50)/SC0000-0050
ORST25/150-(S52)/SC0000-0050
ORST25/150-(S54)/SC0000-0050
ORST26/100-(S56)/SC0000-0050
ORST27/100-(S58)/SC0100-0150
ORST28/100-(S60)/SC0050-0100
ORST29/100-(S62)/SC0050-0100
ORST30/100-(S64)/SC0050-0100
ORST31/100-(S66)/SC0050-0100
ORST32/100-(S68)/SC0050-0100
ORST33/100-(S70)/SC0050-0100
ORST34/100-(S72)/SC0050-0100
ORST34/100-(S74)/SC0050-0100



Zinco



Idrocarburi pesanti



TBT

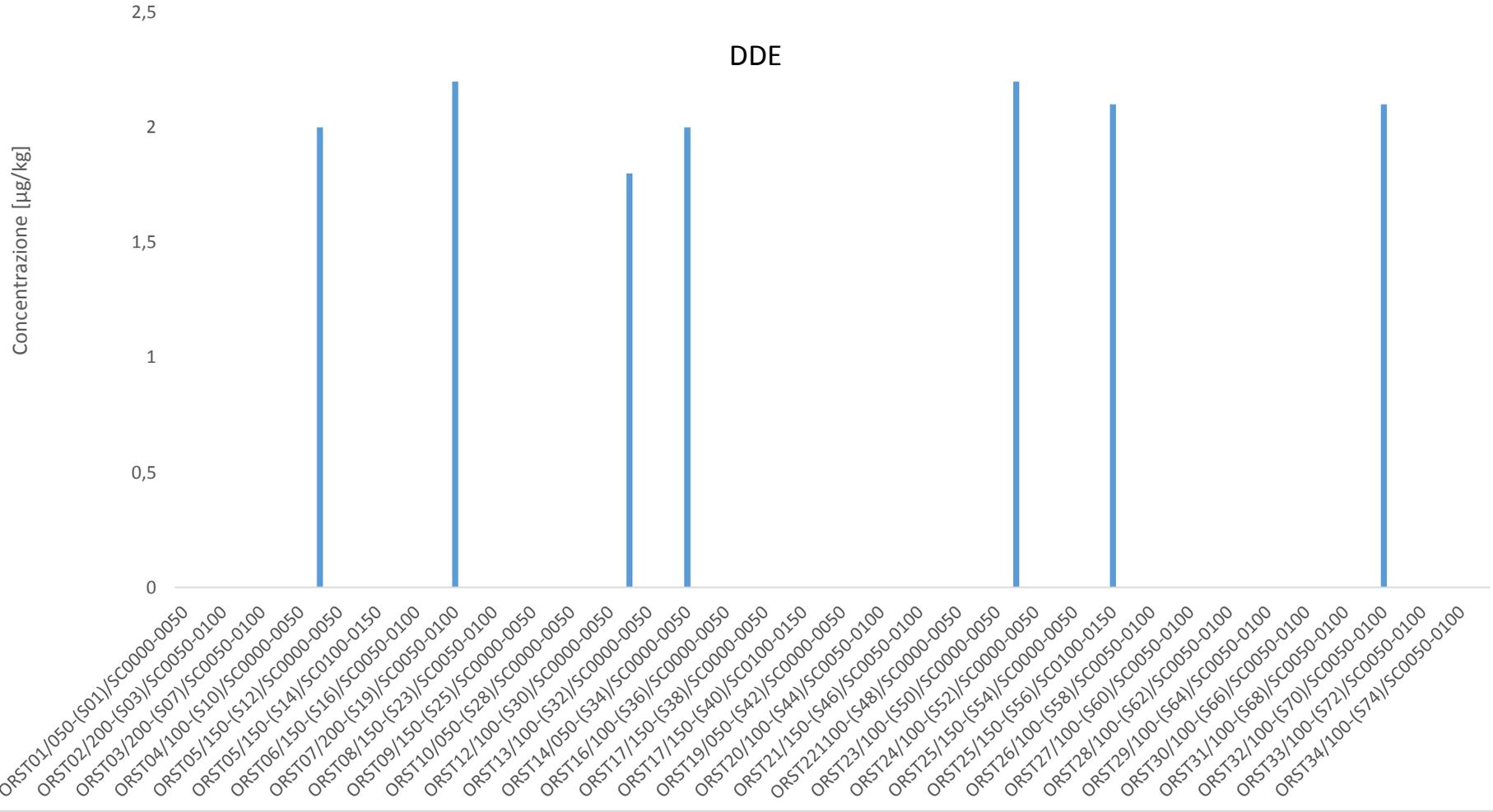
Concentrazione [$\mu\text{g}/\text{kg}$]

