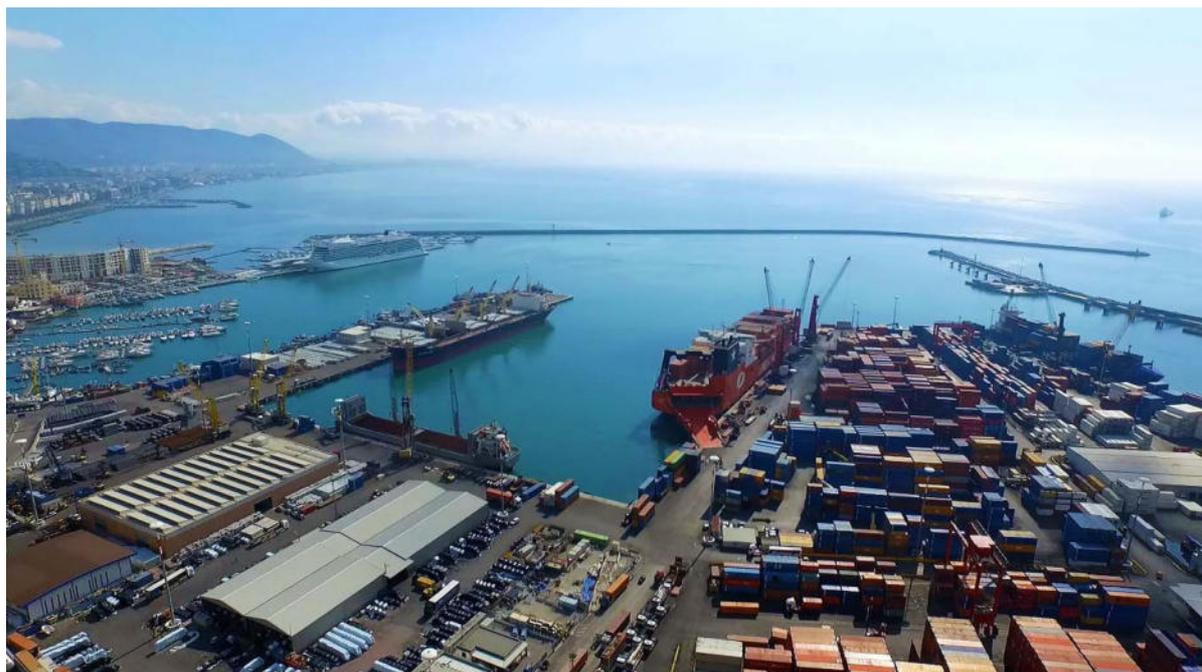


MONITORAGGIO *Corso Opera* **I Anno di Attività**



Ottobre 2020

Report - Risultati



stazione
zoologica
anton dohrn
napoli

GRUPPO DI LAVORO

Stazione Zoologica Anton Dohrn

Marco Borra (Responsabile Scientifico)

Daniela Cianelli e Francesca Margiotta (supervisione della relazione tecnico scientifica)

Relazione effettuata con il contributo di:

Maria Abagnale, Angela Buondonno, Fabio Conversano, Iole Di Capua, Marco Cannavacciuolo, Sarah Ciancimino, Daniela Cianelli, Francesco Di Nuzzo, Paolo Fasciglione, Giulio Franzitta, Marta Furia, Roberto Gallia, Francesca Margiotta, Andrea Montalbano, Luigi Musco, Augusto Passarelli, Isabella Percopo, Vincenzo Rando, Eugenio Rastelli, Maria Saggiomo, Diana Sarno, Francesco Terlizzi, Ferdinando Tramontano, Gianluca Zazo.

In collaborazione con

Università degli Studi di Napoli Parthenope

DST – Prof Vincenzo Pasquale

Università Politecnica delle Marche

Daniele Fattorini, Giuseppe d'Errico, Marta Di Carlo, Francesco Regoli.

Bioscience Research Center BSRC

Dr.ssa Monia Renzi



Sommario

Premessa	5
1. Metodologie	7
1.1 <i>Colonna d'acqua</i>	7
1.1.1 Analisi dei dati CTD e campionamento colonna d' acqua.....	7
1.1.2 Analisi per la caratterizzazione chimica	7
1.1.3 Analisi per la caratterizzazione biologica.....	11
1.1.4 Acquisizione in continuo da boe oceanografiche	12
1.2 <i>Sedimenti</i>	15
1.2.1 Campionamento	15
1.2.2 Analisi per la caratterizzazione fisica	20
1.2.3 Analisi per la caratterizzazione chimica	21
1.2.4 Analisi per la caratterizzazione ecotossicologica	29
1.2.5 Applicazione dei criteri di integrazione ponderata per l'elaborazione dei dati chimici ed ecotossicologici e la valutazione della classe di qualità	33
1.2.6 Analisi per la caratterizzazione microbiologica.....	38
1.2.7 Analisi per la caratterizzazione biologica.....	43
1.3 <i>Biota</i>	46
1.3.1 Bioaccumulo di contaminanti organici e inorganici.....	46
1.3.2 Analisi di biomarker	51
1.3.3 Criteri di integrazione ponderata per l'elaborazione dei dati di bioaccumulo e dei biomarker nei mitili trapiantati.....	56
1.4 <i>Monitoraggio satellitare</i>	60
2 Risultati- Colonna d'acqua	62
2.1 <i>Aree sottoposte a dragaggio</i>	62
2.1.1 Indagini idrologiche.....	62
2.1.1.1 <i>Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)</i>	62
2.1.1.2 <i>Caratterizzazione chimica</i>	72



2.1.2	Monitoraggio da boe oceanografiche della corrente e della torbidità	98
2.1.2.1	<i>Misure correntometriche</i>	98
2.1.2.2	<i>Misure di torbidità in continuo</i>	99
2.2	<i>Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio</i>	104
2.2.1	Indagini idrologiche.....	104
2.2.1.1	<i>Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)</i>	104
2.2.1.2	<i>Caratterizzazione chimica</i>	132
2.2.1.3	<i>Caratterizzazione biologica</i>	145
2.3	<i>Area di immersione</i>	151
2.3.1	Indagini idrologiche.....	151
2.3.1.1	<i>Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)</i>	151
2.3.1.2	<i>Caratterizzazione chimica</i>	156
2.3.1.3	<i>Caratterizzazione biologica</i>	161
2.4	<i>Contributo alla definizione dell'idrologia dell'area di immersione</i>	166
2.4.1	Indagini idrologiche.....	166
2.4.1.1	<i>Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)</i>	166
2.4.1.2	<i>Caratterizzazione chimica</i>	175
2.4.1.3	<i>Caratterizzazione biologica</i>	187
2.5	<i>Aree potenzialmente impattate dall'operazione di immersione</i>	193
2.5.1	Indagini idrologiche.....	193
2.5.1.1	<i>Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)</i>	193
2.5.1.2	<i>Caratterizzazione chimica</i>	204
2.5.1.3	<i>Caratterizzazione biologica</i>	212
3	Risultati – Sedimenti	218
3.1	<i>Caratterizzazione fisica</i>	218
3.2	<i>Caratterizzazione chimica</i>	220
3.3	<i>Caratterizzazione ecotossicologica</i>	248
3.4	<i>Classificazione della qualità dei sedimenti</i>	255



3.5	<i>Caratterizzazione microbiologica</i>	260
3.6	<i>Caratterizzazione biologica</i>	267
3.6.1	<i>Caratterizzazione delle comunità macro-zoobentoniche</i>	267
3.6.1.1	<i>Analisi trofica</i>	267
3.6.1.2	<i>Area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio - Analisi Strutturale</i>	271
3.6.1.3	<i>Area di immersione - Analisi Strutturale</i>	275
3.6.1.4	<i>Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione - Analisi Strutturale</i>	279
3.6.2	<i>Inquinanti prioritari nelle comunità macro-zoobentoniche</i>	287
4	Risultati – Biota	291
4.1	<i>Bioaccumulo di contaminanti organici e inorganici</i>	291
4.2	<i>Analisi di biomarker</i>	300
5	Risultati- Monitoraggio satellitare ad alta risoluzione	305
6	Conclusioni	311
	Riferimenti bibliografici	316

Premessa

L'obiettivo primario del piano di monitoraggio in *Corso d'Opera* è quello di definire gli eventuali impatti sugli ecosistemi marini in relazione all'attività di dragaggio e all'immersione a mare dei sedimenti del Porto commerciale di Salerno e nel Canale d'Ingresso. Il monitoraggio in oggetto ha anche il compito di valutare se il trasporto verso l'area di immersione è condotto secondo le procedure convenute, minimizzando così l'impatto sull'ecosistema pelagico e bentonico. Si consideri altresì che questa relazione si riferisce al dragaggio di circa 1.400.000 m³ di sedimento (circa la metà della quantità totale) al loro trasporto e immersione a mare e che il dragaggio del restante volume di sedimenti da dragare sarà effettuato a partire dal 15 novembre 2020 fino a marzo 2021. L'esperienza maturata in questa prima fase consentirà di programmare al meglio la seconda fase.

L'affidamento formale dell'incarico alla Stazione Zoologica A. Dohrn (SZN) per il monitoraggio in fieri è stato contestuale all'inizio delle operazioni di escavo. La complessità dell'organizzazione logistica delle operazioni previste non ha permesso alla SZN di iniziare l'attività di monitoraggio prima della metà di febbraio e in particolare cuil'acquisto e l'istallazione di due sistemi di monitoraggio in continuo della torbidità all'esterno dell'area portuale. Di contro, come ampiamente riportato all'interno di questa relazione, già dallo 01/01/2020 è stato avviato il monitoraggio satellitare ad alta risoluzione della torbidità in termini di solidi totali sospesi (TSM) e delle biomasse fitoplanctoniche (Chl *a*). Alla luce di quanto sopra e per fare fronte a queste difficoltà, l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale si è fatta carico, con il supporto scientifico della SZN, di approntare i due sistemi di monitoraggio in continuo della torbidità della direzione e velocità della corrente (boe equipaggiate con torbidimetro e correntometro ADCP, stazione meteo e telecamera), all'imboccatura del porto I due sistemi di monitoraggio in continuo sono stati resi operativi il 30/01/2020 la Boa 1 e il 12/02/2020 la Boa 2. Questa operazione è di grande utilità perché permette di monitorare, in *real-time*, la torbidità, potenzialmente indotta dall'attività di escavo sia nell'area portuale che nel canale d'ingresso, e permette di misurare la direzione e la velocità della corrente dalla superficie al fondo contestualmente ai dati meteorologici. Le due boe, attrezzate per effettuare il monitoraggio in continuo, sono state dotate di un sistema di *early warning* che invia segnale ai centri di controllo in caso di superamento del limite soglia della torbidità determinato, in collaborazione con ARPAC, sulla base dei risultati delle campagne di monitoraggio *ante operam*. Il superamento dei livelli soglia prevede il blocco delle attività di dragaggio. La gestione e la manutenzione delle due stazioni di monitoraggio in continuo all'imboccatura del Porto è stata affidata alla Stazione Zoologica A. Dohrn anche per il periodo di tempo intercorrente tra la fine della prima fase dei lavori di dragaggio e l'inizio della seconda fase, sia per la necessità garantire la perfetta efficienza della strumentazione installata sia in quanto detta attività di monitoraggio è connessa ai lavori di modifica dell'imboccatura del Porto Commerciale di Salerno. Le altre due boe previste da piano di

monitoraggio, ancora non installate, avrebbero dovuto monitorare l'eventuale impatto sulle due AMP di Punta Campanella e Punta Licosa ubicate nelle aree estreme del Golfo di Salerno, in posizione molto distante sia dal punto di dragaggio che dal sito d'immersione a mare dei sedimenti dragati (Fig. 1). Per questo specifico aspetto, si ritiene utile far presente che il modello di dispersione dei sedimenti, realizzato sempre dalla SZN nell'attività preliminare all'operazione di escavo, esclude la possibilità d'impatto dall'operazione di escavo e di immersione a mare dei sedimenti dragati sugli ecosistemi delle due AMP. Si consideri che le due AMP di Punta Licosa e Punta Campanella distano, dal centro del quadrilatero dell'area di immersione dei sedimenti dragati, 19,5 e 17,5 nm (miglia nautiche) rispettivamente, e di 25,5 e 20,0 nm dall'area di dragaggio, rispettivamente. Tale aspetto, sarà sperimentalmente testato nella seconda fase dell'attività di escavo che sarà condotta dal 15 di novembre 2020 alla fine del mese di marzo del 2021.

Questa relazione riporta il quadro dei risultati del monitoraggio svolto indirizzato a valutare l'impatto delle attività di dragaggio e immersione a mare dei sedimenti del Porto di Salerno e del suo Canale d'ingresso sugli ecosistemi marini. I risultati analitici delle attività svolte, benché il piano di monitoraggio non sia stato attuato nella piena rispondenza di quanto approvato dagli organi di controllo per una serie di problematiche di tipo amministrativo e gestionale e con le difficoltà di inizio del periodo Covid, permettono di valutare gli eventuali impatti sugli ecosistemi marini costieri e di largo nel rispetto degli obiettivi del piano di monitoraggio.



Figura 1. Posizionamento e distanza delle due boe, non installate, nelle due AMP di Punta Campanella e Punta Licosa rispetto al sito di dragaggio (Porto commerciale di Salerno e canale d'ingresso) e a quello di immersione (A22).

1. Metodologie

1.1 Colonna d'acqua

1.1.1 Analisi dei dati CTD e campionamento colonna d'acqua

I dati acquisiti durante la campagna *in corso opera* sono stati elaborati secondo procedure oceanografiche standard, convertiti in unità fisiche e, infine, mediati ad un metro di profondità utilizzando un *software* specifico *Data Processing WIN 32* della *SeaBird*. Sono state realizzate rappresentazioni grafiche che permettono di visualizzare la distribuzione delle grandezze idrologiche su sezioni verticali e su planimetrie orizzontali nelle aree di campionamento mediante il programma *Ocean Data View (ODV)* (www.odv.awi.de).

Per la raccolta dei campioni d'acqua è stato utilizzato un campionatore di tipo ROSETTE con dodici bottiglie NISKIN da 10 litri ciascuna, interfacciato al sistema CTD e collegato al computer di bordo per la visione *in real time* del profilo e per la chiusura *ad hoc* delle bottiglie alle quote previste dal piano di monitoraggio.

1.1.2 Analisi per la caratterizzazione chimica

Nutrienti

I campioni di nutrienti inorganici sono stati conservati a -20°C e scongelati in bagno termostato a 37°C al momento delle analisi. La determinazione delle concentrazioni dei nutrienti inorganici è stata effettuata con un analizzatore a flusso continuo *Flow-Sys Systema* (Figura 1.1.2.1). Le analisi sono state eseguite utilizzando le metodiche riportate in Saggiomo et al., 2010. Lo strumento è equipaggiato con cinque canali per determinazione simultanea di ammoniaca (NH_4), nitriti (NO_2), nitrati (NO_3), ortofosfati (PO_4) e silicati (SiO_4) ed è interfacciato con un PC che utilizza il *software SYSLYZER 3000* della *Systema*.



Figura 1.1.2.1. Analizzatore a flusso continuo *Flow-Sys Systema*.

In tabella 1.1.2.1 sono riportati i limiti di rilevabilità dello strumento.

Tabella 1.1.2.1. Limiti di rilevabilità per i nutrienti inorganici.

	Limite di rilevabilità (mmoli m ⁻³)
NH₄	0.05
NO₂	0.01
NO₃	0.01
PO₄	0.01
SiO₄	0.1

Solidi sospesi

I filtri per la determinazione dei solidi sospesi totali (TSS) (Figura 1.1.2.2) sono stati posti in stufa alla temperatura di 105 °C per un'ora, sono stati fatti raffreddare per 30 minuti in essiccatore e poi sono stati nuovamente pesati con una bilancia *Sartorius* CP225D. La concentrazione totale dei solidi sospesi è calcolata come differenza tra le pesate. La metodologia analitica di riferimento utilizzata è APAT CNR IRSA 2090 (2003).

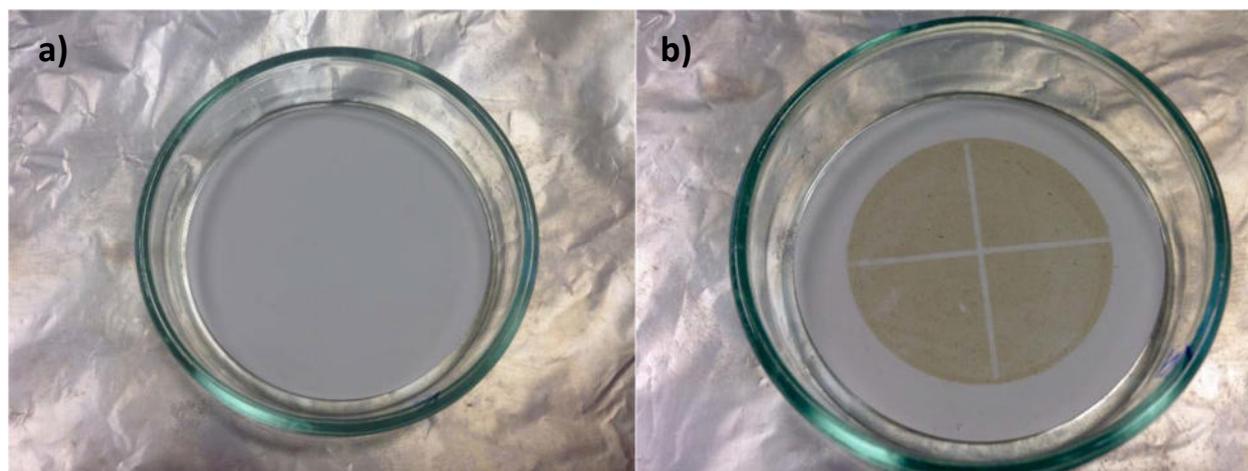


Figura 1.1.2.2. Filtri per la determinazione del TSS a) prima e b) dopo il campionamento.

Metalli disciolti

Il campione acquoso, pervenuto in laboratorio già stabilizzato con acido nitrico al 4%, è stato sottoposto ad analisi previa opportuna diluizione con acqua ultrapura Millipore per minimizzare l'effetto matrice. Le determinazioni dei metalli sono state effettuate seguendo le seguenti metodiche:

- Cromo, Zinco e Rame: è stata impiegata la metodica EPA 6010D:2014. L'analisi è stata condotta con ICP ottico impiegando un ICP Agilent VDV 5110. Il Limite di Quantificazione è pari a $1.0 \mu\text{g l}^{-1}$ per Cromo e Zinco e pari a $5.0 \mu\text{g/l}$ per il Rame.
- Cadmio e Piombo: è stata impiegata la metodica EPA 7010:2007. L'analisi è stata condotta con Assorbimento Atomico equipaggiato con fornello di grafite modello SpectrAA-240Z. Il Limite di Quantificazione è pari a $0.1 \mu\text{g l}^{-1}$ per Cadmio e $1.0 \mu\text{g l}^{-1}$ per Piombo.
- Mercurio: è stata impiegata la metodica APAT CNR IRSA 3200. L'analisi è stata condotta mediante spettrometria di assorbimento atomico a vapori freddi CV-AAS, impiegando un FIMS 100 Perkin Elmer. Il limite di quantificazione è pari a $0.05 \mu\text{g l}^{-1}$.

Le prestazioni analitiche sono state controllate mediante l'impiego di soluzioni standard di riferimento certificate NIST, come previsto da EPA, accettando uno scostamento massimo del 10% dal valore certificato. È stato considerato come Limite di Quantificazione il primo punto della curva di taratura moltiplicato per la diluizione effettuata.

Metalli e composti organici nel particolato.

La determinazione delle sostanze chimiche su particolato è stata effettuata mediante estrazione ed analisi dei materiali filtranti. Per ogni categoria di sostanza chimica (metalli e metalloidi, idrocarburi pesanti $C>12$, Idrocarburi policiclici aromatici e composti organostannici) sono stati utilizzati materiali filtranti diversi e specifici come riportato nella relazione relativa alle operazioni di campo. Il filtro utilizzato, opportunamente pre-pesato e decontaminato, dopo filtrazione in campo è stato riposto in apposita capsula Petri singola codificata, sigillato ed inviato al laboratorio di analisi in condizioni refrigerate. In laboratorio i filtri sono stati essiccati in stufa a 40°C per non perdere la frazione volatile delle sostanze chimiche di interesse specifico. Quindi al raggiungimento del peso costante sono stati pesati per la determinazione della quantità di particolato presente. Ogni tipologia di filtro (quattro filtri distinti per ogni campione) è stata sottoposta ad opportuna procedura di estrazione e successiva analisi secondo i metodi riportati nella tabella 1.1.2.2. La tabella riporta le unità di misura ed il limite di rilevabilità riferito al filtro estratto (LOQ) per ogni sostanza chimica o classe di sostanze chimiche analizzate. Le analisi effettuate sui filtri prevedono la distruzione totale del campione sottoposto a prova. Pertanto, per evitare di perdere campioni, il metodo per ogni tipologia di



analisi è stato preventivamente testato effettuando prove di efficienza di estrazione e recupero degli analiti su filtri di prova aggiuntivi realizzati in campo appositamente con questa finalità. Inoltre, alcuni filtri *in blank* sono stati analizzati per ogni tipologia di analisi per determinare il segnale di base ed effettuare opportune correzioni dovute all'eventuale effetto matrice. I risultati acquisiti sulla concentrazione per ogni molecola (espressa in mg o sottomultipli di essi) sono stati rapportati al volume di acqua filtrata su ogni filtro per la determinazione delle concentrazioni di sostanza per litro di acqua filtrata. Sono stati forniti anche i dati relativi al peso totale di materiale particolato/filtro per l'eventuale stima delle concentrazioni di sostanza per milligrammo o microgrammo di particelle totali.

Tabella 1.1.2.2. Metodi di estrazione ed analisi e limiti di rilevabilità per tipologia di sostanza.

	Metodo	um	LOQ
Peso filtro 40°C	CNR IRSA 2.4.1 Q 64 Vol 2 1994	g	-
Cadmio	3050B 1996 + EPA 6020B 2014	µg	0.0125
Cromo totale	3050B 1996 + EPA 6020B 2014	µg	0.025
Mercurio	3050B 1996 + EPA 6020B 2014	µg	0.0031
Piombo	3050B 1996 + EPA 6020B 2014	µg	0.025
Rame	3050B 1996 + EPA 6020B 2014	µg	0.025
Zinco	3050B 1996 + EPA 6020B 2014	µg	0.25
Idrocarburi pesanti (C>12)	EPA 3545A 2007 + EPA 8015C 2007	mg	0.01
Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)*	EPA 3545A 2007 + EPA 8270E 2017	µg	0.005
Composti organostannici**	EPA 3545A 2007 + EPA 8270E 2017	mg	0.0001

Note. Molecole identificate: *Acenaftilene; Benzo(a)antracene; Fluorantene; Naftalene; Antracene; Benzo(a)pirene; Benzo(b)fluorantene; Benzo(k)fluorantene; Benzo(g,h,i)perilene; Acenaftene; Fluorene; Fenantrene; Pirene; Dibenzo (a,h) antracene; Crisene; Indeno (1,2,3-c,d) pirene. **Monobutil stagno tricloruro; Di-n-butilstagno dicloruro; Tributilstagno cloruro; Sommatoria composti organostannici.

1.1.3 Analisi per la caratterizzazione biologica

Biomasse e delle comunità fitoplanctoniche

Clorofilla a

In laboratorio, i filtri per la determinazione della biomassa fitoplanctonica espressa come clorofilla *a* (Chl *a*), conservati in azoto liquido ($T \sim -195^{\circ}\text{C}$), sono stati distrutti meccanicamente con una bacchetta di vetro dopo essere stati immersi in una soluzione acquosa di acetone al 90% neutralizzato, all'interno di provette di polipropilene (PP) da 10 ml. Successivamente, le provette sono state poste in centrifuga refrigerata a 4°C (*Thermo Scientific* SL 16R) per 20 minuti a 3000 rpm. Dopo la centrifugazione, il surnatante è stato prelevato dall'estratto ed è stato analizzato utilizzando uno spettrofluorimetro *Shimadzu* RF-5301 PC (Figura 1.1.3.1.1), interfacciato ad un PC mediante il *software* RF-5301PC *Personal Fluorescence*.



Figura 1.1.3.1.1. Spettrofluorimetro *Shimadzu* RF-5301 PC.

La Fluorescenza è stata misurata prima e dopo acidificazione con acido cloridrico, in modo da misurare la frazione fotosinteticamente attiva (Chl *a*) ed inattiva (feopigmenti) come riportato in Lazzara et al., 2010. Lo strumento è stato calibrato prima di ogni giornata di analisi con una soluzione pura di Chl *a* estratta da *Anacystis nidulans* (Sigma), la cui concentrazione è stata determinata mediante misure di assorbanza specifica utilizzando uno spettrofotometro (*Agilent* 8453 *UV-Visible spectrophotometer*) interfacciato ad un PC mediante il *software* *UV-visible ChemStation*.

Caratterizzazione tassonomica

L'analisi quali-quantitativa del campione è stata condotta con il metodo Utermöhl (Zingone et al., 2010). Per le analisi microscopiche è stato utilizzato un microscopio ottico invertito (*Zeiss Axiovert 200*) a contrasto di fase con un ingrandimento finale di 400X.

Il volume del subcampione da sedimentare per il conteggio è stato opportunamente scelto in base ai valori di concentrazione di Chl *a* in modo da ottenere un numero di cellule tale da risultare rappresentativo di tutto il campione.

Sono stati determinati a livello di specie, ove possibile, diatomee, dinoflagellati, coccolitofori e fitoflagellati. Le piccole forme flagellate e i dinoflagellati di difficile identificazione sono stati riuniti in categorie più generiche (fitoflagellati < 10 µm, nudi < 15 µm etc.). Particolare attenzione è stata data all'identificazione di specie potenzialmente tossiche.

Caratterizzazione delle comunità zooplanctonica

Il campione di zooplancton fissato in etanolo al 95%, una volta in laboratorio, viene filtrato e concentrato attraverso una maglia più piccola o della stessa dimensione della maglia della rete di campionamento. Il campione concentrato viene diluito, sempre con etanolo denaturato 95°, in una coppa graduata fino ad un volume noto (100 ml). Il campione viene quindi accuratamente mescolato fino a quando i microrganismi sono distribuiti in modo casuale, poi viene sub-campionata l'aliquota da analizzare. Il sub-campionamento viene ripetuto (due subcampioni da 5 o 2,5 ml) con l'aiuto di una pipetta tipo Stempel. Il subcampione viene collocato in camera di conteggio Mini-Bogorov ed osservato allo stereomicroscopio (Leica MZ125).

La determinazione tassonomica dei campioni è stata effettuata per copepodi e cladoceri a livello di specie e/o genere. Gli adulti dei copepodi sono stati separati per sesso. I giovani di copepodi (copepoditi da CII e CIII che a seconda delle specie sono efficientemente campionati con una rete da 200 µm) sono identificati a livello di genere o famiglia (ad esempio, *Calocalanus*, *Oithona*, *Oncaeidae*, *Corycaeidae*). Gli altri gruppi zooplanctonici sono stati identificati a livelli tassonomici superiori (phylum, famiglia, genere).

Nell'ambito di questo studio sono stati analizzati 44 campioni di zooplancton (campionati dal 28 maggio al 19 giugno nel corso (V° campagna, del monitoraggio *corso d'opera*). Tutti i campioni sono stati analizzati per identificare le comunità zooplanctoniche e calcolare l'abbondanza dei gruppi considerati, definita come numero di individui in una unità di volume (ind. m⁻³).

1.1.4 Acquisizione in continuo da boe oceanografiche

La Boa 1 è stata posizionata nel punto di coordinate 40° 39.990' N - 14° 44.037' E (Fig. 1.1.4.1) su un fondale di circa 10m, e resa operativa il pomeriggio del giorno 30/01/2020. La manutenzione ordinaria e

la pulizia del sensore di torbidità e del profilatore di corrente ADCP sono state eseguite i giorni 27 febbraio, 5, 9, 13 e 25 marzo.



Figura. 1.1.4.1 Posizione Boa 1

La Boa 2 è stata posizionata nel punto di coordinate $40^{\circ} 39.657' N$ e $14^{\circ} 44.750' E$ (Fig. 2.1.2.2) su un fondale di circa 14m, e resa operativa il pomeriggio del giorno 12/02/2020. La manutenzione ordinaria e la pulizia del sensore di torbidità e del profilatore di corrente ADCP sono state eseguite i giorni 27 febbraio, 5, 9, 13, 16, 20 e 25 marzo (Fig. 2.1.2.2.2)



Figura. 1.1.4.2 Posizione Boa 2

Le due boe erano equipaggiate con un sistema di galleggiamento, moduli di gestione e controllo remoto, sistemi di controllo, sensori meteorologici, torbidimetro e profilatore per misure di corrente.

Il sensore di torbidità utilizzato è il *Turner Designs* Torbidimetro *Turbidity Plus*, completo di dispositivo per



pulizia meccanica dell'ottica per protezione da *biofouling*, range 0-3000 NTU, completo di cavo subacqueo di collegamento al Datalogger LISC.

Il profilatore per misure di corrente utilizzato sulla boa 1 è il Teledyne RDI Sentinel V20 1000 kHz ADCP, completo di 4 trasduttori in configurazione Janus (posizionati a 90° l'uno dall'altro), necessari per la misura della *error velocity* come controllo di qualità dei dati.

Sulla boa 2 è stato utilizzato il Correntometro *Teledyne RDI Monitor* 600 kHz Direct-Reading ADCP, completo di 4 trasduttori in configurazione Janus (posizionati a 90° l'uno dall'altro).

I sistemi di galleggiamento sono corredati di correntometri ADCP a differente frequenza in relazione alla profondità d'uso, in particolare *Teledyne RDI Sentinel V20* 1000 kHz posizionato sulla BOA 1, resa operativa il 30 gennaio 2020, su un fondale di circa 10 m e un *Teledyne RDI Monitor* 600 kHz *Direct-Reading* posizionato sulla Boa 2, resa operativa il 15 febbraio 2020, su un fondale di circa 14 m.

Gli strumenti, ADCP, torbidimetro, centralina meteo e telecamera sono stati settati per acquisire i dati ogni ora. In particolare, ogni ora, l'ADCP effettua le misure per un arco temporale di 10 minuti ovvero un *ping* ogni dieci secondi per sessanta volte, mentre il torbidimetro effettua cinque misure consecutive, ognuna per cinque secondi. La pulizia della strumentazione è stata effettuata dai tecnici della Stazione Zoologica non appena sono stati trasmessi, dai sensori di torbidità, *spikes* e valori non verosimili, e naturalmente appena le condizioni meteo-marine lo hanno permesso.

Il monitoraggio in continuo della torbidità nell'area di escavo è stata un'operazione realmente utile perché monitora, in real-time, la torbidità, indotta dall'attività di escavo, sia nell'area portuale che nel canale d'ingresso oltre che la direzione e velocità della corrente dalla superficie al fondo e i dati meteorologici (Boa 1). I due sistemi di monitoraggio in continuo (Boa 1 e 2), sono dotati di un sistema di *early warning* che invia un messaggio in tempo reale ai centri di controllo, nel caso di superamento del limite d'intervento, che prevede il blocco delle attività di dragaggio.

1.2 Sedimenti

1.2.1 Campionamento

Il prelievo dei sedimenti è stato effettuato mediante benna Van Veen nei giorni 18, 19, 22 e 25 maggio 2020, in 20 stazioni ubicate nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (A08, A11, A14, A17 e A72) figura 1.2.1.1, nelle aree potenzialmente impattate dall'attività d'immersione dei sedimenti dragati (A47, A50, A53, A59, A62, A65, A68) figura 1.2.1.2, e nell'area d'immersione dei sedimenti dragati (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75, A76). figura 1.2.1.3.

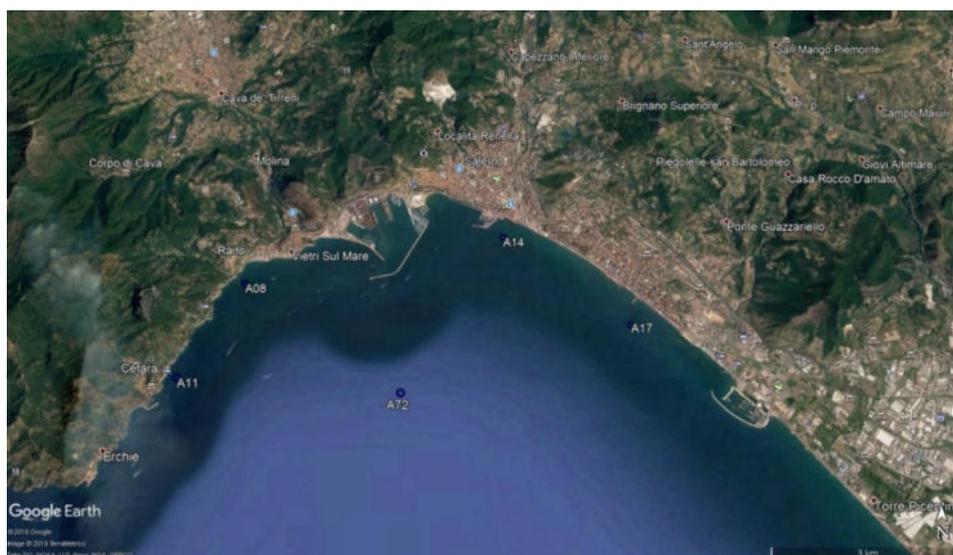


Figura 1.2.1.1. Ubicazione delle stazioni di campionamento nell'area interessata dai lavori di dragaggio.

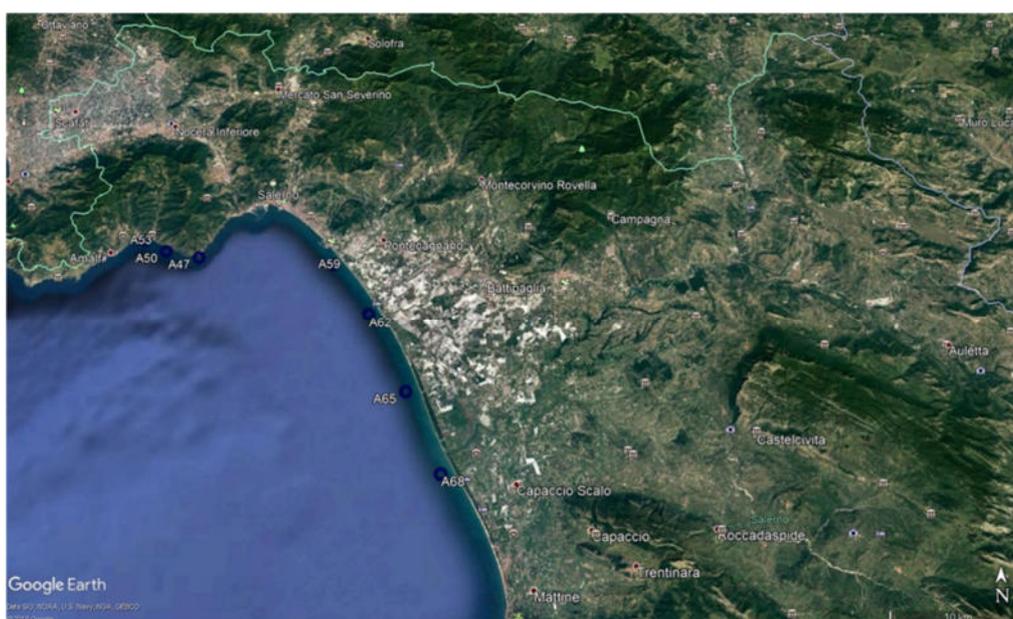


Figura 1.2.1.2. Ubicazione delle stazioni di campionamento nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione.

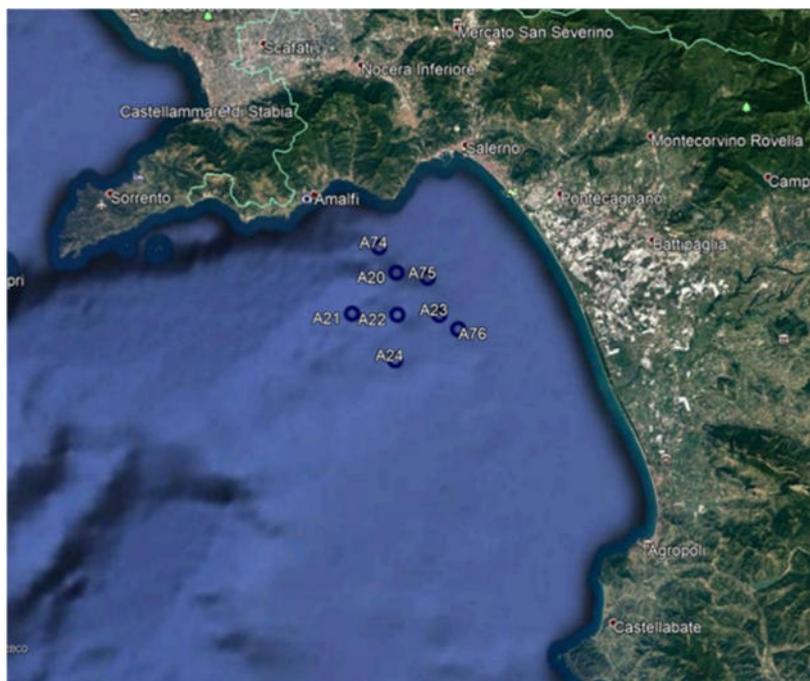


Figura 1.2.1.3. Ubicazione delle stazioni di campionamento nell'area di immersione.

Le attività sono state eseguite utilizzando il motopeschereccio Assunta I°, le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente.

Tabella 1.2.1.1.1 Caratteristiche motopeschereccio Assunta I°

Costruzione n.	1976
Materiale dello scafo	Legno
Compartimento Marittimo	SALERNO
Porto	SANTA MARIA DI CASTELLABATE
Numero di Registro	07SA00805
CFR	ITA000013586
Stazza lorda	56.00
Stazza netta	53.07
Lunghezza max	22.30
Lunghezza tra le Pp	20.38
Potenza motori	294.00 Kw

Per le attività di caratterizzazione fisica, chimica, ecotossicologica e microbiologica le metodiche di campionamento, confezionamento e trasporto in laboratorio per le analisi sono state svolte in conformità ai protocolli nazionali ed internazionali. Per ogni campione prelevato, il personale tecnico ha provveduto ad etichettare il campione e a compilare la scheda di campionamento. I campioni di sedimento prelevati sono stati maneggiati con cura in modo da garantire:

- l'assenza di contaminazione derivante dall'ambiente circostante o dagli strumenti impiegati per il



campionamento ed il prelievo;

- l'assenza di perdite di sostanze inquinanti dalle pareti dei campionatori o dei contenitori;
- la protezione del campione da contaminazione derivante da cessione dei contenitori;
- un'adeguata temperatura di conservazione dei campioni;
- l'assenza di alterazioni biologiche nel corso dell'immagazzinamento e conservazione;
- l'assenza, in qualunque fase, di modificazioni chimico-fisiche delle sostanze;
- la pulizia degli strumenti ed attrezzi usati per il campionamento, il prelievo, il trasporto e la conservazione, dopo ogni campionamento.

Il prelievo del sedimento è stato effettuato mediante una benna Van Veen dotata di sportelli superiori, necessari per limitare il disturbo al sedimento e consentire il recupero dello strato superficiale, per ogni recupero dello strumento è stata redatta una scheda di campionamento con i dati inerenti la stazione e la descrizione macroscopica del sedimento. In ogni stazione è stato prelevato il livello superficiale (0 - 2 cm).

I sedimenti prelevati dallo strato superficiale sono stati preventivamente omogeneizzati in situ e suddivisi in differenti sub-campioni destinati alle successive analisi microbiologiche, fisiche, chimiche ed ecotossicologiche. I campioni da destinare alle analisi microbiologiche, prelevati rispettando le condizioni di sterilità, sono stati posti all'interno di contenitori sterili e immediatamente conservati e trasportati a +4°C. Per le analisi fisiche il campione è stato raccolto in contenitori di plastica, trasportato e conservato a temperatura compresa tra +4°C e +6°C. I sedimenti destinati alle analisi chimiche sono stati raccolti in contenitori in HDPE, trasportati e conservati a temperatura <20°C. Per le analisi ecotossicologiche il sedimento è stato raccolto in contenitori in HDPE, trasportato e conservato a temperatura compresa tra +4°C e +6°C.

In Tabella 1.2.1.1.2 sono riportate le coordinate geografiche, l'orario e la profondità delle stazioni di campionamento.

Tabella 1.2.1.1.2 Sedimenti (caratterizzazione fisica, chimica, ecotossicologica e microbiologica): coordinate geografiche, data e ora di campionamento e relativa profondità delle stazioni.

Stazione	Latitudine GG PP.dd	Longitudine GG PP.dd	Data	Ora hh:mm	Profondità (m)
A08	40°39.416'N	14°43.307'E	19/05/2020	10:43	15
A11	40°38.835'N	14°42.967'E	19/05/2020	11:27	25
A14	40°40.068'N	14°45.900'E	19/05/2020	9:30	7.9
A17	40°39.252'N	14°47.290'E	18/05/2020	15:50	10
A20	40°34.345'N	14°41.856'E	22/05/2020	16:02	229
A21	40°32.110'N	14°39.142'E	25/05/2020	11:48	470
A22	40°32.173'N	14°41.986'E	22/05/2020	12:22	393
A23	40°32.223'N	14°44.913'E	22/05/2020	10:46	247
A24	40°29.762'N	14°42.136'E	25/05/2020	9:46	373
A47	40°37.755'N	14°41.507'E	25/05/2020	16:32	61
A50	40°38.070'N	14°39.609'E	25/05/2020	15:20	51
A53	40°38.605'N	14°38.157'E	25/05/2020	14:42	25
A59	40°36.961'N	14°49.240'E	18/05/2020	15:00	20
A62	40°34.055'N	14°52.008'E	18/05/2020	14:07	21
A65	40°31.021'N	14°54.521'E	18/05/2020	13:10	12
A68	40°27.803'N	14°56.487'E	18/05/2020	12:15	10
A74	40°35.556'N	14°40.677'E	19/05/2020	13:25	138
A75	40°34.058'N	14°44.013'E	19/05/2020	16:10	148
A76	40°31.557'N	14°46.182'E	22/05/2020	9:31	194
A72	40°38.702'N	14°45.207'E	19/05/2020	10:07	24

Per l'analisi del macrobenthos, il campionamento è stato effettuato seguendo i protocolli di analisi dell'ISPRA, sia nella fase di campionamento che successiva analisi di laboratorio. Il sedimento è stato campionato con una benna Van Veen con area di presa di 0,1 m² ed una capacità di 25 litri, prelevando in ogni stazione tre repliche, al fine di raggiungere un volume minimo totale rappresentativo (Picard, 1965). Il campionamento è stato realizzato, secondo la metodica descritta da Holme e McIntyre (1984). La benna è uno strumento studiato per eseguire prelievi puntiformi di volumi paragonabili di sedimento su superfici uguali; la benna van Veen è semplice e affidabile, adatta alla raccolta di campioni di substrati mobili a granulometria fine.

Ad ogni bennata, il campione di sedimento prelevato è stato vagliato a bordo tramite risciacquo in acqua marina corrente su un setaccio con maglia di 1 mm e la frazione trattenuta (macrozoobentonica, secondo Stirn, 1982) è stata fissata in etanolo all'80% e conservata in contenitori di polietilene, etichettati con il nome della stazione, il numero della replica e la data.

Il campionamento dei sedimenti per la caratterizzazione della comunità macrozoobentonica è stato effettuato sulle seguenti stazioni: A08, A11, A14, A17, A72, A47, A50, A53, A59, A62, A65, A68, A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75, A76, per ogni stazione sono state fatte tre repliche.

In tabella 1.2.1.1.3 sono riportate le informazioni relative ai campionamenti effettuati.

Per l'analisi delle comunità bentoniche, lo studio è stato effettuato dividendo le varie aree d'indagine che corrispondono all'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio, area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione e l'area di immersione dei sedimenti dragati. L'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione è a sua volta divisa in due, a causa dell'eterogeneità del substrato e la distanza fisica che comporta una notevole diversità nella comunità macrozoobentonica. La comunità di ciascuna area è stata analizzata sia dal punto di vista strutturale che ambientale.

Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio stazioni:

- 1) A08, A11, A14, A17, A72 prospicienti il porto commerciale di Salerno

Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione dei sedimenti:

- 1) A47, A50, A53 costiera amalfitana
- 2) A59, A62, A65, A68 litorale piana del Sele

Area di Immersione dei sediment dragati:

- 1) A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75, A76

Tabella 1.2.1.1.3 Sedimenti (caratterizzazione fisica, chimica, ecotossicologica, microbiologica e delle comunità macrozoobentoniche): coordinate geografiche, data e ora di campionamento e relativa profondità delle stazioni.

Stazione	Data	Replica	Ora hh:mm	Latitudine GG PP.dd	Longitudine GG PP.dd	Profondità (m)
A08	19/05/2020	1	10:43	40°39.416'N	14°43.307'E	15
		2	10:50	40°39.412'N	14°43.309'E	15
		3	11:05	40°39.379'N	14°43.395'E	15
A11	19/05/2020	1	11:27	40°38.835'N	14°42.967'E	25
		2	11:35	40°38.946'N	14°42.385'E	25
		3	11:40	40°38.867'N	14°43.025'E	24
A14	19/05/2020	1	9:30	40°40.068'N	14°45.912'E	8
		2	9:40	40°40.056'N	14°45.916'E	8
		3	9:45	40°40.049'N	14°45.914'E	8
A17	18/05/2020	1	15:50	40°39.252'N	14°47.290'E	10
		2	15:55	40°39.270'N	14°47.237'E	10
		3	16:00	40°39.261'N	14°47.231'E	10
A72	19/05/2020	1	10:07	40°38.702'N	14°45.207'E	24
		2	10:15	40°38.708'N	14°45.210'E	23
		3	10:18	40°38.714'N	14°45.217'E	24
A20	22/05/2020	1	16:02	40°34.345'N	14°41.856'E	229
		2	16:20	40°34.266'N	14°42.087'E	229
		3	16:45	40°34.287'N	14°42.005'E	231
A21	25/05/2020	1	11:48	40°32.110'N	14°39.142'E	470
		2	12:27	40°32.082'N	14°39.148'E	472
		3	13:07	40°32.089'N	14°39.190'E	470
A22	22/05/2020	1	12:22	40°32.173'N	14°41.986'E	393
		2	14:20	40°32.157'N	14°42.002'E	393
		3	15:02	40°32.195'N	14°41.980'E	393

A23	22/05/2020	1	10:46	40°32.223'N	14°44.913'E	247
		2	11:18	40°32.281'N	14°44.971'E	240
		3	11:38	40°32.193'N	14°44.814'E	253
A24	25/05/2020	1	9:46	40°29.762'N	14°42.136'E	373
		2	10:20	40°29.804'N	14°42.195'E	373
		3	10:43	40°29.730'N	14°42.076'E	375
A47	25/05/2020	1	16:32	40°37.755'N	14°41.507'E	61
		2	16:39	40°37.764'N	14°41.490'E	57
		3	16:45	40°37.751'N	14°41.480'E	59
A50	25/05/2020	1	15:20	40°38.070'N	14°39.609'E	51
		2	15:26	40°38.051'N	14°39.634'E	51
		3	15:31	40°38.042'N	14°39.653'E	51
A53	25/05/2020	1	14:42	40°38.605'N	14°38.157'E	25
		2	14:46	40°38.611'N	14°38.166'E	24
		3	14:49	40°38.605'N	14°38.175'E	24
A59	18/05/2020	1	15:00	40°36.961'N	14°49.240'E	20
		2	15:10	40°36.958'N	14°49.146'E	21
		3	15:15	40°36.924'N	14°49.141'E	22
A62	18/05/2020	1	14:07	40°34.055'N	14°52.008'E	21
		2	14:20	40°33.940'N	14°51.987'E	22
		3	14:25	40°33.962'N	14°52.039'E	21
A65	18/05/2020	1	13:10	40°31.021'N	14°54.521'E	12
		2	13:15	40°31.081'N	14°54.458'E	12
		3	13:20	40°31.108'N	14°54.468'E	12
A68	18/05/2020	1	12:15	40°27.803'N	14°56.487'E	10
		2	12:30	40°27.859'N	14°56.039'E	13
		3	12:45	40°27.911'N	14°55.806'E	14
A74	19/05/2020	1	13:25	40°35.556'N	14°40.677'E	138
		2	13:51	40°35.592'N	14°40.746'E	136
		3	14:30	40°35.607'N	14°40.804'E	131
A75	19/05/2020	1	16:10	40°34.058'N	14°44.013'E	148
		2	16:25	40°34.073'N	14°44.015'E	146
		3	16:45	40°34.086'N	14°44.014'E	145
A76	22/05/2020	1	9:31	40°31.557'N	14°46.182'E	194
		2	9:52	40°31.536'N	14°46.066'E	205
		3	10:12	40°31.492'N	14°45.942'E	216

1.2.2 Analisi per la caratterizzazione fisica

Determinazione del contenuto d'acqua e del peso specifico

La determinazione del contenuto di umidità residua è stata eseguita come riportato nel D.M. 185 del 13/09/99, mediante perdita di peso per essiccamento. La percentuale d'acqua contenuta nel sedimento è ottenuta dal rapporto tra il peso del sedimento umido e il peso secco, ottenuto in stufa alla temperatura di 105°C per almeno 8 ore.

La determinazione del peso specifico si basa sul rapporto tra il peso del campione di sedimento e il rispettivo volume ed è espresso in g/cm³.

1.2.3 Analisi per la caratterizzazione chimica

Le analisi chimiche sono state effettuate considerando tutti i parametri chimici previsti dal DM n. 173 del 15 luglio 2016 “Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”. I risultati analitici ottenuti sono stati successivamente elaborati mediante il *software* SediQualsoft 109.0®, applicando i criteri di integrazione ponderata per determinare l'indice di pericolo chimico HQC, utilizzato per l'integrazione finale con i risultati ecotossicologici e la classificazione della qualità dei sedimenti (allegato tecnico del DM 173/2016).

Determinazione della materia organica totale

La materia organica totale è stimata attraverso il metodo per calcinazione. Esso consiste nella valutazione della differenza tra il peso del sedimento essiccato a 105°C per otto ore e il peso del residuo dopo combustione in muffola a 450°C per quattro ore.

Determinazione dell'azoto totale (TN)

La determinazione dell'azoto totale è stata condotta mediante metodi conformi alle specifiche approvate dal DM del 13/09/1999 del Ministero per le Politiche Agricole (Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo"), utilizzando un analizzatore elementare Perkin Elmer 2400 (Series II, CHNSO elemental analyzer). Il metodo prevede una completa ed istantanea ossidazione del campione per "*flash combustion*", con conseguente conversione di tutte le sostanze organiche ed inorganiche in prodotti gassosi. I gas di combustione vengono fatti passare in corrente di elio su uno strato di opportuno catalizzatore per completare il processo di ossidazione, e quindi su strato di rame per allontanare l'eccesso di ossigeno e per ridurre gli ossidi di azoto ad azoto molecolare (N₂). Successivamente, la miscela gassosa viene separata per gascromatografia e CO₂, N₂, H₂O e SO₂ vengono rilevati da un detector a conducibilità termica.

Nello specifico, la determinazione dell'azoto totale è stata effettuata depositando aliquote pari a circa 4 mg dei sedimenti essiccati alla temperatura di 55°C per almeno 8 ore direttamente all'interno dell'analizzatore elementare automatico, previa taratura dello stesso utilizzando soluzioni standard pure di Acetanilide, come descritto da Buurman et al. (1996). Il risultato finale viene espresso in mg/g di azoto e riferiti al peso secco (ps). Il limite di determinazione (LOD) è pari a 0.1 mg/g (ps).

Determinazione del fosforo totale (TP)

L'analisi del fosforo totale è stata effettuata secondo specifiche analoghe a quanto descritto da Hansen e Koroleff (1999). In breve, circa 100 mg di sedimento sono stati calcinati in muffola a 450°C per 4 ore. Al sedimento sono stati aggiunti 10 ml di HCl 1 M, e il campione è stato posto in agitazione per 16 ore a Temperatura ambiente. Dopo centrifugazione (4000 rpm, 15 min), la determinazione analitica del contenuto di fosforo totale è stata eseguita nel surnatante mediante metodo spettrofotometrico. Nello specifico, l'ortofosfato (PO_4^{3-}) si determina con il metodo spettrofotometrico al blu di molibdeno, come descritto nel metodo 4110 dei protocolli IRSA-CNR (APAT Manuali e Linee Guida 29/2003), attraverso il kit di determinazione analitica Hach-Lange LCK 348 ed il Fotometro Hach-Lange DR3900 ed applicando le specifiche fornite dal costruttore. Gli ioni fosfato reagiscono con il molibdato di ammonio ed il potassio antimonil tartrato, in ambiente acido, formando un eteropoliacido che viene ridotto con acido ascorbico a blu di molibdeno, intensamente colorato, la cui assorbanza viene misurata alla lunghezza d'onda di 850 nm. Il risultato finale viene espresso in mg/g di fosforo e riferiti al peso calcinato (pc). Il limite di determinazione (LOD) è pari a 0.002 mg/g (pc).