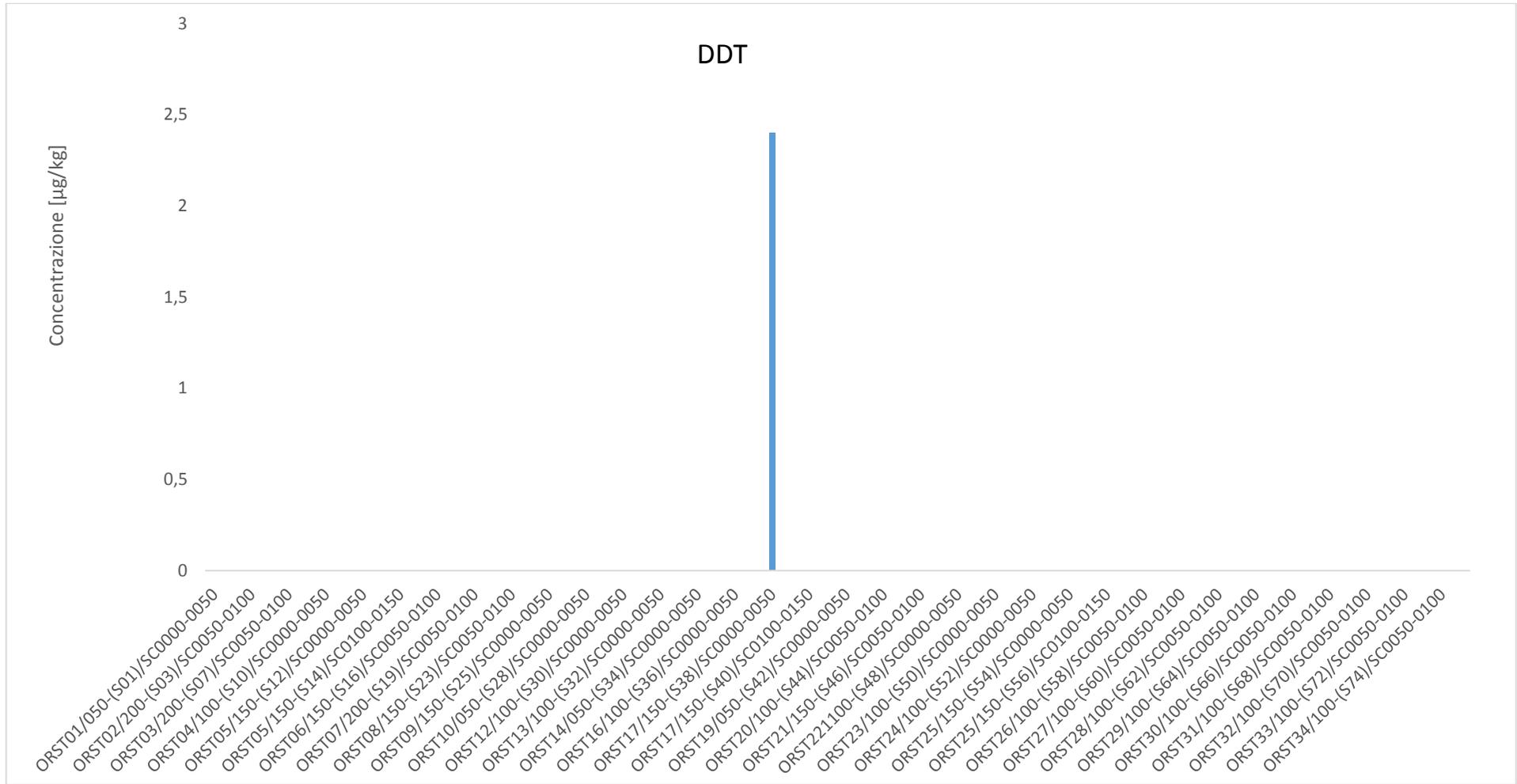
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0