Determinazione dei metalli

Per la determinazione dei metalli, tra cui alluminio (Al), arsenico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), ferro (Fe), manganese (Mn), mercurio (Hg), nichel (Ni), piombo (Pb), rame (Cu), vanadio (V) e zinco (Zn), i campioni di sedimento sono stati accuratamente mescolati al fine di renderli omogenei, ed aliquote pari a circa 10 g sono state poste in idonee piastre petri in vetro, pesate (peso umido) e mantenute in stufa alla Temperatura di $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$ per almeno 8 ore, al fine di ottenere un peso costante; successivamente i campioni sono stati recuperati e nuovamente pesati (peso secco); il peso umido ed il peso secco dei campioni consente di calcolare il contenuto d'acqua interstiziale associata ai sedimenti, utile a convertire in peso secco le aliquote umide destinate ad altre determinazioni analitiche. Per ciascun punto di prelievo è stata processata una replica di sedimento. I campioni sono stati quindi polverizzati con l'ausilio di un mortaio, ed aliquote omogenee pari a circa 0.5 g sono state trasferite in appositi contenitori per mineralizzazione sotto pressione in forno a microonde, previa addizione di 2 ml di H_2O_2 e 5 ml di HNO_3 . La mineralizzazione è stata condotta mediante sistema a microonde *CEM Mars 5* (*CEM Corporation*), dotato di sistema controllo e regolazione di

Temperatura e potenza delle microonde. Al termine del ciclo di mineralizzazione i campioni sono stati raffreddati a Temperatura ambiente quindi recuperati e portati a volume noto, con acqua ultrapura (10 ml).

La determinazione analitica dei metalli è stata effettuata mediante tecniche di spettrofotometria ad assorbimento atomico; Cu, Fe, Mn e Zn sono stati determinati mediante atomizzazione in fiamma con spettrofotometro *SpectrAA 220FS (Agilent Technologies)*, mentre Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb e V sono stati analizzati mediante spettrofotometro *SpectrAA 240Z (Agilent Technologies)*, munito di elettrofornece GTA120 con microforno di grafite ed effetto Zeeman: Quando necessario l'interferenza della matrice è stata risolta utilizzando apposite soluzioni di modificatori di matrice (palladio 1 g l^{-1} , 10% acido citrico, 20% HNO_3), mentre le interferenze spettrali sono state verificate utilizzando standardizzazioni con metodo delle aggiunte. La determinazione del mercurio (Hg) è stata eseguita tramite generazione di vapori freddi utilizzando un apposito analizzatore di mercurio *CETAC QuickTrace M-6100 Mercury Analyzer (Agilent Technologies)* munito di auto campionatore *ASX-130*.

Tutte le determinazioni analitiche sono state effettuate previa calibrazione della strumentazione analizzando apposite soluzioni di bianco e standard di riferimento a concentrazione nota e certificata; i risultati finali sono stati espressi in $\mu\text{g/g}$ (peso secco).

La determinazione dei composti organici dello stagno, è stata effettuata utilizzando un'aliquota omogenea di ciascun campione, pari a circa 2-3 g, addizionata con una soluzione di *n*-esano:acetone (2:1) in un rapporto di 1:3, peso campione rispetto al volume di solvente (m:v). Successivamente, i campioni sono stati estratti utilizzando un sistema di estrazione controllata a microonde, alla Temperatura di 110°C per 15 minuti (*Microwave Digestion and Extraction System Mars-5, CEM Corporation*). Le soluzioni così ottenute sono state concentrate a secchezza, mediante un evaporatore centrifugo (*SpeedVack Juan RC 1009*), alla Temperatura ambiente. Infine, i campioni sono stati solubilizzati in 1 ml di acido nitrico (HNO_3) e portati a volume noto (2 ml) con acqua ultrapura. Per la quantificazione del TBT, un'aliquota dell'estratto è stata trattata con NaOH 10M per la precipitazione e l'allontanamento delle specie mono- e di- butilate. La successiva determinazione analitica è stata effettuata mediante le tecniche di spettrofotometria ad assorbimento atomico precedentemente descritte, utilizzando tecniche di assorbimento atomico con microforno di grafite ed effetto Zeeman, mediante l'uso di modificatore di matrice (palladio 1 g l^{-1} , 10% acido citrico, 20% HNO_3) e applicando standardizzazione con metodo delle aggiunte. Il risultato finale è stato espresso in $\mu\text{g/g}$ (peso secco), convertendo il peso umido dei campioni in peso secco, mediante il contenuto d'acqua determinato in precedenza.

Determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

La determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nei campioni di sedimento è stata effettuata utilizzando un'aliquota omogenea di campione, pari a circa 2-3 g (peso umido). Al momento della preparazione, i campioni sono stati addizionati con 5 ml di una soluzione di KOH 0.5 M in metanolo puro per cromatografia liquida e mantenuti in agitazione per almeno 8 ore, al fine di operare una preliminare estrazione solido-liquido. Il completamento dell'estrazione è stato eseguito mediante microonde a 55°C per 15 min (*Microwave Digestion and Extraction System Mars-5, CEM*). I campioni sono stati concentrati a circa 0.5 ml mediante centrifuga evaporante (*Speedvack, Juan*), a 45°C per 60-120 min, successivamente purificati attraverso una cromatografia a bassa pressione con resine per estrazione in fase solida (SPE) del tipo *Backerbond SPE C18* (500 mg, 6 ml) ed infine recuperati in 1 ml di acetonitrile puro per cromatografia liquida. Tale purificazione è stata effettuata utilizzando il sistema automatico *Gilson Aspec GX271 (Gilson Inc.)*. Le determinazioni analitiche sono state effettuate mediante tecniche di cromatografia liquida ad elevate prestazioni (HPLC) utilizzando un sistema di pompe per gradiente binario e coppia di detector in Fluorescenza e serie di diodi *Agilent Infinity 1260 Series (Agilent Technologies)*.

L'analisi è stata condotta mediante gradiente dinamico utilizzando acqua ultrapura e acetonitrile come fasi mobili. Il volume di campione iniettato è stato pari a 20 µl ed è garantito costante per tutte le analisi utilizzando un apposito auto campionatore. La determinazione qualitativa e quantitativa degli analiti è stata eseguita attraverso il confronto dei cromatogrammi e dei segnali, con quelli ottenuti iniettando soluzioni standard a concentrazioni note e scalari, preparate utilizzando una miscela di idrocarburi aromatici puri (EPA 610, Supelco). Gli analiti determinati mediante il metodo appena descritto possono essere classificati in IPA a basso peso molecolare (acenaftene, acenaftilene, antracene, fenantrene, fluorene e naftalene), IPA ad alto peso molecolare (benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantrene, benzo(g,h,i)perilene, benzo(k)fluorantrene, crisene, dibenzo(a,h)antracene, fluorantrene, indeno(1,2,3-cd)pirene, pirene) ed alcuni IPA metilati (1-metilnaftalene, 2-metilnaftalene e 7,12-dimetilbenzo(a)antracene); l'accuratezza e la precisione analitica sono state verificate analizzando apposite soluzioni di bianco e standard di riferimento (SRM-NIST 1944). Le concentrazioni sono espresse in ng/g di campione (peso secco).

Determinazione degli idrocarburi alifatici totali (C₁₀-C₄₀)

La determinazione di idrocarburi alifatici totali (C₁₀-C₄₀) è stata effettuata mediante tecniche di gascromatografia (GC); aliquote pari a circa 2-3 g per ciascun campione di sedimento sono state addizionate con una soluzione di *n*-esano:acetone (2:1) in un rapporto di 1:3, peso campione rispetto al volume di solvente (m:v). Dopo una vigorosa agitazione, i campioni sono stati estratti utilizzando un sistema di estrazione controllata a microonde, alla Temperatura di 110°C per 15 minuti (*Microwave Digestion and*

Extraction System Mars-5, CEM Corporation).

Le soluzioni così ottenute sono state purificate con tecniche di estrazione in fase solida (SPE) utilizzando resine di estrazione del tipo Strata-X (*Phenomenex, Strata-X 33u Polymeric Reversed Phase*) da 500 mg e 6 ml, oltre a resine del tipo Strata-FL (*Phenomenex, FL-PR*) da 1000 mg e 6 ml, utilizzando il sistema automatico *Gilson Aspec GX271*. I campioni eluiti con l'ausilio di soluzioni di acetone ed esano sono stati raccolti in appositi tubi pyrex e quindi posizionati all'interno di un evaporatore centrifugo (*SpeedVack Juan RC 1009*), dove sono stati concentrati fino a secchezza, alla Temperatura ambiente. Infine, i campioni sono stati solubilizzati in 1 ml di *n*-esano. L'analisi degli idrocarburi alifatici è stata effettuata mediante gascromatografia con detector a ionizzazione di fiamma (FID) (*Perkin Elmer Clarus 500*); la determinazione quantitativa è stata effettuata calibrando il sistema mediante uno standard puro costituito da un mix di specie chimiche di idrocarburi con pari numero di carbonio da C₁₀ a C₄₀, lineari ed insaturi, conforme alle specifiche EN ISO 9377-3; i risultati finali sono stati espressi in µg/g (peso secco).

Determinazione di pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili (PCB), polibromo-difenil eteri ed altri ritardanti di fiamma organo brominati.

Nella tabella 1.2.1.1 viene riportata la lista completa dei pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili, polibromo-difenil eteri ed altri ritardanti di fiamma organo brominati che sono stati analizzati nei sedimenti. La preparazione dei campioni di sedimento è analoga a quella già descritta nel precedente paragrafo (Determinazione degli idrocarburi alifatici totali C₁₀-C₄₀). Per quanto riguarda le determinazioni analitiche, queste sono state effettuate mediante gascromatografia accoppiata a spettrometro di massa con singolo quadrupolo (Agilent Technology). Al fine di garantire l'accuratezza e la precisione delle determinazioni, durante ogni sessione analitica sono state processate soluzioni di bianco preparate con le stesse procedure descritte per i campioni, apposite soluzioni a diverse concentrazioni di standard analitici puri, oltre a standard di riferimento (SRM-NIST 1944) a concentrazione nota e certificata, e miscele di standard puri a concentrazioni note delle varie classi di contaminanti. Le concentrazioni sono state espresse in ng/g riferite al peso secco dei campioni.

Tabella 1.2.1.1. Elenco dei contaminanti organici persistenti analizzati.

<u>Pesticidi clorurati (EPA 8081)</u>	<u>Fenoli clorurati</u>	<u>PCB (continua):</u>
Aldrina	2-Clorofenolo	PCB70
α -Clordano	4-Clorofenolo	PCB77
γ -Clordano	2,4-Diclorofenolo	PCB81
p,p'-DDD	2,4,6-Triclorofenolo	PCB90
p,p'-DDE		PCB101
p,p'-DDT		PCB105
Dieldrina	<u>Clorobifenili</u>	PCB118
Endosulfano I		PCB126
Endosulfano II	2-Clorobifenile	PCB127
Endosulfano (solfato)	3-Clorobifenile	PCB128
Endrina	4-Clorobifenile	PCB130
Endrina (aldeide)		PCB138
Endrina (chetone)		PCB146
Eptacloro	<u>Policlorobifenili (PCB):</u>	PCB153
Eptacloro (epossido)		PCB156
α -Lindano	PCB4	PCB169
β -Lindano	PCB7	PCB170
δ -Lindano	PCB8	PCB175
γ -Lindano	PCB11	PCB180
Metossicloro	PCB13	PCB182
	PCB15	PCB187
	PCB16	PCB195
<u>Altri pesticidi clorurati</u>	PCB17	PCB206
	PCB18	PCB209
Diclorobenzidina	PCB19	
Esaclorobenzene	PCB23	
Esaclorobutadiene	PCB26	<u>Polibromodifelineteri ed altri</u>
Mirex	PCB28	<u>ritardanti di fiamma brominati</u>
	PCB32	
	PCB33	PBDE28
<u>Pesticidi organofosfati</u>	PCB36	PBDE47
	PCB38	PBDE99
Azinphos-methyl	PCB40	PBDE100
Chlorpyrifos	PCB42	PBDE153
Dichlorvos	PCB44	PBDE154
Disulfoton	PCB45	PBDE183
Ethoprophos	PCB46	Esabromociclododecano
Fenclorophos	PCB47	Tetrabromobisfenolo-A
Metilparathion	PCB52	
Metolcarb	PCB58	
Prothiofos	PCB66	



stazione
zoologica
anton dohrn
napoli

Ulteriori informazioni tecniche sull'esecuzione delle analisi chimiche (materiale standard certificato e percentuale di recupero, limite di quantificazione, incertezza estesa, valutazioni di QA/QC)

I metodi di preparazione dei campioni e di determinazione analitica descritti sono stati accuratamente testati e validati analizzando periodicamente soluzioni di bianco (solo reagenti puri trattati nelle medesime condizioni dei campioni analitici) ed apposite matrici di riferimento con standard certificati. Per quanto riguarda i bianchi, questi hanno sempre mostrato risultati al di sotto dei limiti di misurazione strumentale, lasciando quindi escludere fenomeni di inavvertita contaminazione o di interferenze analitiche non conosciute.

Per quanto concerne invece le matrici certificate di riferimento, sono state utilizzati appositi standard tra i quali: NIST 1944 (New York/New Jersey Waterway Sediment), NIST 2976 (Trace elements and Methylmercury in Mussel Tissues), NIST 2974a (Organics in freeze-dried mussel tissue), ERM-CE278k (Certified Reference Material, Mussel Tissue). Aliquote di questi standard sono state preparate ed analizzate periodicamente con le medesime condizioni descritte in precedenza. L'errore analitico, seppur con alcune variazioni che dipendono dalle differenti metodologie adottate, si aggira sempre tra circa 1.5% e 3%, determinato come coefficiente di variazione percentuale della deviazione standard riferita alla media dei valori ottenuti su un numero di repliche pari ad almeno 5; tale incertezza rientra pertanto sempre abbondantemente all'interno del range di variabilità descritto per i valori certificati (deviazioni standard). Le rese analitiche risultano generalmente sempre comprese tra il 95% ed il 97% dei valori certificati.

1.2.4 Analisi ecotossicologiche

Le analisi ecotossicologiche dei sedimenti sono state effettuate applicando una batteria di saggi (bioluminescenza batterica in fase solida, crescita algale ed embriotossicità su fase liquida), secondo quanto previsto dal DM n. 173 del 15 luglio 2016 “*Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini*”. I risultati analitici ottenuti sono stati successivamente elaborati mediante il software SediQualsoft 109.0[®], applicando i criteri di integrazione ponderata per determinare l'indice di qualità ecotossicologica HQ_{batteria}, utilizzato per l'integrazione finale con i risultati chimici e la classificazione della qualità dei sedimenti (allegato tecnico del DM 173/2016).

Saggio biologico con *Vibrio fischeri* in fase solida

Vibrio fischeri è un batterio marino Gram-negativo ed eterotrofo, appartenente alla famiglia delle Vibrionaceae. È cosmopolita, ma con maggior diffusione nelle fasce temperate e subtropicali.

Il sistema Microtox[®] è un test biologico di tossicità acuta basato sulla misura della bioluminescenza naturale di questa specie. Poiché in presenza di contaminanti l'emissione di luce da parte di *V. fischeri* diminuisce, l'eventuale inibizione della bioluminescenza a seguito dell'esposizione del batterio ad una sostanza nota o ad un campione naturale di acqua o sedimento, consente di valutare il grado di tossicità della sostanza o della matrice testata.

Il sistema di misura risulta piuttosto versatile in quanto è applicabile a matrici naturali, in particolare acquose (acqua interstiziale, elutriato, ecc.) e solide (fanghi, sedimenti), nonché a soluzioni acquose di sostanze tossiche pure sia organiche che inorganiche.

Protocolli di riferimento e procedura adottata

Questo saggio è stato applicato entro 7 giorni dal campionamento direttamente alla fase solida, preparata per semplice centrifugazione refrigerata (1200 xg a 4°C per 30'), eliminando successivamente l'acqua interstiziale come sovrantante.

Il metodo utilizzato è riconducibile al protocollo standard ISO 11348 (2006). In particolare, ai campioni di sedimento centrifugato è stato applicato il protocollo *Solid Phase Test* (SPT) con la procedura *Large Sample Method* (Azur Environmental, 1995) organizzato con 9-12 diluizioni e 3 controlli a seconda della granulometria del campione. Il test prevede una prima esposizione di 20 minuti durante i quali i batteri si trovano a diretto contatto con il sedimento ed una seconda fase di ulteriori 10 minuti in cui la risospensione batterica viene incubata nel luminometro.

Poiché il test in fase solida viene effettivamente applicato sulla frazione granulometrica < 1 mm e poiché la componente naturale della tossicità è funzione della frazione pelitica, l'analisi granulometrica è stata necessaria per la valutazione del reale livello di tossicità acuta.

L'emissione della bioluminescenza è stata misurata all'interno del luminometro M500, dotato di pozzetti termostatati a 15 °C per i controlli e i campioni, e a 4°C per il reagente. La relazione dose-risposta, ovvero concentrazione del campione-inibizione della bioluminescenza, è stata elaborata mediante il software dedicato (Microtox Omni™ v. 1.16).

Caratteristiche granulometriche dei sedimenti testati in fase solida

Per la determinazione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti marini necessarie per la normalizzazione del saggio, ogni campione (circa 70 g) è stato trattato con una soluzione di perossido di idrogeno ed acqua distillata (1:8) per 48 h a Temperatura ambiente, per facilitare la separazione dei granuli. Successivamente il campione di sedimento è stato setacciato su maglia 63 µm in umido con acqua distillata, al fine di ottenere la separazione di due frazioni, che sono state essiccate in stufa a 60°C ed infine pesate. Dopo questa prima fase di separazione, si è proceduto con la separazione del sedimento con granulometria > 63 µm (sabbia e ghiaia) con pile di setacci da 2000, 1000, 500, 250, 125 e 63 µm; si è pesato il sedimento corrispondente a ciascun intervallo e al termine delle operazioni si è calcolata la percentuale delle varie frazioni all'interno del campione.

Preparazione dell'elutriato per i saggi in fase liquida

L'elutriato è stato preparato entro 7 giorni dalla data di campionamento. In accordo con il protocollo standard US EPA (1991) quattro parti di acqua di mare filtrata sono state combinate in peso con una parte di sedimento; dopo agitazione per 1 h a 400 giri/min, la fase liquida è stata raccolta e centrifugata per 20 min a 1200 xg. Subcampioni di surnatante sono stati congelati e utilizzati nei vari test, in modo da impiegare sempre lo stesso campione nel corso dei vari esperimenti. Il congelamento infatti non altera in modo significativo le caratteristiche dei nutrienti (NO₃ e PO₄) della fase liquida (Clementson e Wayte, 1992) e non determina differenze significative tra la tossicità di campioni di matrici acquose appena estratte o congelate (Carr e Chapman, 1995). Il congelamento è pertanto un passaggio indispensabile per garantire la confrontabilità fra i dati sperimentali, in quanto permette di stoccare adeguatamente i subcampioni rendendoli disponibili per la ripetizione del saggio in periodi diversi.

*Saggio biologico con *Phaeodactylum tricorutum**

La metodica del saggio algale è stata aggiornata nella norma UNI ISO 10253 (2006) che prevede l'utilizzo di *Phaeodactylum tricorutum* Bohlin, o *Skeletonema costatum*. Entrambe le alghe possono essere impiegate utilizzando tale protocollo per saggi con elutriati, estratti da sedimento intero, con acqua sovranatante o interstiziale. Per i campioni in esame, il saggio biologico è stato eseguito con *P. tricorutum*.

Il principio del test consiste nell' esporre una coltura algale pura in fase di crescita esponenziale per diverse generazioni a concentrazioni note di campione, in condizioni fisico-chimiche standardizzate e con un

definito e omogeneo apporto di nutrienti. Al termine del periodo d'incubazione viene confrontata la crescita algale nel campione con quella del controllo.

Mantenimento della coltura algale madre e fasi preparatorie

Le colture cellulari madri sono state mantenute in opportuno mezzo di crescita con periodici rinnovi per mantenerle nella fase di crescita esponenziale. A partire dalla coltura madre, una pre-coltura con una Densità cellulare compresa tra 2×10^3 e 10^4 cells/ml è stata preparata 2-4 giorni prima dell'inizio del test ed incubata alle stesse condizioni previste per il test. La Densità cellulare raggiunta dalla pre-coltura è stata poi valutata immediatamente prima dell'utilizzo, per la preparazione della coltura di inoculo a Densità cellulare definita.

Metodologia di esecuzione del test

L'elutriato ottenuto da ciascun campione di sedimento è stato testato tal quale. Un'aliquota della coltura di inoculo è stata quindi addizionata alla soluzione test (elutriato puro) insieme ad una appropriata quantità di mezzo di coltura concentrato. La soluzione così ottenuta, con una Densità cellulare compresa tra 8×10^3 e 1.2×10^4 cells/ml, è stata distribuita in triplice replica in piastre monouso sterili a 6 pozzetti (Environment Canada, 1992) e posta per 72h in camera termostatica a $20 \pm 2^\circ\text{C}$, con regime di illuminazione continua del tipo cool white e con una intensità compresa tra 7.000 e 8.000 lux.

Acqua di mare naturale filtrata, è stata considerata come controllo negativo. In contemporanea, un controllo positivo è stato effettuato utilizzando bicromato di potassio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) come tossico di riferimento per controllare la procedura e la sensibilità del test. Al termine del prefissato periodo di incubazione è stata determinata la crescita algale di ogni replicato, attraverso letture al microscopio ottico.

Saggio di embriotossicità con *Crassostrea gigas*

Il test di embriotossicità è stato condotto con l'ostrica, *Crassostrea gigas*, e la matrice sottoposta alla valutazione ecotossicologica è stata l'elutriato testato tal quale (100%), preparato come già descritto precedentemente. Il metodo utilizzato è riconducibile al protocollo ICES (2013).

Reperimento degli organismi

Le ostriche (*C. gigas*) adulte sono state acquistate presso un impianto di acquacoltura (*Guernsey Sea Farms*) che garantisce la maturità sessuale dei bivalvi in qualsiasi periodo dell'anno. All'interno di una camera termostata, gli esemplari vengono posti in acquari di vetro contenenti acqua di mare dotati di un sistema di areazione e di filtraggio. Periodicamente vengono controllati Temperatura ($16 \pm 2^\circ\text{C}$), salinità (33‰ - 36‰), pH (7,8 - 8,2), ammoniaca e nitrati. In questo modo le ostriche sono mantenute in condizioni stabili.



Modalità di esecuzione del test di embriotossicità

La fase vera e propria del test consiste nell'ottenere gli zigoti attraverso l'unione della sospensione spermatica (concentrazione desiderata) con la sospensione di uova in un rapporto spermatozoi:uova di 10:1. Il saggio di embriotossicità viene eseguito esponendo una concentrazione fissa di uova fecondate alla soluzione test in cella termostatica al buio, a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ per 24h, al fine di garantire che tutti gli zigoti raggiungano lo stadio di larva nel controllo negativo. Il test viene fermato con fissativo di Lugol ed etanolo. La stima della percentuale di larve normali avviene contando 100 larve.

Elaborazione dei dati

L'effetto tossico del campione viene determinato dalla percentuale di embrioni malformati rispetto a un controllo di acqua di mare applicando la correzione di Abbott (ASTM, 1995). Il test viene considerato valido se la percentuale di larve normoformate nel controllo è superiore all' 80% del totale degli embrioni contati.

1.2.5 Applicazione dei criteri di integrazione ponderata per l'elaborazione dei dati chimici ed ecotossicologici e la valutazione della classe di qualità

Criteri di integrazione ponderata per l'elaborazione dei dati chimici e la definizione dell'indice di pericolo chimico dei sedimenti

I risultati analitici ottenuti per i sedimenti sono stati elaborati mediante il software *SediQualsoft 109.0*[®], applicando i criteri di integrazione ponderata che sono stati recepiti dal DM n. 173 del 15 luglio 2016 “Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”. La successiva integrazione con i risultati ecotossicologici ha permesso di determinare la classificazione della qualità dei sedimenti mediante la procedura descritta nell'allegato tecnico del DM 173/2016.

I criteri di integrazione ponderata elaborano un indice di pericolo chimico complessivo basato sul confronto tra le concentrazioni delle sostanze misurate nei sedimenti ed i riferimenti normativi nazionali L1 e L2 (DM 173/2016), che valuta il numero dei contaminanti che eccedono tali riferimenti, la pericolosità di tali parametri, e l'entità dei superamenti misurati. Viene dunque abbandonata la logica del mero superamento del valore tabellare, anche minimo e da parte di un unico parametro, come principio fondamentale per la classificazione chimica.

Tutti i parametri chimici di cui è prevista l'analisi, hanno un “peso” (da 1 a 1.3) a seconda che non siano contemplati dalla Direttiva 2013/39/UE (peso 1), o che al contrario siano inseriti nella lista delle sostanze “prioritarie” (peso 1.1) o in quella delle sostanze “pericolose e prioritarie” (peso 1.3). Il diverso peso assegnato ai vari composti ha lo scopo di conferire una maggiore rilevanza nella classificazione chimica dei sedimenti alla variazione di quegli inquinanti che siano caratterizzati da una più elevata tossicità, tendenza al bioaccumulo e persistenza nell'ambiente (Piva et al., 2011; Benedetti et al., 2012).

L'elaborazione dei dati chimici inizia con il confronto delle concentrazioni misurate per ciascun parametro rispetto ai valori indicati nei riferimenti normativi. In funzione del riferimento, per ciascun parametro chimico analizzato, viene calcolata la variazione rispetto al limite, ovvero il *Ratio To Reference (RTR)* (equazione 3 del *flow-chart* di Figura 1.2.5.1); il valore di *RTR* viene corretto in funzione del “peso” del contaminante per ottenere un valore di *RTR_w* (equazione 4), al fine di enfatizzare l'importanza delle variazioni osservate per i contaminanti più pericolosi. Il calcolo dell'indice di pericolo quantitativo (*Hazard Quotient*), specifico per la caratterizzazione chimica dei sedimenti (*HQ_C*), è ottenuto dalla media di tutti gli *RTR_w* dei parametri con *RTR* ≤ 1 (cioè valori inferiori rispetto al limite del riferimento), addizionato con la sommatoria Σ degli *RTR_w* di tutti i contaminanti con *RTR* > 1 (equazione 5), dove *N* e *M* sono il numero dei parametri con *RTR* rispettivamente ≤ o > 1, mentre *j* e *k* sono indici che permettono di ripetere il calcolo per *N* o *M* volte (Piva et al., 2011; Benedetti et al., 2012).

L'indice chimico HQ_C è assegnato ad una classe di pericolo (da assente a molto alto), identificata da un diverso colore: Assente/bianco se $HQ_C < 0.7$; Trascurabile/verde se $0.7 \geq HQ_C < 1.3$; Basso/azzurro se $1.3 \geq HQ_C < 2.6$; Medio/giallo se $2.6 \geq HQ_C < 6.5$; Alto/rosso se $6.5 \geq HQ_C < 13$; Molto Alto/nero se $HQ_C \geq 13$ (equazione 6).

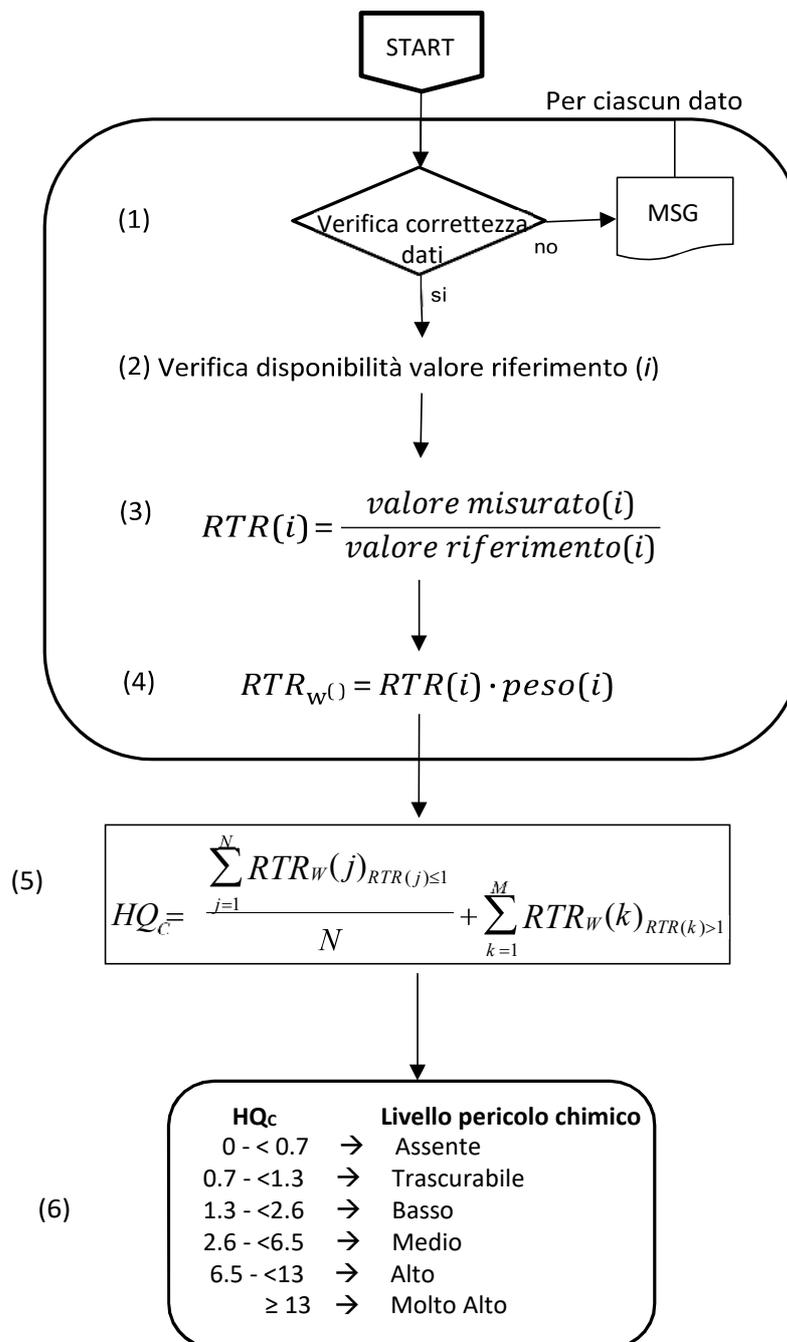


Figura 1.2.5.1. Flow-chart con la procedura per l'elaborazione dei dati di caratterizzazione chimica dei sedimenti.

Criteri di integrazione ponderata per l'elaborazione dei dati ecotossicologici e la definizione dell'indice di pericolo ecotossicologico dei sedimenti

L'elaborazione dei risultati ecotossicologici dei sedimenti è stata effettuata applicando i criteri di integrazione ponderata che sono stati recepiti dal D.M. n. 173 del 15 luglio 2016 *“Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”*.

Tali criteri considerano aspetti importanti e caratteristiche specifiche dei singoli saggi biologici utilizzati nella batteria, tra cui la rilevanza tossicologica della risposta biologica misurata, l'entità e la significatività statistica della differenza di effetto tra campione e controllo, la sensibilità della specie testata, la tipologia di esposizione (acuta o cronica) e la matrice testata. In questo senso, per ciascuno dei saggi previsti nelle diverse tipologie di batterie è prevista una “soglia” di effetto che rappresenta la variazione minima ritenuta biologicamente significativa per ciascuna condizione sperimentale, e dei “pesi” che vengono attribuiti a ciascun saggio in funzione della rilevanza biologica dell'end-point misurato, della durata dell'esposizione, della matrice testata (Piva et al., 2011; Benedetti et al., 2012).

Vengono di seguito descritti i passaggi e le procedure di calcolo per l'integrazione dei risultati e la formulazione del giudizio di tossicità di cui è riportato uno schema complessivo nella Figura 1.2.5.2:

- dopo la verifica dei dati, per ciascun saggio biologico viene calcolato l'effetto (E_i), inteso come variazione percentuale dell'endpoint misurato, compensato tramite la correzione di Abbott rispetto alle variazioni osservate nel controllo (equazione 2 del flow chart di Figura 1.2.5.2);
- l'effetto E_i viene corretto in base alla significatività statistica della variazione rispetto ai controlli, applicando il coefficiente Z (punto 3). Questa correzione riduce progressivamente il peso complessivo di un saggio non statisticamente significativo, ma non ne elimina completamente il contributo alla batteria;
- ciascun effetto (E_i) moltiplicato per il suo coefficiente Z , viene rapportato con la “soglia” specifica per quel saggio (equazione 4); l'effetto corretto (E_{i_w}) così ottenuto indica di quante volte la variazione misurata in un saggio supera quella ritenuta biologicamente rilevante;
- solo per determinati saggi, quando sia possibile ottenere un eventuale effetto ormetico (come nel caso della bioluminescenza batterica o della crescita algale), viene assegnato un valore di E_{i_w} pari a 0 se l'effetto ormetico è < 40%, 1.25 se l'effetto ormetico è > 40% ma < 100%, pari a 1.5 se l'effetto ormetico è >100%;
- l'indice di pericolo complessivo della batteria di saggi ecotossicologici (*Hazard Quotient*, $HQ_{Batteria}$) viene calcolato come sommatoria degli effetti pesati (E_{i_w}) dei singoli saggi (equazione 5 del flow-chart), ulteriormente corretti secondo il fattore W_2 che corrisponde al prodotto dei pesi assegnati in funzione della rilevanza biologica dell'endpoint considerato, della rilevanza ecologica della matrice testata, dell'esposizione acuta o cronica degli organismi.
- Per l'attribuzione del livello di pericolo derivante dalla batteria di saggi ecotossicologici, il valore ottenuto per l'indice $HQ_{Batteria}$ è normalizzato ad una scala compresa tra 0 e 10 (equazione 6), dove 1 corrisponde al

valore di soglia della batteria (cioè il valore di HQ che si otterrebbe se tutti i saggi della batteria mostrassero un effetto pari alla rispettiva soglia) e 10 corrisponde al valore massimo della batteria (quando tutti i saggi mostrano il 100% di effetto). A seconda del valore dell' $HQ_{Batteria}$ normalizzato, il livello di pericolo ecotossicologico viene attribuito ad una classe di gravità (da assente a molto alto), identificata da un diverso colore: Assente/bianco se $HQ_{Batteria} < 1$; Basso/azzurro se $HQ_{Batteria} \geq 1$ e < 1.5 ; Medio/giallo se $HQ_{Batteria} \geq 1.5$ e < 3 ; Alto/rosso se $HQ_{Batteria} \geq 3$ e < 6 ; Molto Alto/nero se $HQ_{Batteria} \geq 6$ (punto 6 del flow chart della Figura 1.2.5.2).

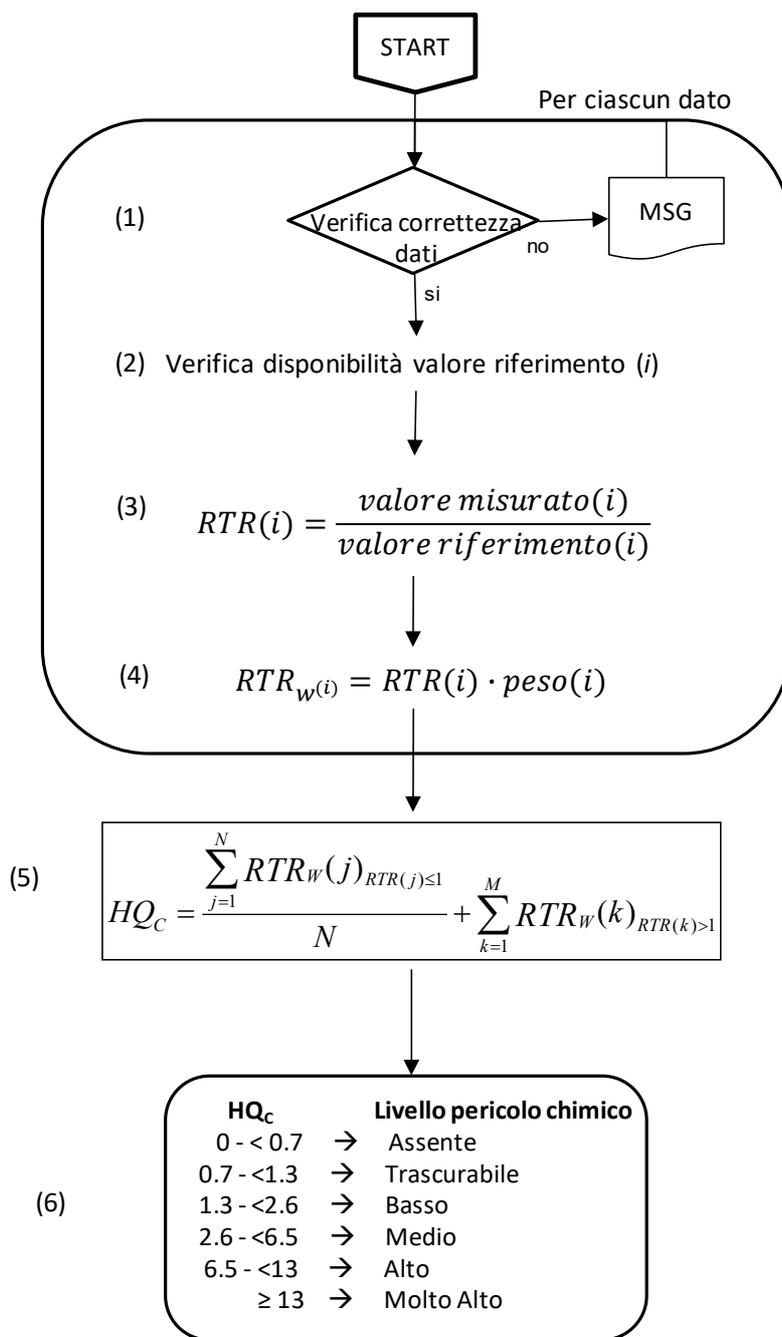


Figura 1.2.5.2. Flow-chart con la procedura per l'elaborazione dei dati delle analisi ecotossicologiche dei sedimenti

L'attribuzione della Classe di Qualità dei sedimenti è data dall'integrazione della classificazione chimica ed ecotossicologica ottenute attraverso l'applicazione dei criteri di integrazione ponderata descritti in precedenza. La classificazione ponderata (Tabella 1.2.5.1) e la successiva opzione di gestione sono state determinate mediante la procedura descritta nell'Allegato tecnico del DM 173 del 2016.

Tabella 1.2.5.1 - Classificazione della Qualità dei sedimenti secondo i criteri di integrazione ponderata; HQ_c = Hazard Quotient (chimico).

Classe di pericolo ecotossicologico	Classificazione chimica	Classe di Qualità del materiale
Assente	$HQ_c (L2) \leq$ Trascurabile	A
	Basso $\leq HQ_c (L2) \leq$ Medio	B
	$HQ_c (L2) =$ Alto	C
	$HQ_c (L2) >$ Alto	D
Basso	$HQ_c (L1) \leq$ Basso	A
	$HQ_c (L1) \geq$ Medio e $HQ_c (L2) \leq$ Basso	B
	Medio $\leq HQ_c (L2) \leq$ Alto	C
	$HQ_c (L2) >$ Alto	D
Medio	$HQ_c (L2) \leq$ Basso	C
	$HQ_c (L2) \geq$ Medio	D
\geq Alto	$HQ_c (L2) \leq$ Basso	D
	$HQ_c (L2) \geq$ Medio	E

1.2.6 Analisi microbiologiche

I metodi impiegati in questa indagine hanno permesso la determinazione dei batteri indici di contaminazione fecale e di alcuni batteri di interesse igienico-sanitario nei campioni di sedimento oggetto di indagine. Sono state, inoltre, condotte analisi per l'isolamento dei miceti. I miceti sono microrganismi ampiamente diffusi negli ambienti naturali e partecipano, assieme ai batteri, al riciclo della materia organica e sono coinvolti nei cicli biogeochimici. Alcune specie di miceti possono essere causa di patologie a carico di piante ed animali, uomo compreso. A seconda del tipo di microrganismi ricercati, i risultati delle analisi sono stati espressi come numero più probabile per grammo di peso secco di sedimento (*Most Probable Number* g⁻¹ p.s.) (MPN·g⁻¹ps), o come unità formanti colonia per grammo di sedimento peso secco (UFC·g⁻¹ps).

I campioni di sedimento sono stati sottoposti ad analisi per la ricerca di batteri indici di contaminazione fecale: Coliformi totali, Coliformi fecali, *Escherichia coli*, Streptococchi fecali tramite il metodo MPN (MPN g⁻¹ps). In funzione delle combinazioni di provette positive e negative in 3 repliche di diluizioni decimali del campione e dopo consultazione delle tabelle di MacCraday, realizzate in base al calcolo di probabilità statistiche, i risultati analitici sono stati espressi come MPN·g⁻¹ps. Tra gli indici di contaminazione fecale sono stati ricercati anche i Clostridi solfito-riduttori (spore comprese), i cui risultati sono stati espressi come unità formanti colonia UFC·g⁻¹ps). Sono stati, inoltre, ricercati mediante analisi qualitativa (presenza/assenza) di batteri appartenenti al genere *Salmonella* ed al genere *Staphylococcus*, con particolare attenzione verso i ceppi potenzialmente patogeni (produttori di coagulasi).

Coliformi totali

Per la ricerca dei Coliformi totali è stato utilizzato il terreno di coltura liquido Brodo Lattosato. Sono state allestite tre serie di cinque provette con campanelle di Durham, contenenti 10 ml di terreno di coltura liquido. Ciascuna serie è stata inoculata rispettivamente con aliquote equivalenti ad 1 g di campione tal quale, e 1 ml delle differenti diluizioni corrispondenti a 0,1, 0,01, 0,001 e 0,0001 g di sedimento ed incubata in termostato alla Temperatura di 37°C. Dopo 24-48 h le provette sono state sottoposte a controllo per verificare la presenza di Torbidità e la produzione di gas nelle campanelle di Durham, in seguito allo sviluppo di microrganismi capaci di fermentare il lattosio presente nel terreno di coltura. Le provette risultate positive sono state, poi, sottoposte alla prova di conferma. Per la prova di conferma è stato utilizzato il terreno Brodo Bile Verde Brillante (BBVB) costituito da brodo lattosato addizionato di bile al 2% e verde brillante. Aliquote di 0,1 ml dalle brodoculture di ciascun campione risultato positivo sono state inoculate in provette contenenti terreno BBVB ed incubate a 37°C per confermare la presenza di Coliformi totali (IRSA

7000-7010, 1994). In base alle provette positive, che evidenziavano Torbidità e produzione di gas, e dopo consultazione della tabella di *MacCrady*, è stato possibile calcolare la concentrazione di Coliformi totali per grammo di campione fresco. Considerando le percentuali di umidità dei campioni di sedimento fresco, le concentrazioni di Coliformi totali sono state, infine, espresse come MPN·g⁻¹ps.

Coliformi fecali

Anche per la ricerca dei Coliformi fecali è stato utilizzato il terreno di coltura Brodo Lattosato. Sono state allestite tre serie di cinque provette con campanelle di Durham, contenenti 10 ml di terreno di coltura liquido. Ciascuna serie è stata inoculata rispettivamente con aliquote equivalenti a 1 g di campione tal quale ed 1 ml delle differenti diluizioni corrispondenti a 0,1, 0,01, 0,001 e 0,0001 g di sedimento ed incubate in termostato alla Temperatura di 37°C. Dopo 24 e 48 ore le provette sono state sottoposte a controllo per verificare quelle positive con Torbidità e presenza di gas nelle campanelle di Durham, per lo sviluppo di microrganismi capaci di fermentare il lattosio presente nel terreno di coltura. Le provette positive sono state poi sottoposte alla prova di conferma, per evidenziare tra i microrganismi lattosio fermentanti i batteri Coliformi fecali. Per la prova di conferma è stato utilizzato il terreno Brodo Bile Verde Brillante (BBVB) (brodo lattosato addizionato di bile al 2% e verde brillante). Da ciascun campione risultato positivo sono state prelevate aliquote di 0,1 ml ed inoculate in terreno di coltura BBVB, incubando a 44°C per 24–48 h (IRSA 7000-7020, 1994). In base alle indicazioni ottenute dalle provette positive, con Torbidità e produzione di gas, ed in seguito alla consultazione della tabella di *MacCrady*, è stato possibile calcolare la concentrazione dei batteri Coliformi fecali per unità di peso fresco (1 g) del campione in esame. Considerando le percentuali di umidità dei campioni di sedimento fresco, le concentrazioni di Coliformi fecali sono state espresse come MPN·g⁻¹ps.

Escherichia coli

Dalle provette di brodo lattosato risultate positive si è proceduto all'inoculo di 0,1 ml di brodocoltura in provette contenenti 5 ml di acqua triptonata ed incubando a 44,5 ±0,2 °C per 24 ±2 h. Dopo incubazione, alle brodoculture sono stati aggiunti 0,2 ml di reattivo di Kovac: dopo 10 min, la formazione di un colore rosso scuro nella fase alcolica è indice di positività al test dovuta allo sviluppo di *E. coli* (IRSA 7000-7020, 1994). Considerando le percentuali di umidità dei campioni di sedimento fresco, le concentrazioni di *E. coli* sono state espresse come MPN·g⁻¹ps.

Streptococchi fecali (Enterococchi intestinali)

Per la ricerca presuntiva degli Streptococchi fecali è stato utilizzato il terreno di coltura Brodo Azide (brodo glucosato con azide sodica). Sono state allestite tre serie di cinque provette con 10 ml di brodo di coltura. Ciascuna serie è stata inoculata con 1 g di campione tal quale e 1 ml delle differenti diluizioni corrispondenti a 0,1, 0,01, 0,001 e 0,0001 g di sedimento ed incubate in termostato alla Temperatura di 37°C. Dopo 24-48 h di incubazione, le provette sono state controllate per verificare la presenza di Torbidità del terreno di coltura e la formazione di un deposito biancastro sul fondo. Le brodocolture risultate positive sono state, quindi, sottoposte a prova di conferma trasferendone un'aliquota di 0,1 ml in brodo glucosato contenente etilvioletto e azide sodica (EVA Broth) ed incubando a 36°C fino a 48 h. Sono state considerate positive le brodocolture che evidenziavano Torbidità e formazione di un deposito violetto (IRSA 7000-7040, 1994). Dalla combinazione delle provette confermate positive, e dopo consultazione della tabella di MacCrady, è stato possibile calcolare la concentrazione di Streptococchi fecali per 1 g di campione in esame. Considerando le percentuali di umidità dei campioni di sedimento fresco, le concentrazioni di Streptococchi fecali sono state espresse come MPN·g⁻¹ps.

Salmonella spp.

Il metodo ha per oggetto la determinazione della presenza dei batteri appartenenti al genere *Salmonella* nei sedimenti. I prearricchimenti per la ricerca dei batteri del genere *Salmonella*, allestiti inoculando 25 g di sedimento in 225 ml di Acqua Peptonata Tamponata, sono stati incubati in termostato a 37°C. Dopo incubazione overnight è stato effettuato l'arricchimento selettivo trasferendo 10 ml della coltura di prearricchimento in 100 ml di Rappaport Vassiliadis Soya broth (RVS) ed incubando a 42°C per 24 h; contemporaneamente, 5 ml della stessa coltura di prearricchimento sono stati trasferiti anche in 50 ml di Muller Kauffmann Tetrathionate broth (MKTT) addizionato di 20 mg L⁻¹ di novobiocina, ed incubati a 37°C per 24 h. Ciascun arricchimento selettivo, successivamente, è stato strisciato su piastre di XLD agar e Agar Verde Brillante (BGA). Le piastre sono state incubate a 37°C per 24 h. Le colonie morfologicamente riferibili al genere *Salmonella*, cresciute su ciascuna piastra, sono state trasferite in piastre di Agar Nutrient ed incubate a 37°C per 18-24 h. Sono state successivamente effettuate prove di conferma biochimica inoculando le colonie selezionate in Kliger Iron Agar (KIA) ed incubando per 24 h a 37°C; in caso di prove biochimiche compatibili con *Salmonella* è stata effettuata la prova di conferma sierologica per evidenziare la presenza di antigeni specifici.

Stafilococchi

Per la ricerca dei batteri appartenenti al genere *Staphylococcus* nei campioni di sedimento sono state allestite diluizioni seriali decimali a partire da 25 g di sedimento. Aliquote di 0,1 ml delle diluizioni del sedimento sono state piastrate, mediante la spatolamento, su Baird-Parker Agar. Le piastre sono state poi incubate a 36 ± 1 °C per 24-48 h. Dopo l'esecuzione della prova della catalasi, per verificare la presenza di fattori di virulenza tra i ceppi di *Staphylococcus* isolati si è proceduto all'esecuzione del test della coagulasi. La coagulasi è un enzima presente nella maggior parte dei biotipi appartenenti alla specie *Staphylococcus aureus* e in alcuni biotipi appartenenti alle specie *Staphylococcus intermedius* e *Staphylococcus hyicus*, patogeni opportunisti per gli animali; la coagulasi è, di solito, assente nelle specie saprofiti e commensali (Rapporti ISTISAN 07/5). Considerando le percentuali di umidità dei campioni di sedimento fresco, i risultati finali relativi alle concentrazioni di *Staphylococcus* coagulasi positivi sono stati espressi come UFC·g⁻¹ps.

Clostridi solfito-riduttori

Il metodo basato sul conteggio delle colonie in terreno selettivo, utilizzando la tecnica dell'inclusione, consente di rilevare la concentrazione dei microrganismi appartenenti al genere *Clostridium* in grado di ridurre il solfito. Per ogni campione di sedimento sono state allestite diluizioni seriali decimali a partire da 1 g pu di sedimento. Con 1 ml della sospensione del campione sono state effettuate le rispettive semine, in doppio, per inclusione in piastre Petri con Solfito-Polimixina-Solfadiazina agar (SPS), contenente solfito di sodio e citrato ferrico. Le piastre sono state incubate a 37°C in giare per anaerobiosi, per un periodo di 24-24 h. Dopo incubazione, sono state eseguite prove di conferma sul 5% delle colonie presuntive, previo trasferimento su terreno di coltura TSA o agar Columbia al 5% di sangue di montone, e successivamente sottoposte a colorazione di Gram e prova della catalasi. I risultati finali sono stati espressi come UFC g⁻¹ps. Nel corso delle analisi, controlli di qualità sono stati effettuati con prove atte a valutare l'efficienza del metodo, utilizzando standard specifici contenenti una Densità nota di microrganismi (ICRAM Scheda 6S, 2001-2003).

Miceti

Per la ricerca dei miceti, dai campioni di sedimento sono state allestite diluizioni seriali decimali a partire da 1 g pu di sedimento. Aliquote di 0,1 ml di ciascuna diluizione sono state seminate, mediante la tecnica di spatolamento, in piastre di Petri contenente *Sabouraud Dextrose Agar* addizionato dell'antibiotico cloramfenicolo. Le piastre così inoculate sono state incubate alla Temperatura di 25 °C per 3-5 giorni. Successivamente si è proceduto all'osservazione delle colonie al microscopio ottico. Per la conferma dei lieviti, una piccola aliquota della colonia, stemperata in una goccia di acqua distillata sterile su un vetrino portaoggetti, è stata osservata al microscopio contrasto di fase (ingrandimento 200-400X), per evidenziare

la presenza di forme a lievito o di pseudoife. L'osservazione microscopica (ingrandimento 200-400X) dei funghi filamentosi è stata effettuata con l'impiego di blu cotone in lattofenolo per distinguere eventuali corpi fruttiferi (Rapporti ISTISAN 96/35; Quaderno 64 – IRSA/CNR 1983). Le concentrazioni di miceti rilevate, tenendo conto della percentuale di umidità dei campioni di sedimento, sono state espresse UFC·g⁻¹ps.

1.2.7 Analisi del Biota

Comunità macro-zoobentoniche

I campioni raccolti sono stati successivamente smistati in laboratorio mediante osservazione con stereomicroscopio binoculare: gli individui raccolti sono stati divisi nei singoli taxa (sorting) e successivamente contati e identificati fino al più basso livello tassonomico possibile (LPT= Lowest Possible Taxon) coincidente quasi sempre con il livello di specie. Per la determinazione tassonomica degli individui e le caratteristiche ecologiche delle specie rinvenute sono stati consultati i testi e gli articoli elencati nella bibliografia ecologico-tassonomica e per la corretta nomenclatura delle specie sono state utilizzate la Checklist della fauna italiana ed il *World Register of Marine Species* (WoRMS). Quest'ultimo, oltre a fornire una lista autorevole e completa dei nomi di organismi marini a livello mondiale, fornisce indicazioni sulle eventuali sinonimie riscontrate.

Il numero di specie rinvenute de minimis, ovvero gli individui identificati come taxon ind. sono stati conteggiati solo se non presenti altri esemplari dello stesso taxon a livello sistematico inferiore. Ad esempio se nel foglio sono presenti *Ampelisca diadema* e *Ampelisca* ind., quest'ultima non verrà conteggiata, al contrario, se è presente *Ampelisca* ind e nessun altro esemplare appartenente al genere *Ampelisca*, l'individuo ind. andrà conteggiato. Tale matrice è stata quindi utilizzata per le successive analisi. Per gli indici strutturali sono stati utilizzati i soli taxa identificati a livello di specie.