ORST01/050-(S01)/SC0000-0050
ORST02/200-(S03)/SC0050-0100
ORST03/200-(S07)/SC0050-0100
ORST04/100-(S10)/SC0000-0050
ORST05/150-(S12)/SC0100-0150
ORST06/150-(S14)/SC0050-0100
ORST07/200-(S16)/SC0050-0100
ORST08/150-(S19)/SC0050-0100
ORST09/150-(S23)/SC0050-0100
ORST10/050-(S25)/SC0050-0100
ORST12/100-(S28)/SC0000-0050
ORST13/100-(S30)/SC0000-0050
ORST14/050-(S32)/SC0000-0050
ORST16/100-(S34)/SC0000-0050
ORST17/150-(S36)/SC0000-0050
ORST17/150-(S38)/SC0000-0050
ORST19/050-(S40)/SC0100-0150
ORST20/100-(S42)/SC0000-0050
ORST21/150-(S44)/SC0000-0050
ORST22/100-(S46)/SC0050-0100
ORST23/100-(S48)/SC0050-0100
ORST24/100-(S50)/SC0000-0050
ORST25/150-(S52)/SC0000-0050
ORST25/150-(S54)/SC0000-0050
ORST26/100-(S56)/SC0000-0050
ORST27/100-(S58)/SC0100-0150
ORST28/100-(S60)/SC0050-0100
ORST29/100-(S62)/SC0050-0100
ORST30/100-(S64)/SC0050-0100
ORST31/100-(S66)/SC0050-0100
ORST32/100-(S68)/SC0050-0100
ORST33/100-(S70)/SC0050-0100
ORST34/100-(S74)/SC0050-0100