La struttura dei popolamenti macrozoobentonici che vivono nell'area oggetto di studio è stata descritta tramite studio tassonomico condotto sui campioni del benthos, ma sono stati visionati anche i dati relativi alla granulometria dei sedimenti per le stesse stazioni, prendendo in considerazione così anche la natura fisica del substrato. Per lo studio delle comunità bentoniche, infatti, è essenziale analizzare la natura dei rapporti che esse contraggono con il substrato su cui vivono: la natura dello stesso è un fattore di importanza fondamentale nella loro distribuzione, sia da un punto di vista strutturale che trofico - funzionale, poiché gli organismi stabiliscono un rapporto intimo con il fondo marino.

Ai fini dello studio delle aree in oggetto è stata analizzata la struttura trofica della comunità in quanto il comportamento alimentare degli organismi bentonici è strettamente correlato, oltre che alla disponibilità del cibo, a fattori ambientali quali la natura del substrato, il contenuto in materia organica, la profondità, l'idrodinamismo, l'esposizione. L'analisi trofica fornisce un quadro delle modalità in cui l'energia solare, convertita e immagazzinata in forma chimica dai vegetali mediante la fotosintesi, viene distribuita nella zoocenosi; gli organismi stenotrofici, poco o per nulla eclettici sul piano alimentare, forniscono indicazioni sulla prevalenza o meno di uno o più parametri ambientali.

La categoria trofica di un organismo animale può essere definita come l'insieme delle relazioni tra la composizione delle particelle di cibo, le loro dimensioni e il meccanismo implicato nell'assunzione. Sulla

base della composizione e delle modalità di raccolta del cibo, ciascuna specie è stata attribuita a uno dei seguenti gruppi trofici: Carnivori, Erbivori, Onnivori, Sospensivori, Detritivori e Limivori.

Analisi dei dati

I dati di abbondanza sono stati elaborati e la struttura della comunità macrozoobentonica è stata descritta tramite le seguenti variabili strutturali ed indici ecologici:

- Dominanza (D): l'importanza quantitativa dei taxa più numerosi rinvenuti, espressa in percentuale sul totale degli individui raccolti;
- Abbondanza totale (N): il numero complessivo di individui per stazione;
- Ricchezza specifica totale (S): il numero totale di specie presenti in ogni stazione;
- Diversità di specie: un parametro ottenuto rapportando l'abbondanza totale e la ricchezza specifica tra loro e con i dati relativi all'intero stock campionato; per l'analisi di questo parametro esistono diversi indici; in questo studio è stato utilizzato l'indice di Diversità specifica di Shannon-Wiener (H'); Shannon & Weaver, 1949):

$$H' = -\sum_{i=1}^s (p_i)(\log_e p_i)$$

dove p_i = frequenza numerica della specie i-esima rispetto al totale degli individui = n_i/N
dove s = numero di specie

- Equitabilità di Pielou (J' - Pielou, 1974): una misura della distribuzione degli individui tra le specie e si basa sulla teoria dell'informazione di Shannon-Wiener:

$$J = H'/H'_{\max}$$

dove H'_{\max} = valore massimo di $H' = \log_2 S$
(se $p=1/S$)

Le comunità macrozoobentoniche di fondo mobile adottano differenti strategie adattative come risposta a stress ambientali. I numerosi lavori che attestano l'importanza dell'impiego degli organismi bentonici di fondi mobili come bioindicatori dello Status di Qualità Ecologica (EQS) si riferiscono all'utilizzo di particolari indici biotici nella valutazione di impatti naturali ed antropici per le acque costiere e di transizione. In particolare, in questo studio sono stati utilizzati: gli indici AMBI e M-AMBI.

L'indice AMBI (Borja et al., 2000) si basa sulla classificazione di specie (o gruppi di specie) in gruppi ecologici rappresentanti livelli di sensibilità o tolleranza ai diversi tipi di inquinamento. L'indice identifica 5 gruppi ecologici in funzione dell'arricchimento organico: GI (specie molto sensibili), GII (specie indifferenti), GIII

(specie tolleranti), GIV (specie opportunistiche di secondo ordine), GV (specie opportunistiche di primo ordine). La distribuzione di questi gruppi ecologici, in accordo con la loro sensibilità allo stress d'inquinamento, fornisce una "Disturbance classification" di otto livelli (da 0 a 7) con valori crescenti di disturbo e 5 livelli di Ecological Quality Status (ECoQ). I dati calcolati sono stati riportati in tabella 1.2.7.1.1. L'indice M-AMBI (Multimetric-AZTI Marine Biotic Index), permette una valutazione sinecologica dell'ecosistema in esame. È basato sull'analisi della struttura della comunità a macroinvertebrati bentonici, considerando il valore ecologico delle specie di macrozoobenthos di fondi mobili. Le specie sono suddivise in cinque gruppi ecologici (opportuniste (I ordine), opportuniste (II ordine), tolleranti, sensibili/tolleranti e sensibili) in relazione alla sensibilità ai gradienti di stress ambientale. L'indice descrive lo stato di qualità dell'EQB macroinvertebrati bentonici in 5 classi: elevato, buono, sufficiente, scarso e cattivo.

Tabella 1.2.7.1. Valori dell'indice Ambi e riferimenti di ECoQ

<i>Disturbance classification</i>	AMBI	<i>Ecological Quality Status (ECoQ)</i>
<i>Undisturbed</i>	0,0 < AMBI < 1,2	<i>High</i>
<i>Slightly disturbed</i>	1,2 < AMBI < 3,3	<i>Good</i>
<i>Moderately disturbed</i>	3,3 < AMBI < 4,3	<i>Moderate</i>
<i>Heavily disturbed</i>	4,3 < AMBI < 5,5	<i>Poor</i>
<i>Extremely disturbed</i>	5,5 < AMBI < 7,0	<i>Bad</i>

Inquinanti prioritari nelle comunità macro-zoobentoniche

Per quanto riguarda le analisi di bioaccumulo sugli organismi del benthos, è stato possibile recuperare un unico individuo di bivalve *Callista* spp. proveniente dalla stazione SF-65. Su questo unico campione si è deciso di analizzare il contenuto di pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili (PCB), polibromo-difenil eteri ed altri ritardanti di fiamma organo brominati. I composti analizzati sono quelli già riportati nella Tabella 1.2.1.1. Il tessuto umido è stato addizionato con una soluzione di n-esano:acetone (2:1) in un rapporto di 1:3, peso campione rispetto al volume di solvente (m:v). Dopo una vigorosa agitazione, il campione è stato estratto utilizzando un sistema di estrazione controllata a microonde, alla Temperatura di 110°C per 15 minuti (Microwave Digestion and Extraction System Mars-5, CEM Corporation). La soluzione è stata purificata con tecniche di estrazione in fase solida (SPE) utilizzando resine di estrazione del tipo Strata-X (Phenomenex, Strata-X 33u Polymeric Reversed Phase) da 500 mg e 6 ml, oltre a resine del tipo Strata-FL (Phenomenex, FL-PR) da 1000 mg e 6 ml, utilizzando il sistema automatico Gilson Aspec GX271. Il campione eluito con l'ausilio di una soluzione di acetone ed esano è stato raccolto in tubo pyrex e quindi concentrato a secchezza in un evaporatore centrifugo (SpeedVack Juan RC 1009). Infine, il campione è stato solubilizzato in 1 ml di n-esano. Le determinazioni analitiche sono state effettuate mediante gascromatografia accoppiata a spettrometro di massa con singolo quadrupolo (Agilent Technology) insieme ai campioni di mitili.

1.3 Biota

1.3.1 Bioaccumulo di contaminanti organici e inorganici in mitili trapiantati (Mussel Watch)

Per le analisi chimiche, per ogni punto di campionamento sono stati preparati 10 pool, ciascuno costituito dalle intere parti molli di circa 5 organismi, rapidamente congelati in azoto liquido e successivamente conservati a -20°C fino alla determinazione delle concentrazioni tissutali dei metalli, composti organo-stannici, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e composti organici di sintesi.

Le analisi dei parametri chimici nei tessuti dei mitili sono state condotte, per ogni punto di campionamento, su 5 aliquote omogenee di campione, ognuna costituita dai tessuti di almeno 5 individui.

Determinazione dei metalli

Per la determinazione dei metalli, tra cui alluminio (Al), arsenico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), ferro (Fe), manganese (Mn), mercurio (Hg), nichel (Ni), piombo (Pb), rame (Cu), vanadio (V) e zinco (Zn), i campioni di tessuto sono stati pesati (tessuto umido) e successivamente essiccati alla Temperatura di $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$ per almeno 8 ore. Il rapporto tra il peso umido ed il peso secco dei campioni ha consentito di convertire in peso secco le aliquote umide destinate ad altre determinazioni analitiche. I campioni sono stati quindi polverizzati con l'ausilio di un mortaio, ed aliquote omogenee pari a circa 0.5 g (per i mitili) sono state trasferite in appositi contenitori per mineralizzazione sotto pressione in forno a microonde, previa addizione di 2 ml di H_2O_2 e 5 ml di HNO_3 . La mineralizzazione è stata condotta mediante sistema a microonde CEM Mars 5 (CEM Corporation), dotato di sistema controllo e regolazione di Temperatura e potenza delle microonde. Al termine del ciclo di mineralizzazione i campioni sono stati raffreddati a Temperatura ambiente quindi recuperati e portati a volume noto, con acqua ultrapura (10 ml).

La determinazione analitica dei metalli è stata effettuata mediante tecniche di spettrofotometria ad assorbimento atomico; Cu, Fe, Mn e Zn sono stati determinati mediante atomizzazione in fiamma con spettrofotometro SpectrAA 220FS (Agilent Technologies), mentre Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb e V sono stati analizzati mediante spettrofotometro SpectrAA 240Z (Agilent Technologies), munito di elettrofornace GTA120 con microforno di grafite ed effetto Zeeman; quando necessario l'interferenza della matrice è stata risolta utilizzando apposite soluzioni di modificatori di matrice (palladio 1 g/l, 10% acido citrico, 20% HNO_3), mentre le interferenze spettrali sono state verificate utilizzando standardizzazioni con

metodo delle aggiunte. La determinazione del mercurio (Hg) è stata eseguita tramite generazione di vapori freddi utilizzando un apposito analizzatore di mercurio CETAC QuickTrace M-6100 Mercury Analyzer (*Agilent Technologies*) munito di auto campionatore ASX-130.

Tutte le determinazioni analitiche sono state effettuate previa calibrazione della strumentazione analizzando apposite soluzioni di bianco e standard di riferimento (SRM-NIST 2977) a concentrazione nota e certificata; i risultati finali sono stati espressi in $\mu\text{g/g}$ (peso secco).

La determinazione dei composti organo-stannici è stata effettuata utilizzando un'aliquota omogenea di ciascun campione, pari a circa 2-3 g di tessuto umido, addizionati con una soluzione di *n*-esano:acetone (2:1) in un rapporto di 1:3, peso campione rispetto al volume di solvente (m:v). Successivamente, i campioni sono stati estratti utilizzando un sistema di estrazione controllata a microonde, alla Temperatura di 110°C per 15 minuti (Microwave Digestion and Extraction System Mars-5, CEM Corporation). Le soluzioni così ottenute sono state concentrate a secchezza, mediante un evaporatore centrifugo (*SpeedVack Juan RC 1009*), alla Temperatura ambiente. Infine, i campioni sono stati solubilizzati in 1 ml di acido nitrico (HNO_3) e portati a volume noto (2 ml) con acqua ultrapura. Per il TBT, un'aliquota dell'estratto è stata trattata con NaOH 10M per la precipitazione e l'allontanamento delle specie mono- e di- butilate. La successiva determinazione analitica è stata effettuata mediante le tecniche di spettrofotometria ad assorbimento atomico precedentemente descritte, utilizzando microforno di grafite ed effetto Zeeman, mediante l'uso di modificatore di matrice (palladio 1 g/l, 10% acido citrico, 20% HNO_3) e applicando standardizzazione con metodo delle aggiunte. Il risultato finale è stato espresso in $\mu\text{g/g}$ (peso secco), convertendo il peso umido dei campioni in peso secco, mediante il rapporto determinato in precedenza.

Determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

La determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nei tessuti dei mitili è stata effettuata utilizzando un'aliquota omogenea di campione, pari a circa 2-3 g in peso umido. Al momento della preparazione, i campioni sono stati addizionati con 5 ml di una soluzione di KOH 0.5 M in metanolo puro per cromatografia liquida e mantenuti in agitazione per almeno 8 ore, al fine di operare una preliminare estrazione solido-liquido. Il completamento dell'estrazione è stato eseguito mediante microonde a 55°C per 15 min (Microwave Digestion and Extraction System Mars-5, CEM). I campioni sono stati concentrati a circa 0.5 ml mediante centrifuga evaporante (*Speedvack, Juan*), a 45°C per 60-120 min, successivamente purificati attraverso una cromatografia a bassa pressione con resine per estrazione in fase solida (SPE) del tipo Backerbond SPE C18 (500 mg, 6 ml) ed infine recuperati in 1 ml di acetonitrile puro per cromatografia liquida. Tale purificazione è stata effettuata utilizzando il sistema automatico *Gilson Aspec GX271* (*Gilson Inc.*). Le determinazioni analitiche sono state effettuate

mediante tecniche di cromatografia liquida ad elevate prestazioni (HPLC) utilizzando un sistema di pompe per gradiente binario e coppia di detector in Fluorescenza e serie di diodi *Agilent Infinity 1260 Series (Agilent Technologies)*.

L'analisi è stata condotta mediante gradiente dinamico utilizzando acqua ultrapura e acetonitrile come fasi mobili. Il volume di campione iniettato è stato pari a 20 µl ed è garantito costante per tutte le analisi utilizzando un apposito auto-campionatore. La determinazione qualitativa e quantitativa degli analiti è stata eseguita attraverso il confronto dei cromatogrammi e dei segnali, con quelli ottenuti iniettando soluzioni standard a concentrazioni note e scalari, preparate utilizzando una miscela di idrocarburi aromatici puri (EPA 610, Supelco). Gli analiti determinati mediante il metodo appena descritto possono essere classificati in IPA a basso peso molecolare (acenaftene, acenaftilene, antracene, fenantrene, fluorene e naftalene), IPA ad alto peso molecolare (benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantrene, benzo(g,h,i)perilene, benzo(k)fluorantrene, crisene, dibenzo(a,h)antracene, fluorantrene, indeno(1,2,3-cd)pirene, pirene) ed alcuni IPA metilati (1-metilnaftalene, 2-metilnaftalene e 7,12-dimetilbenzo(a)antracene); l'accuratezza e la precisione analitica sono state verificate analizzando apposite soluzioni di bianco e standard di riferimento (SRM-NIST 2977). Le concentrazioni sono espresse in ng/g di campione (peso secco), convertendo il peso umido dei campioni in peso secco, mediante il rapporto determinato in precedenza.

Determinazione degli idrocarburi alifatici totali (C10-C40)

La determinazione di idrocarburi alifatici totali (C₁₀-C₄₀) nei mitili è stata effettuata mediante tecniche di gascromatografia (GC); aliquote pari a circa 2-3 g di tessuto umido sono state addizionate con una soluzione di *n*-esano:acetone (2:1) in un rapporto di 1:3, peso campione rispetto al volume di solvente (m:v). Dopo una vigorosa agitazione, i campioni sono stati estratti utilizzando un sistema di estrazione controllata a microonde, alla Temperatura di 110°C per 15 minuti (*Microwave Digestion and Extraction System Mars-5, CEM Corporation*).

Le soluzioni così ottenute sono state purificate con tecniche di estrazione in fase solida (SPE) utilizzando resine di estrazione del tipo Strata-X (*Phenomenex, Strata-X 33u Polymeric Reversed Phase*) da 500 mg e 6 ml, oltre a resine del tipo Strata-FL (*Phenomenex, FL-PR*) da 1000 mg e 6 ml, utilizzando il sistema automatico *Gilson Aspec GX271*. I campioni eluiti con l'ausilio di soluzioni di acetone ed esano sono stati raccolti in appositi tubi pyrex e quindi posizionati all'interno di un evaporatore centrifugo (*SpeedVack Juan RC 1009*), dove sono stati concentrati fino a secchezza, alla Temperatura ambiente. Infine, i campioni sono stati solubilizzati in 1 ml di *n*-esano. L'analisi degli idrocarburi alifatici è stata effettuata mediante gascromatografia con detector a ionizzazione di fiamma (FID) (*Perkin Elmer Clarus 500*); la determinazione quantitativa è stata effettuata calibrando il sistema mediante uno standard puro

costituito da un mix di specie chimiche di idrocarburi con pari numero di carbonio da C₁₀ a C₄₀, lineari ed insaturi, conforme alle specifiche EN ISO 9377-3; i risultati finali sono stati espressi in µg/g (peso secco), convertendo il peso umido dei campioni in peso secco, mediante il rapporto determinato in precedenza.

Determinazione di pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili (PCB), polibromo-difenil eteri ed altri ritardanti di fiamma organo brominati

Nella Tabella 1.3.1 viene riportata la lista completa dei pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili, polibromo-difenil eteri ed altri ritardanti di fiamma organo brominati che sono stati analizzati nei tessuti dei mitili. La preparazione dei campioni è analoga a quella già descritta per gli idrocarburi alifatici totali C10-C40. Le determinazioni analitiche sono state effettuate mediante gascromatografia accoppiata a spettrometro di massa con singolo quadrupolo (*Agilent Technology*). Al fine di garantire l'accuratezza e la precisione delle misure, durante ogni sessione analitica sono state processate soluzioni di bianco preparate con le stesse procedure descritte per i campioni, apposite soluzioni a diverse concentrazioni di standard analitici puri, oltre a standard di riferimento (SRM- NIST 2977) a concentrazione nota e certificata, e miscele di standard puri a concentrazioni note delle varie classi di contaminanti. Le concentrazioni sono state espresse in ng/g riferite al peso secco dei campioni, convertendo il peso umido dei campioni in peso secco, mediante il rapporto determinato in precedenza.

Tabella 1.3.1. Elenco dei contaminanti organici persistenti analizzati.

<u>Pesticidi clorurati (EPA 8081)</u>	<u>Fenoli clorurati</u>	<u>PCB (continua):</u>
Aldrina	2-Clorofenolo	PCB70
α -Clordano	4-Clorofenolo	PCB77
γ -Clordano	2,4-Diclorofenolo	PCB81
p,p'-DDD	2,4,6-Triclorofenolo	PCB90
p,p'-DDE		PCB101
p,p'-DDT		PCB105
Dieldrina	<u>Clorobifenili</u>	PCB118
Endosulfano I		PCB126
Endosulfano II	2-Clorobifenile	PCB127
Endosulfano (solfato)	3-Clorobifenile	PCB128
Endrina	4-Clorobifenile	PCB130
Endrina (aldeide)		PCB138
Endrina (chetone)		PCB146
Eptacloro	<u>Policlorobifenili (PCB):</u>	PCB153
Eptacloro (epossido)		PCB156
α -Lindano	PCB4	PCB169
β -Lindano	PCB7	PCB170
δ -Lindano	PCB8	PCB175
γ -Lindano	PCB11	PCB180
Metossicloro	PCB13	PCB182
	PCB15	PCB187
	PCB16	PCB195
<u>Altri pesticidi clorurati</u>	PCB17	PCB206
	PCB18	PCB209
Diclorobenzidina	PCB19	
Esaclorobenzene	PCB23	
Esaclorobutadiene	PCB26	<u>Polibromodifelineteri ed altri ritardanti di fiamma brominati</u>
Mirex	PCB28	
	PCB32	
	PCB33	PBDE28
<u>Pesticidi organofosfati</u>	PCB36	PBDE47
	PCB38	PBDE99
Azinphos-methyl	PCB40	PBDE100
Chlorpyrifos	PCB42	PBDE153
Dichlorvos	PCB44	PBDE154
Disulfoton	PCB45	PBDE183
Ethoprophos	PCB46	Esabromociclododecano
Fenclorphos	PCB47	Tetrabromobisfenolo-A
Metilparathion	PCB52	
Metolcarb	PCB58	
Prothiofos	PCB66	

1.3.2 Analisi di biomarker

Per quanto riguarda le analisi dei biomarker, è stata identificata una lista di parametri standardizzati e riconosciuti a livello scientifico internazionale e già utilizzati da organizzazioni e gruppi di lavoro europei (OSPAR, ICES, MedPol). I biomarker analizzati nei mitili si riferiscono alla stabilità delle membrane lisosomiali, la capacità fagocitaria, il rapporto granulociti/ialinociti, la frequenza dei micronuclei e l'attività dell'acetilcolinesterasi nell'emolinfa, l'analisi nella ghiandola digestiva della acil-CoA ossidasi, del glutatione totale, degli enzimi antiossidanti (GR, GST, GPx, CAT) della Capacità Antiossidante Totale. Oltre che per la validità scientifica e l'elevato grado di standardizzazione e riconoscimento internazionale, questi biomarker sono noti anche per la loro semplicità, possibilità di essere trasferiti alle agenzie di controllo e potenziale applicazione a più gruppi funzionali di habitat dominanti, in funzione delle caratteristiche territoriali locali.

La stabilità delle membrane lisosomiali rappresenta un biomarker estremamente sensibile, indicativo dello stato di salute generale dell'organismo e della comparsa precoce di condizioni di stress ossidativo (Moore, 1982; Regoli, 1992; Moore et al., 2006). Tale parametro è stato misurato nell'emolinfa dei mitili (0.5 ml) prelevata dal muscolo adduttore anteriore, mediante siringa ipodermica contenente un eguale volume di soluzione fisiologica (protocollo ufficiale ICES No 56, 2015). Una aliquota di tale sospensione è stata poi dispersa su un vetrino da microscopia dove le cellule sono state lasciate aderire per 15 min a 4°C in camera buia e umida. Dopo la rimozione dell'eccesso di emolinfa, le cellule sono state incubate con una soluzione di Rosso Neutro ed esaminate ad intervalli di 15 min (fino ad un tempo massimo di 120 min) per determinare il tempo al quale il 50% degli emociti presenta il Rosso Neutro non più compartimentalizzato nei lisosomi ma rilasciato nel citosol. La soluzione stock di Rosso Neutro è stata preparata dissolvendo 28.8 mg di colorante in 1 ml di dimetilsolfossido (DMSO) e conservata a 4°C per non più di 3 settimane; al momento dell'analisi 10 µl di soluzione stock sono stati diluiti in 5 ml di soluzione fisiologica.

La capacità fagocitaria, è stata misurata su emolinfa fresca, prelevata come per la stabilità delle membrane lisosomiali, dal muscolo adduttore degli organismi (Benedetti et al., 2014). Nello specifico 50 µL di emolinfa vengono incubati al buio in camera umida per due ore con 50 µL di Zymosan (lieviti fluorescenti in polvere). La soluzione di lieviti fluorescenti si ottiene preparando una soluzione madre composta da 1 mg di polvere di Zymosan in 50 µL di PBS e 1 µL di NaN₃, successivamente 1 µL di questa soluzione viene diluita in 150 µL di soluzione fisiologica (acqua di mare sintetica al 37 ‰ filtrata). Dopo l'incubazione, i campioni vengono sciacquati in soluzione fisiologica (acqua di mare sintetica), fissati in Baker's Ca-formolo e montati tramite Eukitt; l'analisi tramite microscopia ottica e a Fluorescenza valuta la percentuale di granulociti che al termine delle due ore di incubazione hanno fagocitato almeno tre cellule

di lievito fluorescente.

Il rapporto granulociti vs. ialinociti rappresenta un'altra risposta del sistema immunitario dei mitili, complementare alla capacità fagocitaria. Nello specifico, 50 μL di emolinfa prelevata dal muscolo adduttore degli organismi, vengono fatti aderire su vetrino da microscopia per circa 10 minuti e, dopo averne eliminato l'eccesso, vengono fissati in Baker's Ca-formolo per 15 minuti (Benedetti et al., 2014). Dopo un risciacquo in acqua deionizzata, il campione viene lasciato per 3 minuti in ematossilina, la quale colora di viola gli acidi nucleici, le membrane e le proteine di membrana. Seguono una serie di lavaggi in acqua corrente e acido cloridrico (HCl 0,5%) e la successiva colorazione in eosina 1% (fa risultare rosa le componenti acidofile, come mitocondri e proteine cellulari) per 3 minuti. Dopo il risciacquo finale ed il montaggio in Eukitt, il rapporto cellulare granulociti ialinociti viene misurato tramite microscopia ottica; il numero dei granulociti (cellule rosa con pseudopodi) e degli ialinociti (cellule viola, con un nucleo evidente) vengono contati su un totale di 200 cellule.

La frequenza dei micronuclei (MN), è stata determinata nelle sospensioni di emolinfa conservate in fissativo di Carnoy (acido acetico:metanolo 1:3), successivamente strisciate su vetrino da microscopia e colorate con un colorante specifico per il DNA, il 4',6-diamidin-2-fenilindolo (DAPI), alla concentrazione di 1 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Per il loro riconoscimento e conteggio i micronuclei vengono descritti come piccole strutture rotonde e ben definite, con una grandezza inferiore a un terzo del diametro del nucleo principale, completamente separati da esso e posizionati sullo stesso piano ottico. La valutazione della frequenza di comparsa dei MN è effettuata attraverso l'osservazione con microscopio a Fluorescenza e conta cellulare; per ciascun campione vengono analizzate almeno 2000 cellule e i risultati sono espressi come percentuale di cellule con micronuclei (Bolognesi et al., 2004; protocollo ufficiale ICES No 315, 2012).

L'attività dell'acetilcolinesterasi è stata determinata nei campioni di emolinfa opportunamente centrifugati per 5 minuti a 3.000 xg. Il sovrinatante è stato utilizzato per determinare l'attività della acetilcolinesterasi (ACh) secondo il metodo di Ellman, alla Temperatura di $18 \pm 1^\circ\text{C}$, alla lunghezza d'onda di 412 nm, con $\epsilon = 13.6 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ (Ellman et al., 1961; protocollo ufficiale ICES No 22, 1998).

L'analisi dell'attività enzimatica della acil-CoA ossidasi (AOX), enzima localizzato a livello dei perossisomi, coinvolto nella beta-ossidazione degli acidi grassi, ed utilizzato come biomarker specifico di esposizione a proliferatori perossisomiali, è stata valutata per via spettrofotometrica. Campioni di ghiandole digestive sono stati omogenati in tampone sodio bicarbonato 1 mM, pH 7.6, contenente EDTA 1mM, etanolo 0.1%, TRITON X-100 0.01% e centrifugati a 500 xg per 15 min a 4°C . L'attività enzimatica della AOX è stata determinata seguendo la reazione di ossidazione della diclorofluoresceina diacetato (DCF-DA) in presenza di una perossidasi esterna e con l'aggiunta di un substrato specifico (Palmitoil CoA) alla Temperatura di 25

$\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $\lambda = 502\text{ nm}$ (Benedetti et al., 2014).