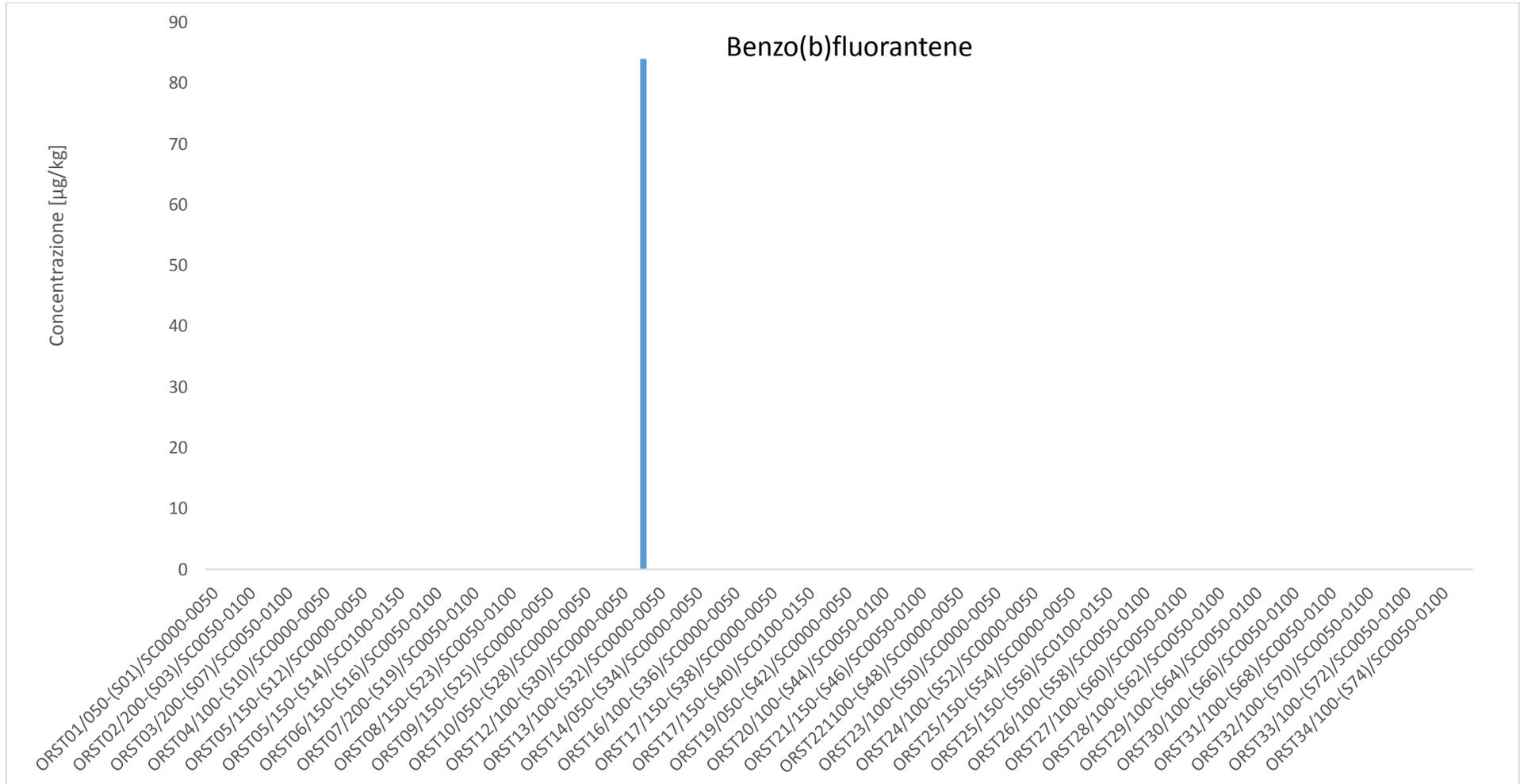


DDE

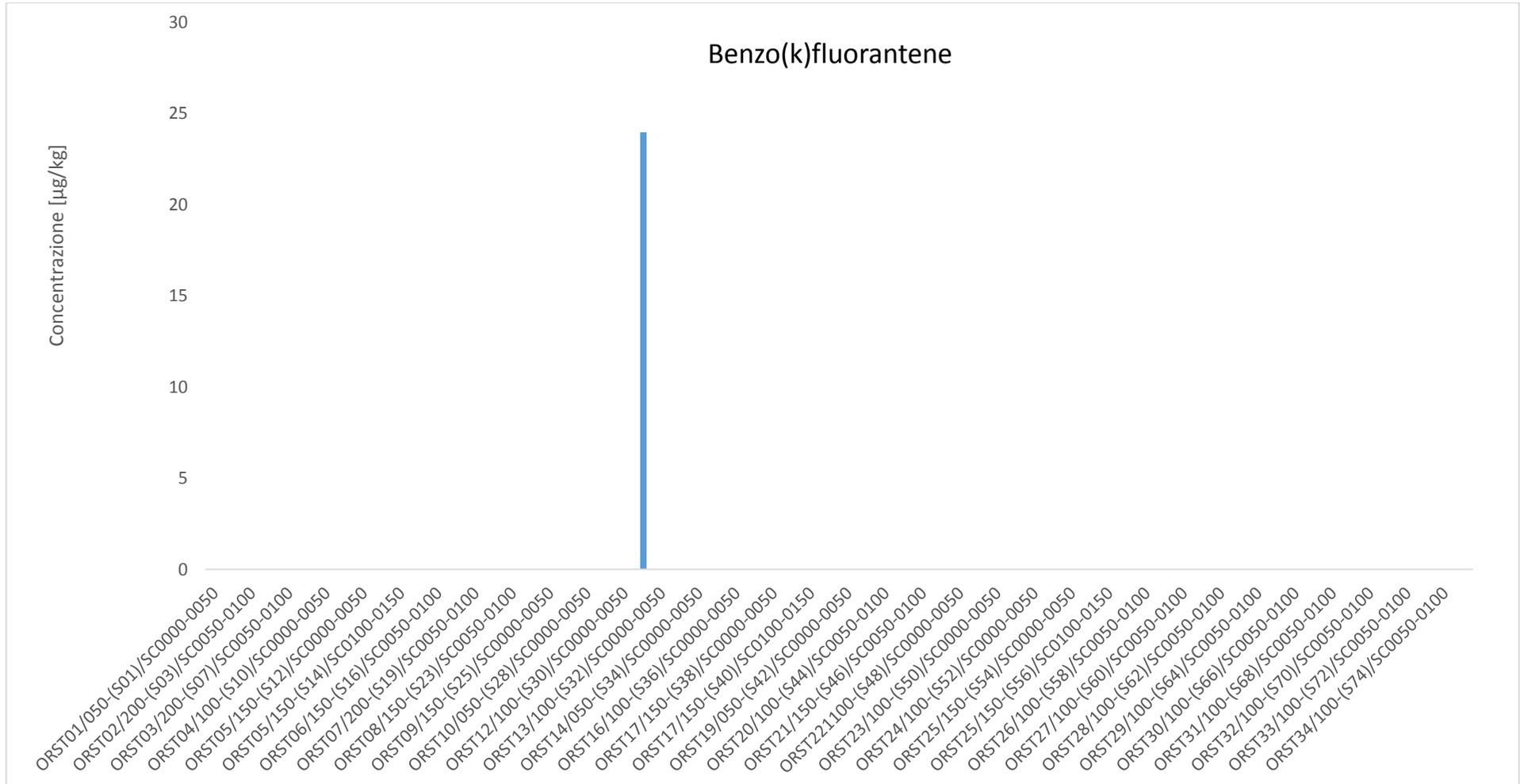




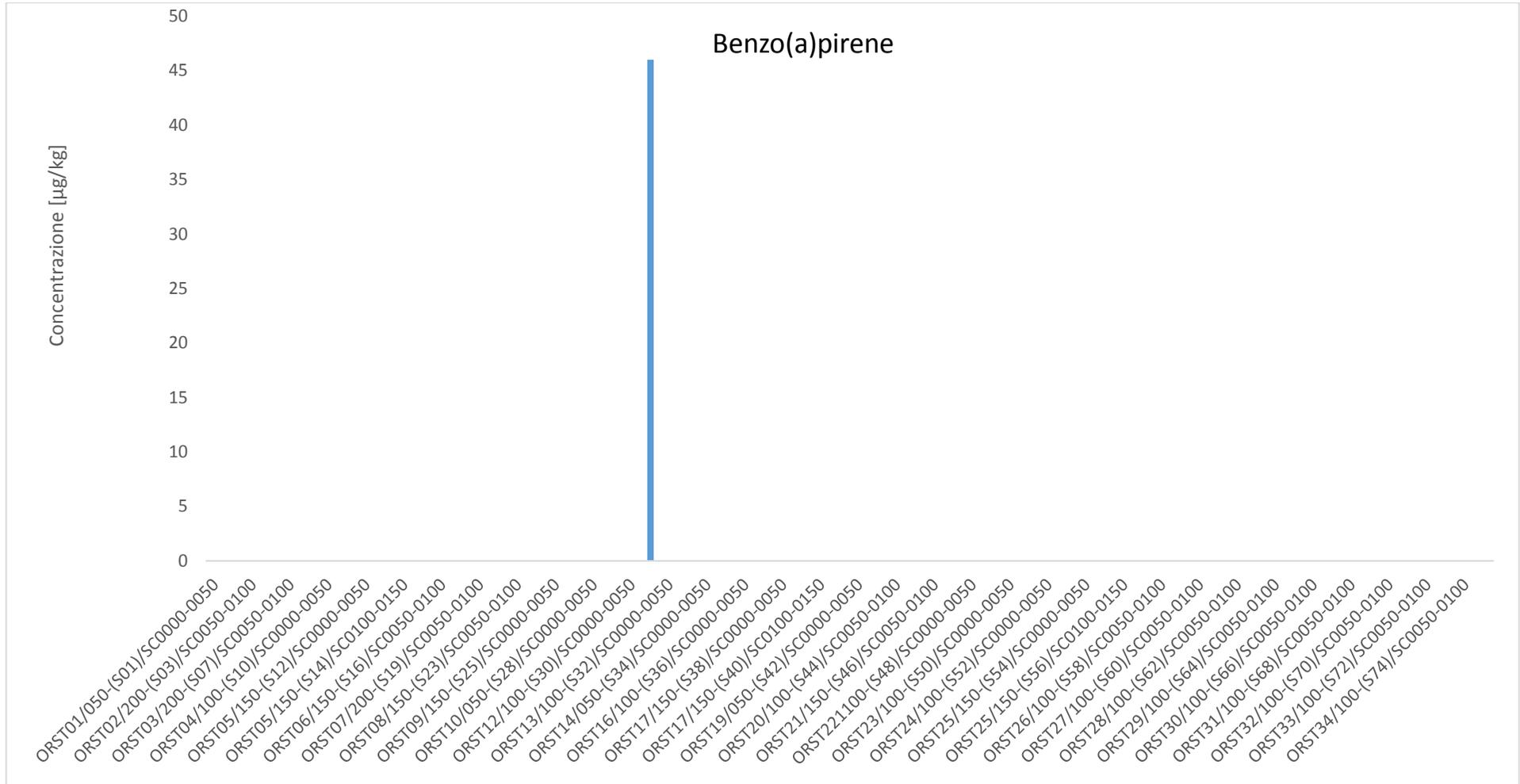
IPA



IPA



IPA



PCB