Per la determinazione del glutatione totale, gli omogenati di ghiandola digestiva sono stati preparati in acido sulfosalicilico 5% con EDTA 4 mM (1:5 p/v). I campioni sono quindi stati lasciati in ghiaccio per 45 min al fine di ottenere una completa deproteinizzazione e centrifugati a $37.000 \times g$ per 15 min. Il contenuto di glutatione totale è stato determinato nel sovranatante misurando per via spettrofotometrica, alla lunghezza d'onda $\lambda = 412\text{ nm}$, l'intensità di reazione tra i gruppi $-\text{SH}$ e DTNB. Il saggio è stato condotto in tampone K-fosfato 100 mM pH 7, EDTA 1 mM, DTNB 0.1 mM, NADPH 0.24 mM, glutatione riduttasi 1 U ed opportune aliquote di campione. I valori di assorbanza ottenuti sono stati quantificati mediante una curva di calibrazione standard a concentrazioni note di glutatione ridotto (Regoli et al., 2011; Benedetti et al., 2014).

Per le analisi degli enzimi antiossidanti, le ghiandole digestive sono state omogenate (1:5 p/v) in tampone K-fosfato 100 mM, pH 7.5, con cloruro di sodio 1.8% e PMSF 0.1 mM. Dopo centrifugazione a $100.000 \times g$ per 1h e 10 min a 4°C , la frazione citosolica è stata aliquotata e conservata a -80°C . Le attività enzimatiche sono state misurate con specifici saggi spettrofotometrici a Temperatura costante di $18 \pm 1^{\circ}\text{C}$ (Regoli et al., 2011; Benedetti et al., 2012).

La glutatione riduttasi riconverte il glutatione ossidato nella sua forma ridotta, cioè quella funzionalmente attiva, utilizzando come cofattore riducente il NADPH. Il saggio della glutatione riduttasi è stato condotto alla lunghezza d'onda $\lambda = 340\text{ nm}$, con coefficiente di estinzione millimolare $\epsilon = 6.22\text{ mM}^{-1}\text{ cm}^{-1}$, misurando il decremento di assorbanza dovuto al consumo di NADPH nel tempo. La reazione è stata effettuata in un volume di saggio finale di 1 ml contenente tampone K-fosfato 100 mM a pH 7.0, GSSG 1 mM, NADPH 0.12 mM ed opportune aliquote di campione.

Le glutatione S-transferasi catalizzano la coniugazione di una molecola di glutatione ridotto (GSH) ai gruppi elettrofili di composti organici. Delle molte isoforme, alcune possono avere funzione antiossidante, ma la maggior parte sono coinvolte nella detossificazione di substrati organici, resi più idrosolubili e di più facile escrezione. L'attività catalitica delle glutatione S-transferasi è stata analizzata seguendo l'aumento di assorbanza dovuto alla formazione del complesso di coniugazione tra GSH e 1-cloro-2,4-dinitrobenzene (CDNB), ad una lunghezza d'onda $\lambda = 340\text{ nm}$ e con un coefficiente di estinzione millimolare $\epsilon = 9.6\text{ mM}^{-1}\text{ cm}^{-1}$. La reazione è seguita per un minuto in un volume finale di 1 ml contenente tampone K-fosfato 100 mM pH 6.5, CDNB 1.5 mM, GSH 1 mM ed opportune aliquote di campione.

Gli enzimi glutatione perossidasi, Se-dipendenti e Se-indipendenti, svolgono la loro funzione agendo su perossidi organici ed inorganici riducendoli all'alcool corrispondente. L'attività enzimatica è stata misurata seguendo l'azione di un sistema di enzimi accoppiati dove il GSSG formato nella reazione delle perossidasi

viene convertito nella forma ridotta GSH dalla glutatione riduttasi. Il consumo di NADPH è stato seguito come diminuzione di assorbanza a $\lambda = 340 \text{ nm}$ ($\epsilon = 6.22 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$). L'attività delle forme enzimatiche Se-dipendenti e dell'insieme di quelle Se-dipendenti e Se-indipendenti è stata misurata usando come substrato rispettivamente, perossido di idrogeno (H_2O_2), per verificare l'efficacia di detossificazione degli enzimi su perossidi inorganici, e idroperossido di cumene (CuPx) per valutarne l'azione su perossidi organici. La reazione è stata eseguita in un volume finale di 1 ml contenente tampone K-fosfato 100 mM a pH 7.5, EDTA 1 mM, GSH 2 mM, NADPH 0.24 mM, 0.5 mM H_2O_2 o 0.8 mM CuPx, 1U GR ed opportune aliquote di campione.

La catalasi trasforma il perossido di idrogeno (H_2O_2) in acqua e ossigeno molecolare, rimuovendo così oltre che un potente ossidante cellulare, anche il principale precursore del radicale idrossilico, il più reattivo e tossico fra le specie reattive dell'ossigeno. L'attività della catalasi è stata misurata seguendo la diminuzione di assorbanza in funzione del tempo, dovuta alla riduzione del perossido di idrogeno ad acqua; la lunghezza d'onda utilizzata è stata $\lambda = 240 \text{ nm}$ ed il coefficiente di estinzione millimolare applicato è stato $\epsilon = 0.04 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$. Il saggio è condotto per un minuto in un volume finale di 1 ml contenente tampone K-fosfato 100 mM a pH 7.0, con H_2O_2 12 mM ed opportune aliquote di campione.

La Capacità Antiossidante Totale è stata stimata tramite il saggio TOSC che misura l'efficienza complessiva di un tessuto biologico di neutralizzare diverse forme di ROS tra cui i radicali perossilici ($\text{ROO}\bullet$) e i radicali idrossilici ($\text{HO}\bullet$) (Winston et al., 1998; Regoli e Winston, 1999; Regoli & Gorbi 2011).

Le analisi sono state effettuate sulla componente citosolica della ghiandola digestiva ottenuta dopo omogenizzazione (1:5 p/v) in un working-buffer costituito da tampone K-fosfato 50 mM pH 7.5, NaCl 1.8%. Gli omogenati così ottenuti sono stati centrifugati a 100.000 xg per 1 ora e 10 minuti a 4°C, e la frazione citosolica subaliquotata e conservata a -80°C fino al momento delle analisi. Il saggio TOSC-A (Total Oxyradical Scavenging Capacity Assay) prevede la reazione tra le diverse forme di radicali che sono artificialmente generati, e l'acido α -cheto- γ -metiolbutirrico (KMBA), che funge da substrato e si ossida liberando gas etilene. La produzione di etilene risulta quantitativamente diminuita in presenza di agenti antiossidanti (come quelli contenuti nel materiale biologico) che reagiscono con i radicali neutralizzandoli e sottraendoli alla reazione con il KMBA. I radicali perossilici ($\text{ROO}\bullet$) sono stati generati attraverso l'omolisi termica del 2,2'-azo-bis-amidinopropano (ABAP) mentre i radicali idrossilici ($\text{HO}\bullet$) attraverso la reazione di Fenton ferro-ascorbato. Le reazioni sono state condotte in appositi contenitori di vetro da 10 ml (vials), sigillati con speciali tappi muniti di setto, mantenuti alla Temperatura costante di 35°C in bagno termostatico continuamente agitato per consentire una generazione costante delle varie forme di radicali. Le condizioni finali di saggio sono state le seguenti:

- per l'analisi con i radicali perossilici (ROO•): un volume variabile di campione, KMBA 0.2 mM e ABAP 20 mM in tampone K-fosfato 50 mM pH 7.4;
- per l'analisi con i radicali idrossilici (•OH): un volume variabile di campione, KMBA 0.2 mM, Fe³⁺ 1.8 μM, EDTA 3.6 μM e acido ascorbico 180 μM in tampone K-fosfato 50 mM pH 7.4.

Il KMBA viene ossidato dalle diverse forme di radicali generando gas etilene. La formazione dell'etilene è stata monitorata nel tempo mediante analisi gas-cromatografica su colonna capillare "Supelco SPB-1" (30 m x 0.32 mm x 0.25 μm) e mediante rivelatore FID (Flame Ionization Detector), utilizzando le seguenti condizioni strumentali: Temperatura del forno pari a 35°C, Temperatura del FID pari a 220°C, Temperatura d'iniezione pari a 160°C, flusso d'idrogeno pari a 30 ml/minuto; flusso d'elio pari a 3 ml/minuto. La differenza di produzione d'etilene tra la reazione nei vials di controllo e la reazione nei vials contenenti i campioni, è calcolata matematicamente, integrando l'area al di sotto delle rispettive curve cinetiche della produzione d'etilene in funzione del tempo, considerando che ogni campione viene letto ogni 12 minuti per un tempo totale di saggio pari a 96 minuti. I risultati ottenuti permettono di quantificare il parametro TOSC, compreso tra 0 e 100, indice della capacità complessiva del campione analizzato, di neutralizzare le varie forme di specie reattive dell'ossigeno.

Il valore TOSC sperimentale è ottenuto secondo la formula:

$$\text{TOSC} = 100 - (\text{JSA} / \text{JCA} \times 100)$$

dove JSA e JCA sono gli integrali delle aree al di sotto delle curve che rappresentano rispettivamente le reazioni di un campione SA (Sample Area) e del controllo CA (Control Area).

Un campione che sia privo di qualsiasi capacità di neutralizzare i radicali mostrerà una produzione di etilene in funzione del tempo uguale a quella dei controlli (JSA / JCA=1) ed il risultante valore TOSC sarà pertanto pari a 0. Al contrario un ipotetico valore TOSC=100 corrisponderebbe ad un campione che neutralizza tutte le specie reattive prodotte, inibendo completamente la formazione di etilene nell'intera durata del saggio (JSA=0). Dai risultati sperimentali viene ottenuto un valore TOSC specifico, rapportato al contenuto di proteine ed espresso come unità TOSC/mg di proteine.

Le proteine sono state analizzate secondo il metodo di Lowry, utilizzando albumina di siero bovino (BSA) come standard (Lowry et al., 1951).

1.3.3 Criteri di integrazione ponderata per l'elaborazione dei dati di bioaccumulo e dei biomarker nei mitili trapiantati

Elaborazione ponderata dei dati di bioaccumulo

L'elaborazione dei dati di biodisponibilità è fondamentale in quanto permette di stabilire il pericolo associato al possibile trasferimento di contaminanti ambientali al comparto biotico. Nel calcolo del pericolo biodisponibilità (HQ_{BA}), per ciascun parametro viene calcolata la variazione di concentrazione rispetto ai controlli (RTR), corretta in funzione della tipologia del contaminante e della significatività statistica delle differenze ($RTRw$) (Regoli et al., 2019). La significatività statistica della variazione rispetto ai controlli viene pesata applicando il coefficiente Z , calcolato in funzione del valore ottenuto dal test T per dati con varianza disomogenea (punto 4 del *flow chart* di Figura 1.3.3.1). Il coefficiente Z ha un valore pari a 1 (nessuna riduzione dell'effetto) quando il campione risulta significativamente diverso dal controllo ($p < 0.05$), mentre decresce con il diminuire della significatività, passando in maniera lineare da 1 a 0.5 quando p cresce da 0.05 a 0.06; per valori di p superiori a 0.06, il coefficiente Z diminuisce rapidamente in maniera non lineare fino a 0.2 quando p tende a 1. Questa correzione riduce progressivamente il peso complessivo di un parametro la cui variazione media non sia statisticamente significativa, ma non ne elimina completamente il contributo al calcolo dell' HQ_{BA} .

A seconda dell'entità della variazione, che considera anche la variabilità naturale delle concentrazioni tissutali dei contaminanti, i singoli parametri analizzati vengono attribuiti a una di 5 classi di effetto (da assente a molto alto): da assente a lieve se $RTRw < 2.6$, moderato se $2.6 \leq RTRw < 6.5$, elevato se $6.5 \leq RTRw < 13$, e molto alto se $RTRw \geq 13$. Il valore cumulativo di HQ_{BA} viene poi calcolato senza considerare i parametri con $RTRw < 1.3$ (effetto assente), facendo la media per quelli con $RTRw$ tra 1.3 e 2.6 (effetto basso), e sommando (Σ) tutti gli $RTRw > 2.6$ (effetti medio, alto e molto alto): in funzione della distribuzione % dei parametri nelle varie classi di effetto, il modello indica la classe complessiva di pericolo per la biodisponibilità.

Elaborazione ponderata dei dati dei biomarker

Il modulo sulle analisi dei Biomarker può elaborare i risultati ottenuti da un'ampia lista di biomarker tra quelli maggiormente utilizzati dalla comunità scientifica. A ciascun biomarker è associato un peso diverso (tra 1 e 3) a seconda della rilevanza biologica della risposta e del livello di conoscenze sui meccanismi coinvolti; per ciascun biomarker inoltre, in funzione della specie e del tessuto, è stabilita anche una soglia di variazione biologicamente significativa (*Threshold*) che tiene conto delle possibili risposte bi-fasiche di certi biomarker che possono essere sia indotti che inibiti (Regoli et al., 2019). Per garantire un approccio multi-biomarker, il modello richiede alcuni requisiti minimi in termini di numero ed importanza dei biomarker analizzati. Per calcolare l'indice cumulativo di pericolo per i biomarker HQ_{BM} (*flow chart* di Figura 1.3.3.2), la variazione

misurata per ciascun biomarker è confrontata con la soglia specifica e corretta sia per l'importanza biologica della risposta, che per la significatività statistica della differenza rispetto al controllo applicando il coefficiente Z già descritto per l'elaborazione dei dati di biodisponibilità. Ogni biomarker è quindi assegnato ad una classe di effetto (da assente a molto alto) a seconda dell'entità della variazione rispetto alla soglia: assente o basso se $E < 1$, medio con E compreso tra 1 e 2, alto se E è tra 2 e 3, molto alto per i biomarker con $E > 3$. I risultati di tutti i biomarker sono diversamente pesati nel calcolo del pericolo cumulativo HQ_{BM} , che non considera il contributo dei biomarker con effetto assente o basso, calcola la media degli Ew per le risposte con effetto moderato e addiziona (Σ) gli Ew delle risposte con effetto alto o molto alto. L'attribuzione di una di 5 classi di gravità deriva dalla distribuzione percentuale delle risposte dei biomarker nelle 5 classi di effetto. Il modello indica il numero di biomarker all'interno di ciascuna delle 5 classi, il valore di pericolo cumulativo HQ_{BM} e la classe di pericolo complessivo per i biomarker.

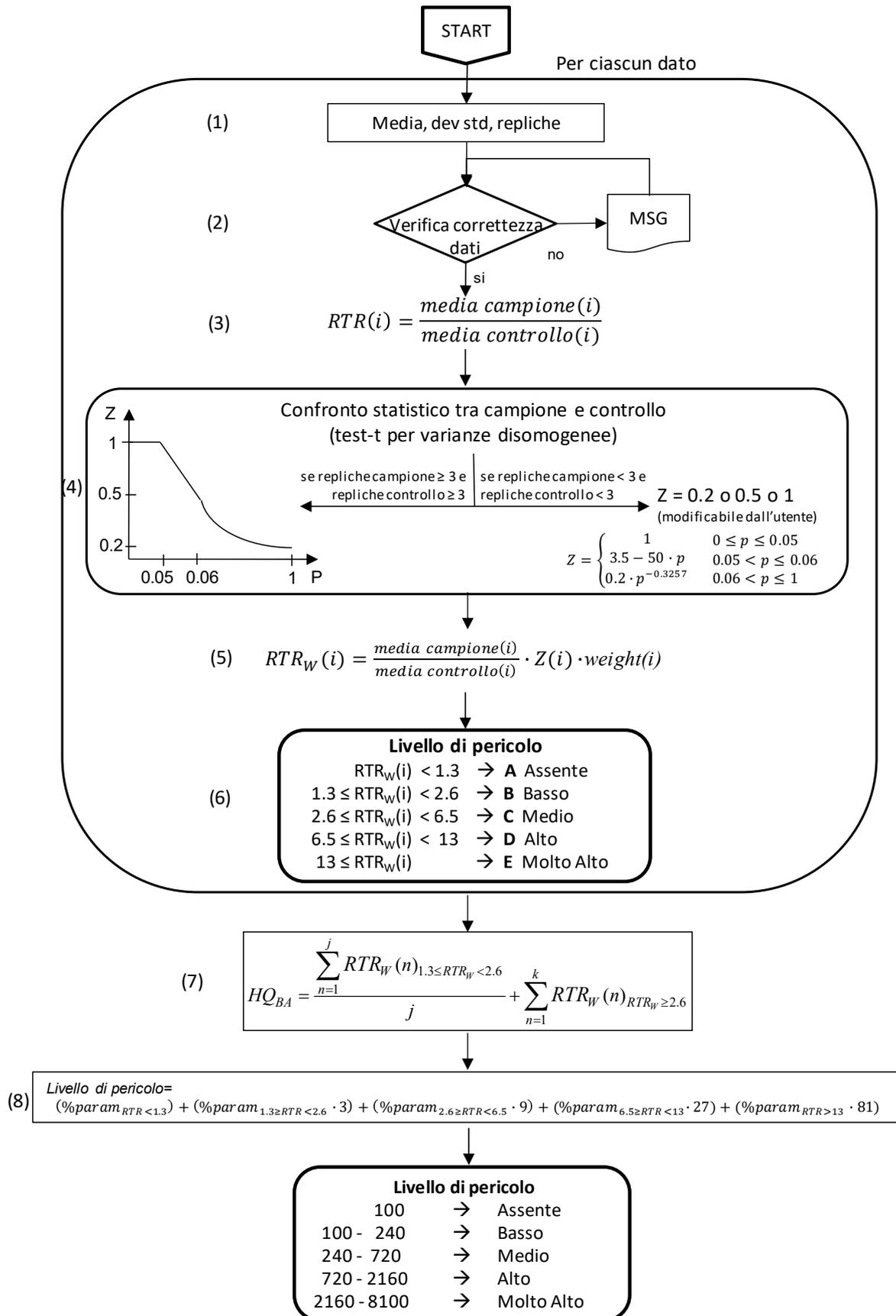


Figura 1.3.3.1. Flow-chart con la procedura per l'elaborazione dei dati di bioaccumulo nei mitili trapiantati.

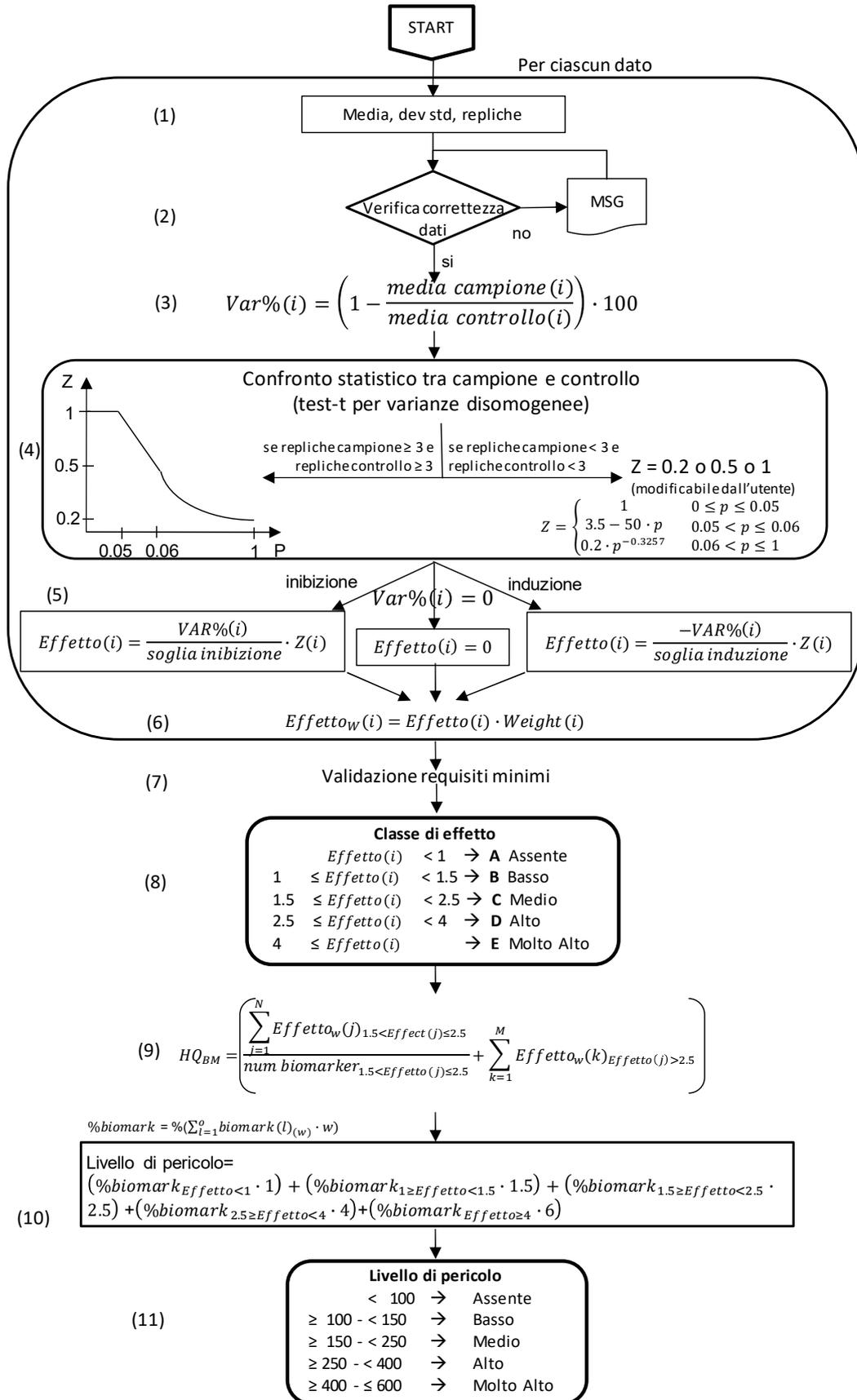


Figura 1.3.3.2. Flow-chart con la procedura per l'elaborazione dei dati dei biomarker nei mitili trapiantati.

1.4 Monitoraggio satellitare

Le immagini satellitari fornite dal CNR-ISMAR per il monitoraggio del Golfo di Salerno durante i lavori di dragaggio derivano da 2 fonti: 1. Prodotti multisensore a bassa risoluzione; 2. Sentinel3-OLCI ad alta risoluzione.

Le riflettanze sono le misure primarie fornite dai sensori satellitari di Ocean Color e danno informazione riguardo le sostanze presenti negli strati superficiali del mare. Queste grandezze derivano dalle misure di radianza fatte dai sensori al top dell'atmosfera dopo che hanno subito un processo di correzione per l'eliminazione del segnale captato dai sensori ma dovuto all'interazione della luce con l'atmosfera (correzione atmosferica). Per ottenere stime di parametri geofisici a partire dalle riflettanze satellitari si sfruttano degli algoritmi bio-ottici basati su dati raccolti a mare. In pratica si mettono in relazione le radianze, misurate con strumentazione apposita, con le concentrazioni (o assorbimenti) misurate in mare. Una volta sviluppato l'algoritmo, viene applicato alle riflettanze satellitari. In questo modo è ad esempio possibile ottenere la concentrazione di clorofilla superficiale in mare.

Il prodotto a bassa risoluzione deriva direttamente dai prodotti distribuiti dal Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS; <http://marine.copernicus.eu/>) ritagliati sull'area di interesse. Questo prodotto è il risultato di una composizione dei dati forniti da vari sensori ad 1km di risoluzione: *MODIS-Aqua*, *SNPP-VIIRS* e *OLCI-Sentinel3*. Questa composizione è fatta andando a correggere, con apposite procedure, il bias tra i sensori nell'ottica di avere dei dati uniformi senza gradienti artificiali derivati dalla diversa fonte (sensore). In particolare da CMEMS vengono prese le riflettanze nelle lunghezze d'onda del visibile e la concentrazione di clorofilla superficiale. Per quanto riguarda la concentrazione di materiale sospeso in mare (TSM), viene sfruttata la neurale sviluppata da D'Alimonte et al. (2011) che stima il TSM a partire dalle riflettanze satellitari.

I prodotti ad alta risoluzione (300m) derivano dal Sentinel3-OLCI. Questo sensore europeo, oltre ad avere una risoluzione maggiore rispetto ai satelliti statunitensi, ha un maggior numero di bande di acquisizione nell'infrarosso. Questo permette di ottenere delle osservazioni più realistiche nelle acque costiere più complesse. Le concentrazioni di TSM del Sentinel3, fornite per il monitoraggio del Golfo di Salerno, derivano dall'applicazione di una rete neurale sviluppata appositamente per questo sensore (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-olci/level-2/imt-neural-net>).

Per il monitoraggio del Golfo di Salerno vengono fornite immagini giornaliere (a bassa e alta risoluzione) di concentrazione di clorofilla, TSM e pseudo-true-color.

La concentrazione di clorofilla è un buon proxy per valutare la biomassa autotrofa presente. Nel caso specifico, una ri-sospensione di materiale e quindi di nutrienti, in determinate condizioni ambientali (luce, temperatura, condizioni meteo marine adeguate) può portare ad uno sviluppo algale locale "anomalo".

Il TSM è un ottimo indicatore della qualità delle acque. Per il monitoraggio in esame è ovviamente il parametro più indicato da osservare poiché dovrebbe dare un immediato riscontro delle attività di dragaggio in essere nel Golfo di Salerno.

Le immagini di pseudo-true-color sono delle vere e proprie fotografie dell'area in esame dalle quali è possibile individuare abbastanza facilmente le zone interessate da input fluviali o alte concentrazioni di materiale sospeso.

Il monitoraggio satellitare è iniziato il 1° gennaio 2020 e si è concluso il 7 aprile 2020. In totale sono state elaborate 97 immagini ad alta definizione della distribuzione del TSM per l'intero Golfo di Salerno. Al fine di individuare le fonti della torbidità ogni immagine è stata elaborata tenendo conto del range di valori registrati per ogni giorno.

2 Risultati- Colonna d'acqua

2.1 Aree sottoposte a dragaggio

2.1.1 Indagini idrologiche

2.1.1.1 Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)

Temperatura

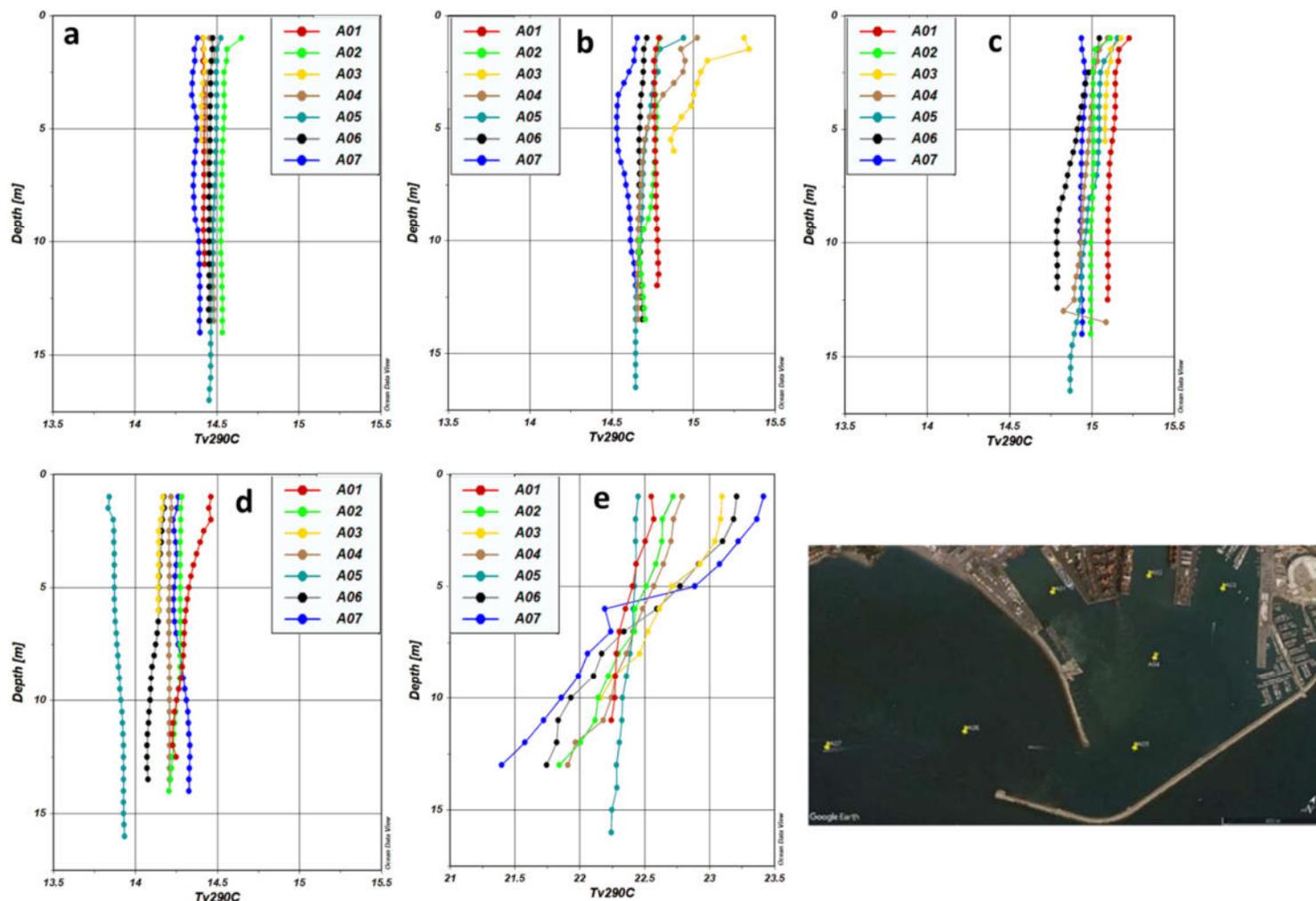


Figura 2.1.1.1.1. Profili verticali di temperatura nelle aree sottoposte a dragaggio a) 18 febbraio 2020 b) 2 marzo 2020 c) 17-18 marzo 2020 d) 24-25 marzo 2020 e) 17- 18 giugno 2020.

Dall'analisi dei profili verticali di temperatura (Figura 2.1.1.1.1) è possibile osservare una condizione di rimescolamento verticale della colonna d'acqua nei mesi invernali quando la temperatura, in una sola occasione, campagna del 24-25 marzo del 2020, è inferiore a 14°C. Durante le altre fasi di campionamento del periodo invernale le temperature si attestano su valori intorno ai 14,5°C raggiungendo anche temperature superiori a 15°C il 17-18 marzo a testimoniare un inverno caldo. Nel periodo preestivo (17-18 giugno) le temperature, lungo la colonna d'acqua, variano da un minimo di 21,4°C sul fondo ad un massimo di 23,4 in superficie (stazione A07).

Salinità

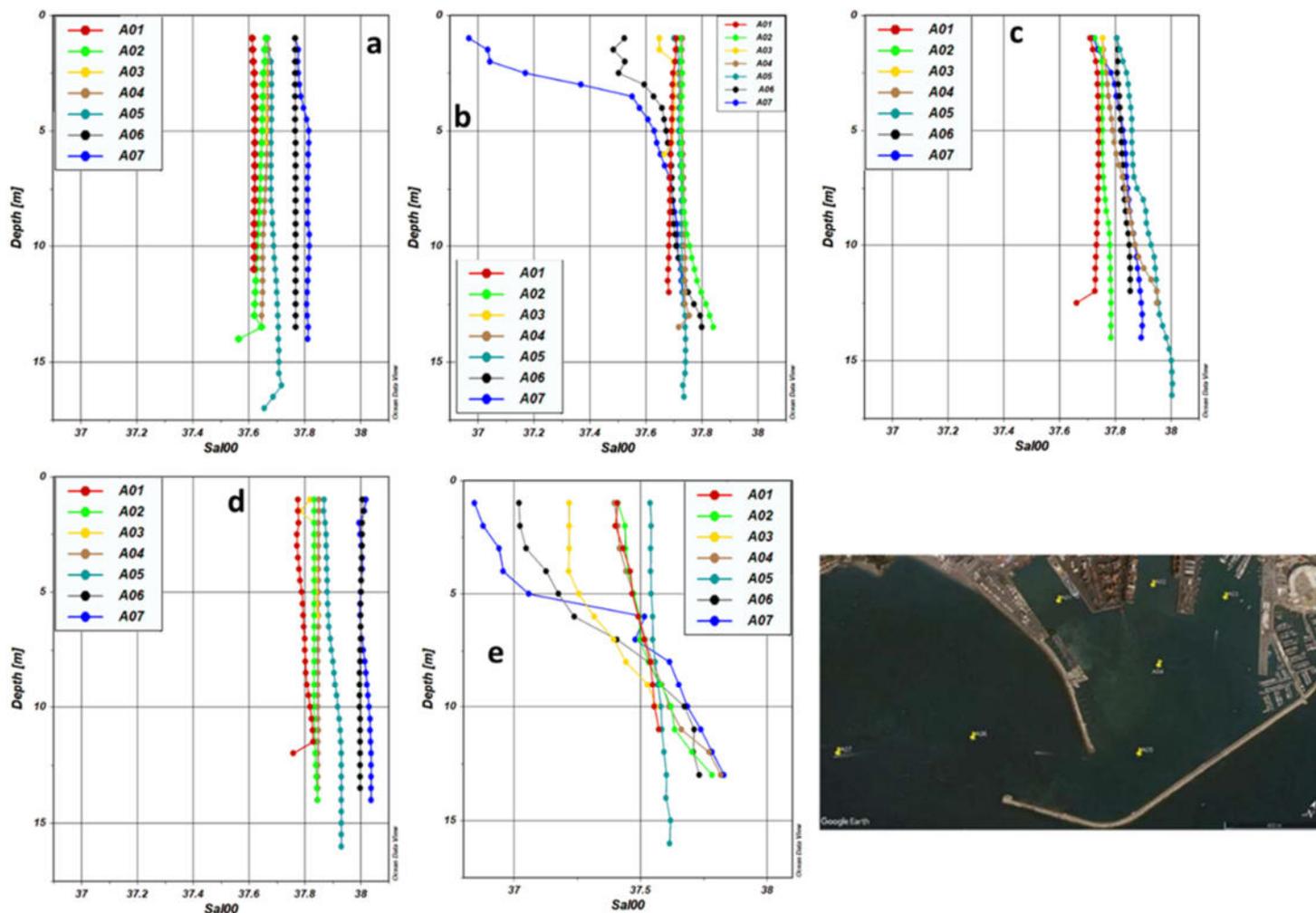


Figura 2.1.1.1.2. Profili verticali di salinità nelle aree sottoposte a dragaggio a) 18 febbraio 2020 b) 2 marzo 2020 c) 17-18 marzo 2020 d) 24-25 marzo 2020 e) 17- 18 giugno 2020.

I profili di salinità evidenziano la presenza di acqua più dolce nei primi metri della colonna d'acqua nei campionamenti del 2 marzo (stazioni A06 e A07) e del 17-18 giugno (stazioni A03, A06, A07), con un marcato aloclino mentre i restanti profili di Salinità presentano una distribuzione omogenea lungo tutta la colonna d'acqua. (Figura 2.1.1.1.2)

In particolare le 2 stazioni A06 e A07 presentano i più bassi valori di salinità nonostante siano le più esterne e quindi presumibilmente sono masse d'acqua di origine costiera ma non portuali. Appare utile segnalare che nel campionamento del 24-25 marzo nelle stazioni esterne al porto (A06 e A07) e la stazione A05 ubicata all'inboccatura del porto, si registrano valori di Salinità tipicamente mare aperte compresi tra 37,8 e 38,1

Densità

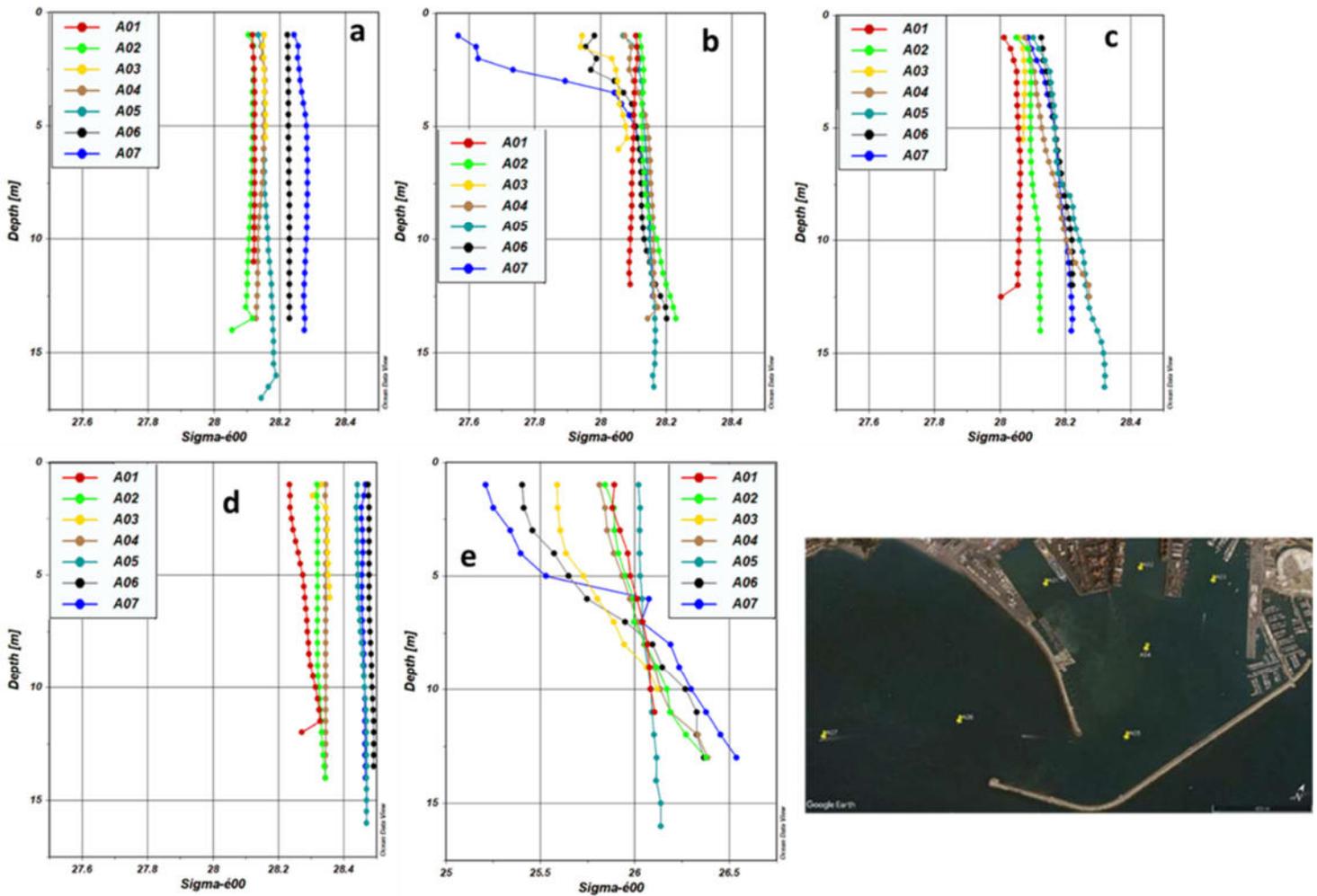


Figura 2.1.1.1.3. Profili verticali di densità nelle aree sottoposte a dragaggio a) 18 febbraio 2020
b) 2 marzo 2020 c) 17-18 marzo 2020 d) 24-25 marzo 2020 e) 17- 18 giugno 2020.

I profili di densità rispecchiano l'andamento della Salinità di inizio marzo e giugno, dove si osservano i gradienti di densità maggiori (Figura 2.1.1.1.3).

Torbidità

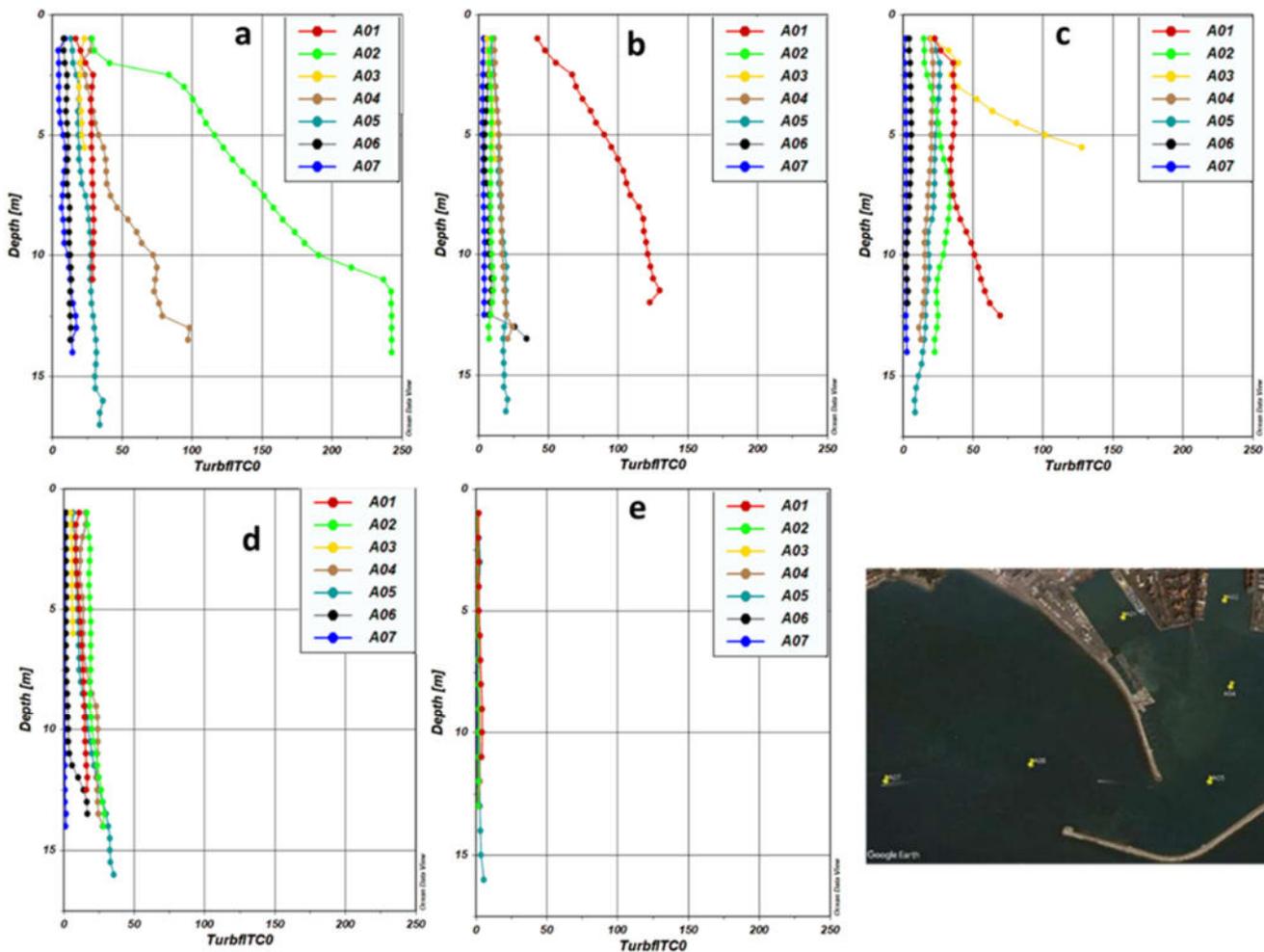


Figura 2.1.1.1.4. Profili verticali di torbidità nelle aree sottoposte a dragaggio a) 18 febbraio 2020
 b) 2 marzo 2020 c) 17-18 marzo 2020 d) 24-25 marzo 2020 e) 17- 18 giugno 2020.

I profili verticali di torbidità non mostrano un *pattern* spaziale ben definito. I valori più bassi si osservano in corrispondenza della stazione A07, la più esterna tra quelle ubicate nel canale d'ingresso mentre i valori più elevati sono stati registrati sempre nelle stazioni ubicate nelle darsene. In generale non si osserva un aumento di Torbidità al fondo, se non nelle stazioni (A01, A02 e A03) (Figura 2.1.1.4). Dai profili di torbidità appare evidente che gli elevati valori di torbidità soprattutto sul fondo, superiori ai limiti d'intervento sono dovuti a campionamenti effettuati mentre la draga era in piena attività. L'aspetto estremamente positivo è che questa torbidità resta segregata nella parte più interna dell'area portuale. I profili della torbidità da superficie al fondo nelle stazioni A04 e A05, ubicate al centro e all'imboccatura del porto evidenziano valori di poco superiori o comunque dello stesso ordine di grandezza di quelli registrati nella fase *ante operam*

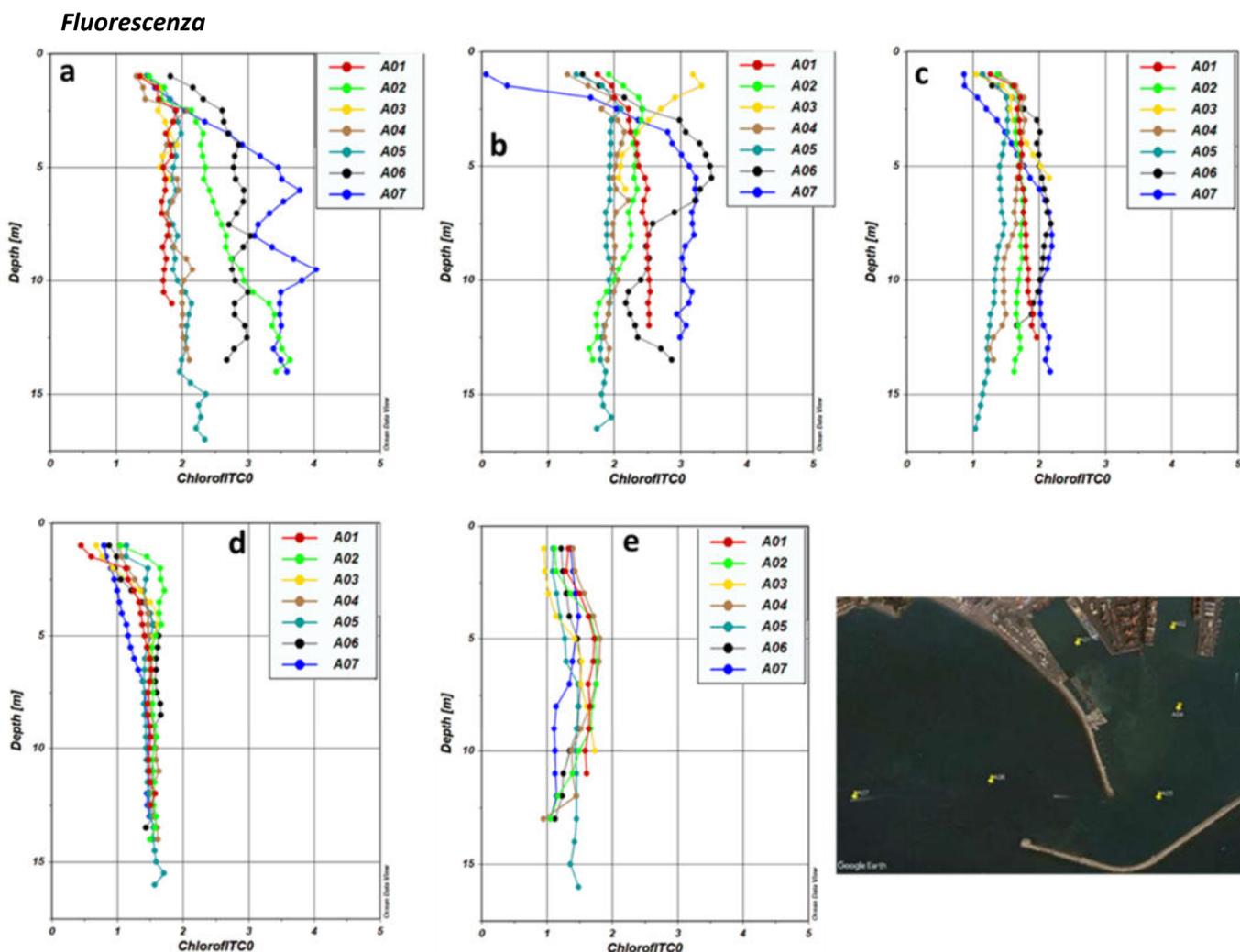


Figura 2.1.1.1.5. Profili verticali di fluorescenza nelle aree sottoposte a dragaggio a) a) 18 febbraio 2020
 b) 2 marzo 2020 c) 17-18 marzo 2020 d) 24-25 marzo 2020 e) 17- 18 giugno 2020.

I dati acquisiti a febbraio ed inizio marzo presentano i valori più elevati di fluorescenza rispettivamente nelle stazioni A02, A06 e A07 (febbraio) ed A02, A06 e A07 (2 marzo 2020). In una stazione interna (A02) e nelle due stazioni più esterne (A06 e A07) Nei campionamenti successivi i profili mostrano valori abbastanza simili nelle differenti stazioni in tutta l'area indagata (Figura 2.1.1.1.5). I valori di fluorescenza in termini di biomassa fitoplanctonica sono da considerarsi modesti e simili a quelli riscontrati in condizioni di naturalità considerando, tra l'altro, che sono stati raccolti nella fase di un imponente dragaggio di sedimenti marini portuali.

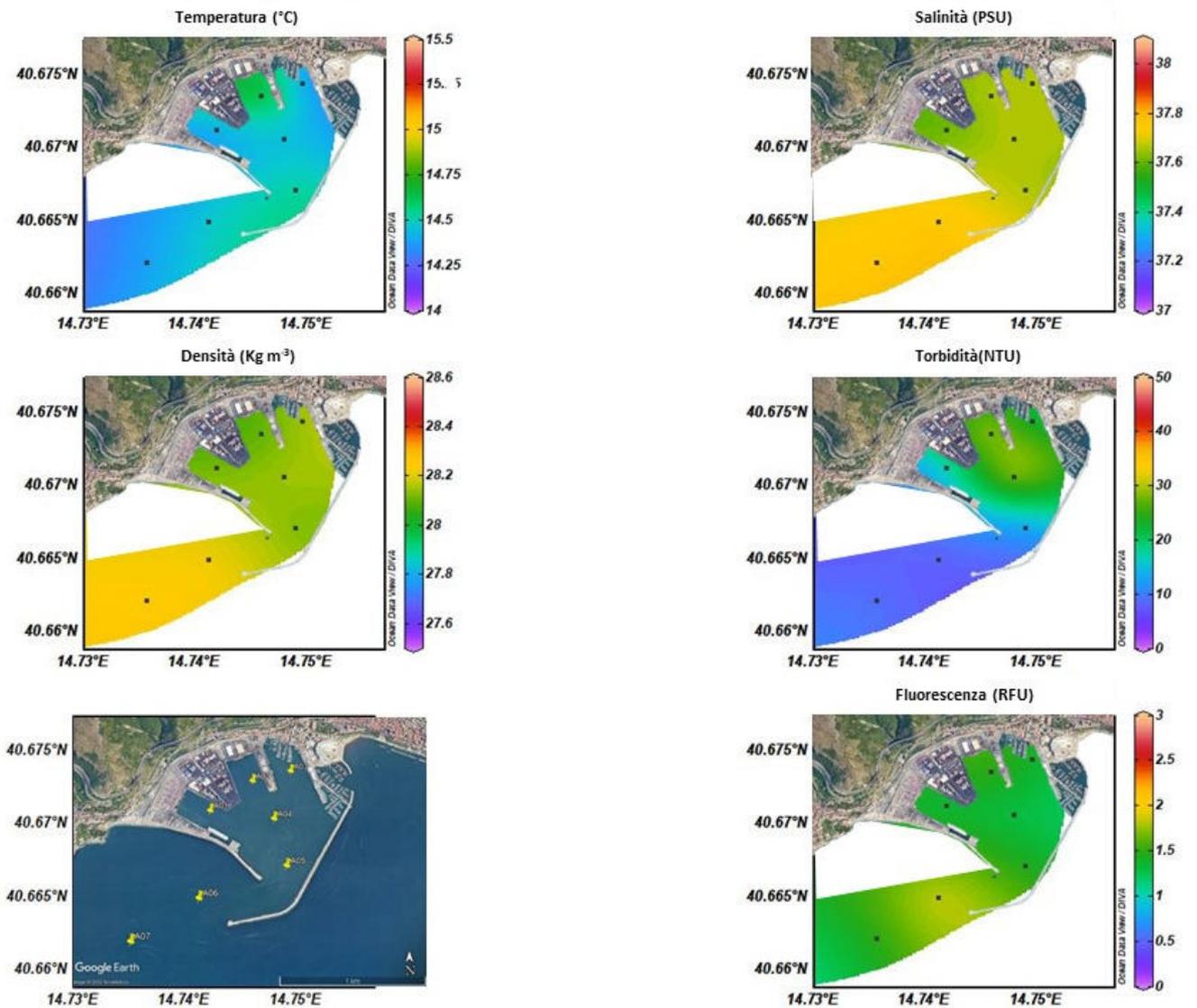


Figura 2.1.1.1.6. Mappa superficiale di temperatura, salinità, densità e fluorescenza nelle aree sottoposte a dragaggio - Prima Campagna 18 febbraio 2020

Dall'analisi delle mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla I Campagna, è possibile notare una distribuzione uniforme su tutta l'area per i parametri principali ad eccezione della torbidità che presenta concentrazioni elevate di soliti sospesi nella parte più interna del Porto commerciale di Salerno (stazione A03) comunque inferiori al limite d'intervento. I valori di biomassa fitoplanctonica sono in linea con i valori di aree portuali con concentrazioni tipiche di aree a caratteristiche mesotrofiche.

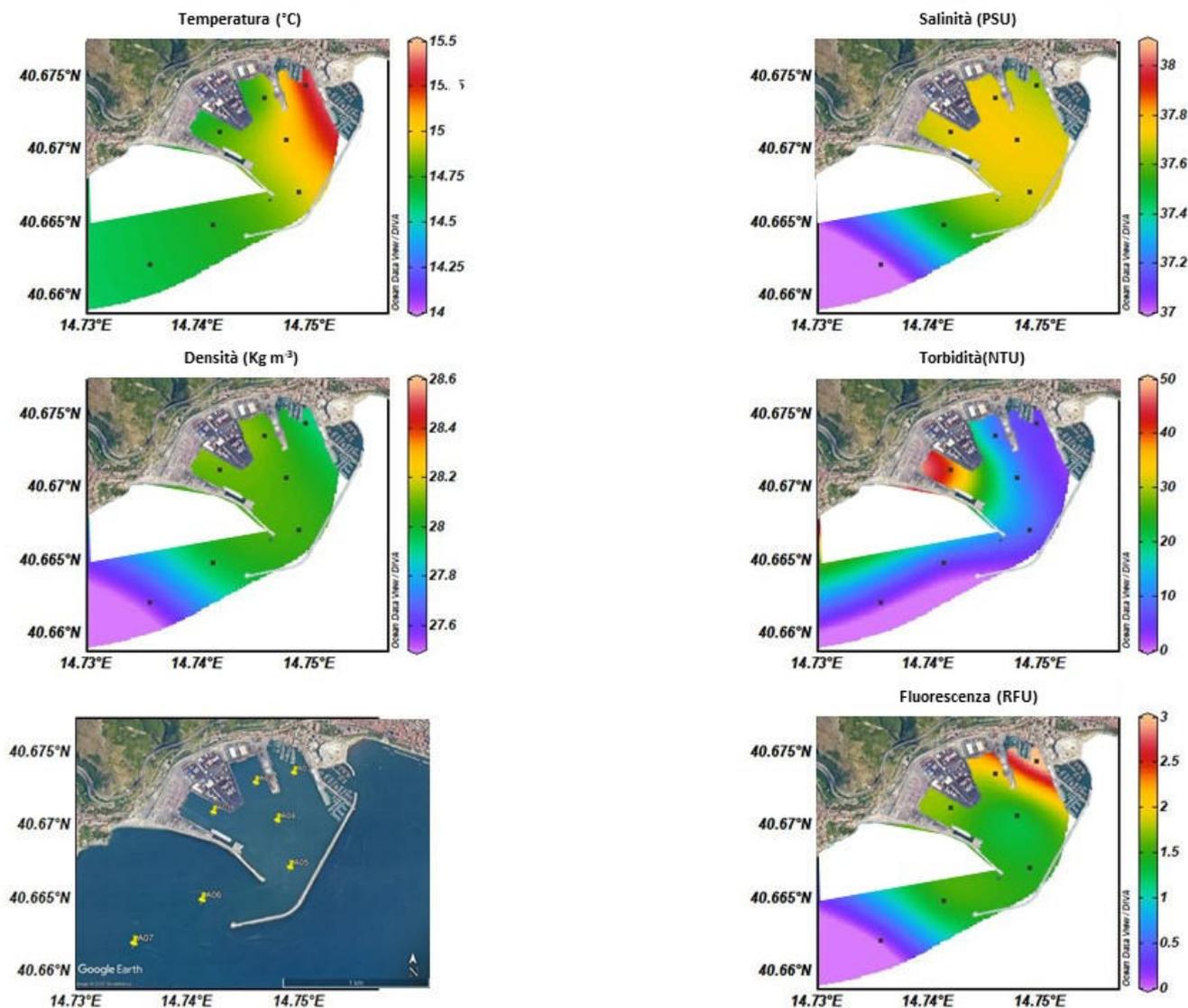


Figura 2.1.1.1.7. Mappa superficiale di temperatura, salinità, densità e fluorescenza nelle aree sottoposte a dragaggio - Seconda Campagna, 2 marzo 2020

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla II Campagna non mostrano anomalie nella distribuzione dei parametri principali su tutta l'area esaminata. Si osservano chiari gradienti costa largo nelle proprietà termolinendelle masse d'acqua superficiali. Solo la torbidità presenta valori più elevati nella stazione A01 dovuta all'attività concentrata della draga in quell'area ma in diminuzione nell'area esterna al porto.

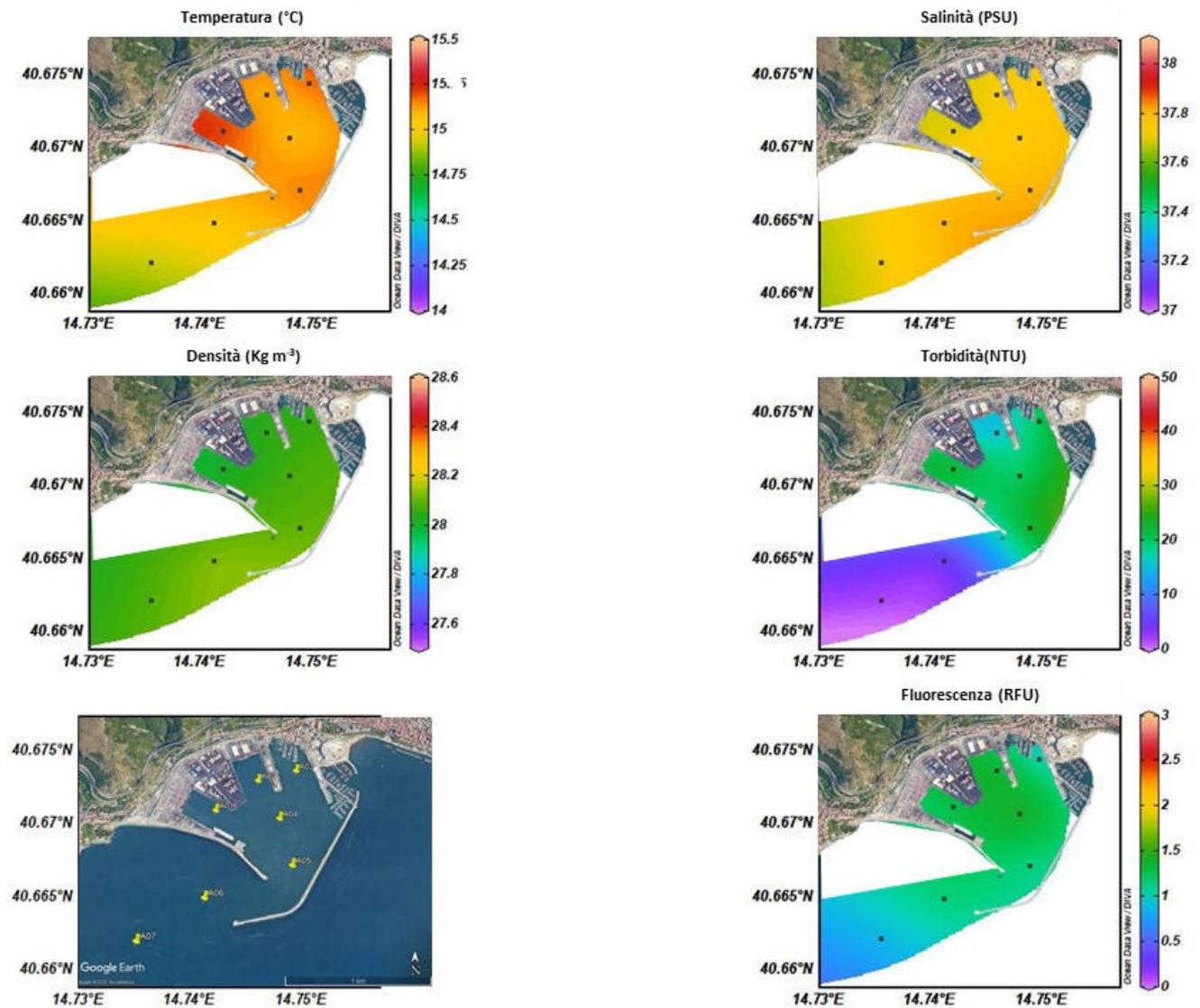


Figura 2.1.1.1.8. Mappa superficiale di temperatura, salinità, densità e fluorescenza nelle aree sottoposte a dragaggio - Terza Campagna 17-18 marzo 2020

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla III Campagna mostrano una distribuzione abbastanza omogenea dei parametri principali su tutta l'area esaminata. La presenza di gradienti costa largo riscontrabili in alcuni parametri sono da attribuire alla dinamica intrinseca dell'area indagata. La torbidità presenta valori più elevati nella parte più interna del porto.

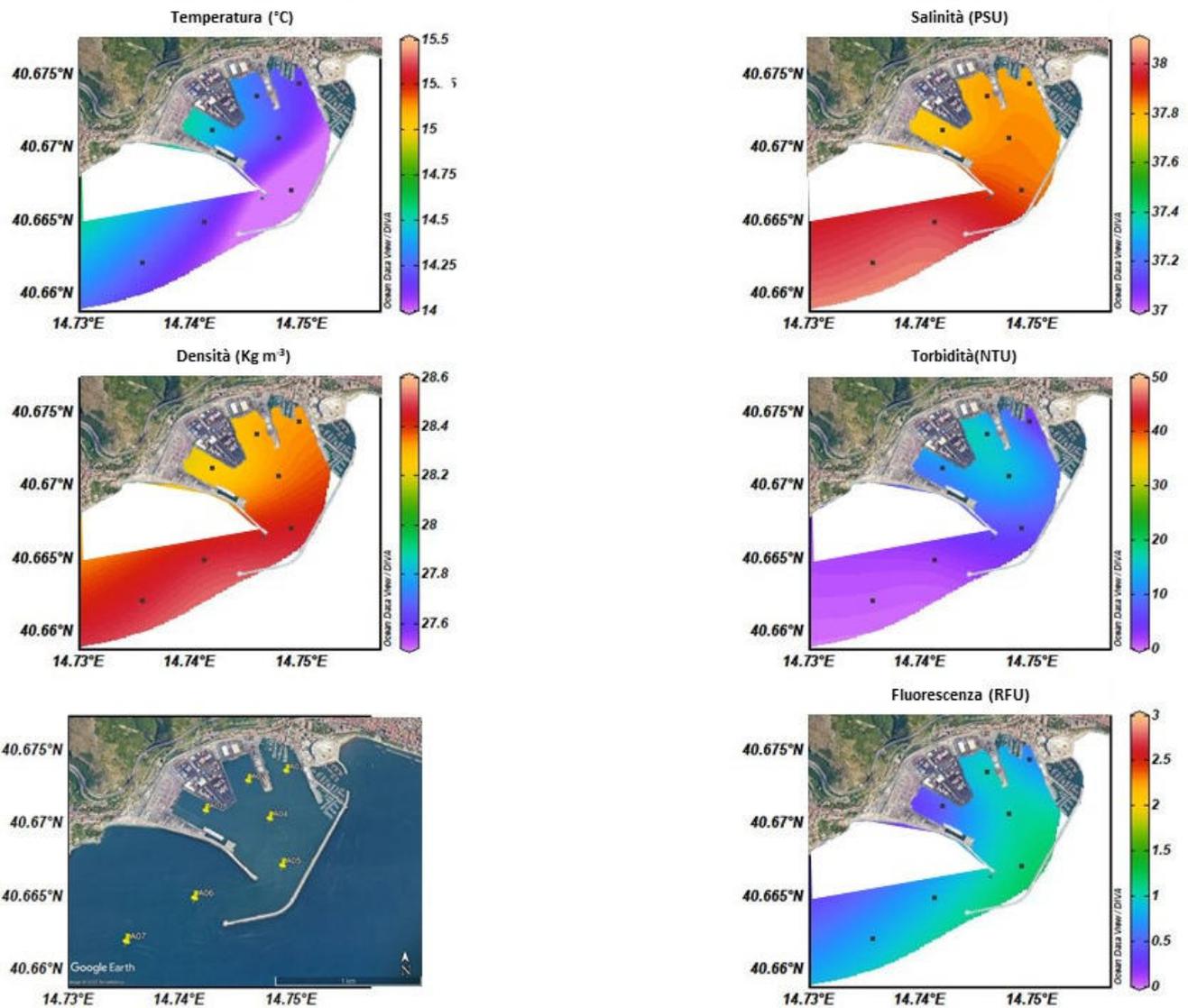


Figura 2.1.1.1.9. Mappa superficiale di temperatura, salinità, densità e fluorescenza nelle aree sottoposte a dragaggio - Quarta Campagna 24-25 marzo 2020

Dall' analisi delle mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla IV Campagna, è possibile notare una distribuzione abbastanza uniforme su tutta l'area per i parametri principali, senza significative variazioni tra l'area all'interno e all'esterno del porto. Nella distribuzione della salinità appare evidente che l'area portuale è interessata da valori tipici di ambienti pelagici senza evidenza di apporti dolci durante questa campagna.

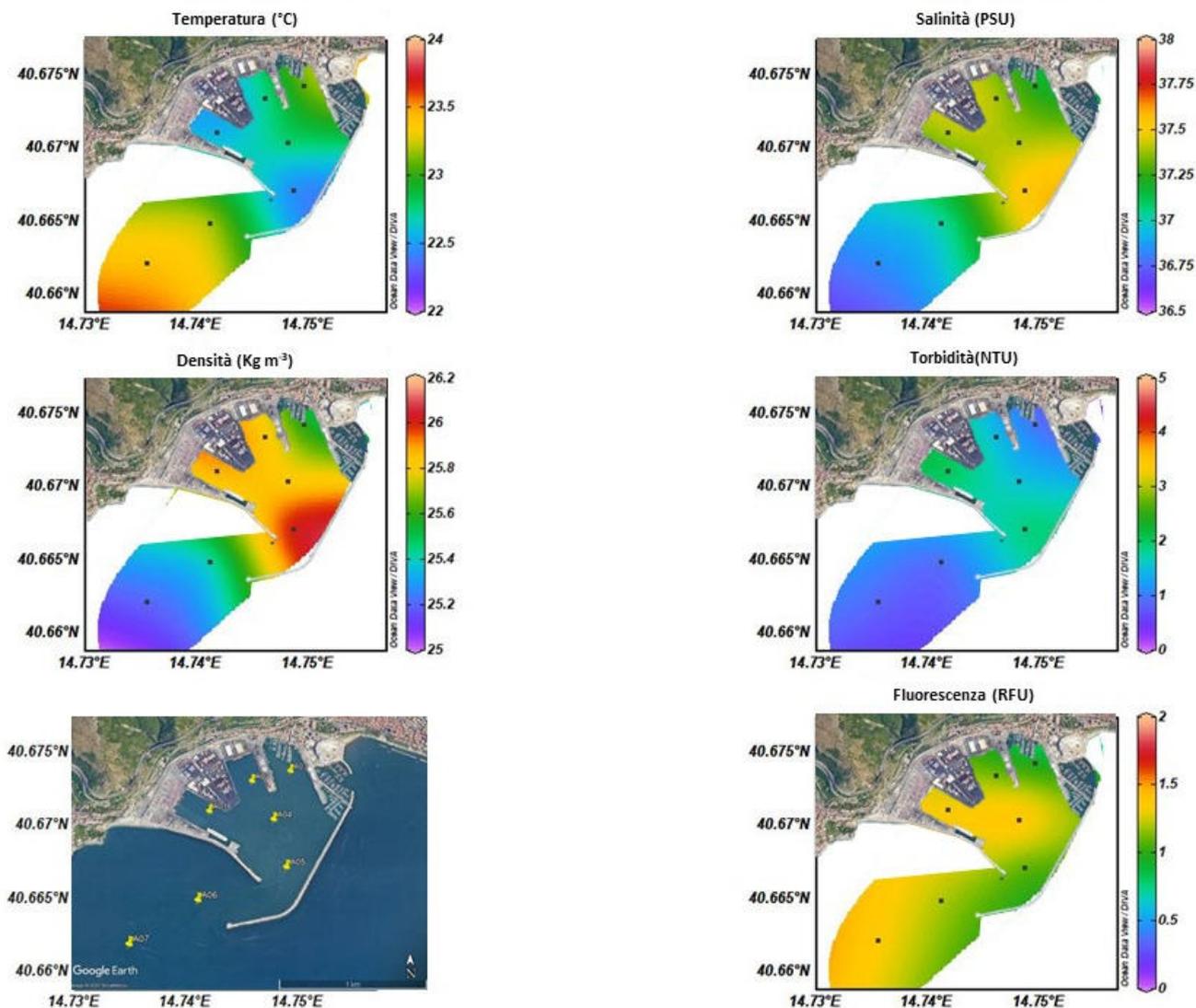


Figura 2.1.1.1.10. Mappa superficiale di temperatura, salinità, densità e fluorescenza nelle aree sottoposte a dragaggio - Quinta Campagna 17-18 giugno 2020

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla V Campagna mostrano un andamento variabile dei parametri principali su tutta l'area esaminata da attribuire alla dinamica intrinseca dell'area indagata e alla variabilità stagionale. La torbidità presenta valori leggermente più elevati nella parte più interna del porto ma con valori tipici di aree portuali di modeste dimensioni e caratterizzati per questa variabile da risospensione di sementi da traffico marittimo. Appare opportuna una riflessione sintetica sulla distribuzione delle variabili analizzate nel corso delle cinque campagne effettuate, di cui quattro invernali e una di tarda primavera. L'aspetto più evidente del potenziale impatto sugli ecosistemi marini delle operazioni di dragaggio del Porto Commerciale di Salerno e del Canale d'ingresso è evidenziato dalla distribuzione della torbidità che appare segregata nella parte interna e ha una influenza trascurabile sulle acque esterne all'area portuale. L'analisi delle matrici conservative, organismi e sedimenti e del Mussel Watch possono, definire con maggiore chiarezza l'impatto delle operazioni di dragaggio su organismi e, più

in generale sugli ecosistemi marini potenzialmente impattati da tale attività.

2.1.1.2 Caratterizzazione chimica

Nutrienti

Le concentrazioni dei nutrienti inorganici presentano, generalmente, un aumento durante le attività di dragaggio. Le concentrazioni più elevate si osservano nelle stazioni interne al Porto (A01-A05), mentre nelle stazioni A06 e A07 gli effetti dei lavori sono meno visibili e i valori dei nutrienti mostrano una variabilità molto più contenuta.

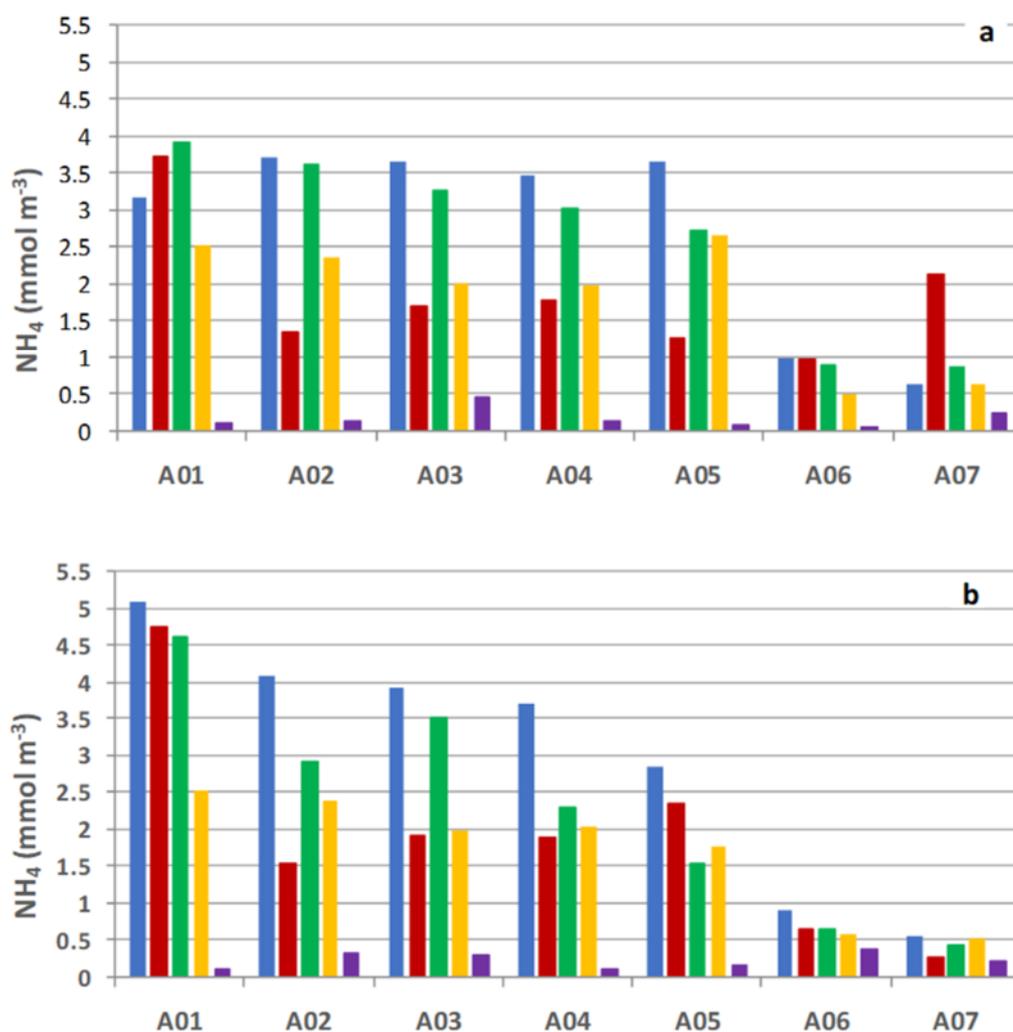


Figura 2.1.1.2.1. Concentrazioni dell'ammoniaca nell'area di dragaggio **a)** in superficie e **b)** al fondo il 18 febbraio (■), il 2 marzo (■), il 17-18 marzo (■), il 24-25 marzo (■) e il 17-18 giugno (■) 2020.

Le concentrazioni di ammoniaca (Figura 2.1.1.2.1) sono comprese nel range 0.05-5.07 mmoli m⁻³ e presentano un valore medio di 1.83 mmoli m⁻³. Le concentrazioni più elevate sono state rilevate nel corso del primo campionamento (febbraio 2020) e per tutta la durata dei lavori è possibile osservare un generale

incremento dei valori di ammoniaca, più marcato in corrispondenza delle stazioni ubicate all'interno del porto. Al termine dei lavori si osservano concentrazioni paragonabili con quelle registrate durante il monitoraggio ante operam.

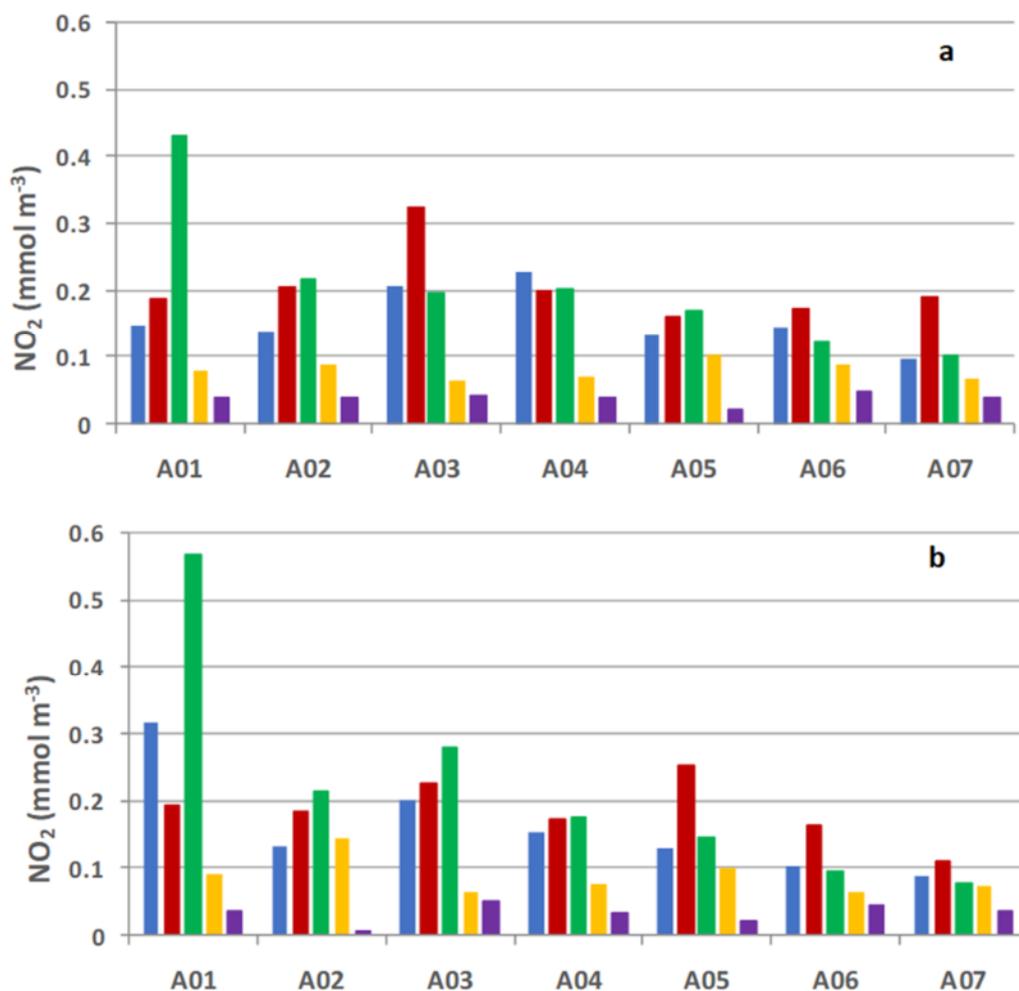


Figura 2.1.1.2.2. Concentrazioni dei nitriti nell'area di dragaggio **a**) in superficie e **b**) al fondo il 18 febbraio (■), il 2 marzo (■), il 17-18 marzo (■), il 24-25 marzo (■) e il 17-18 giugno (■) 2020.

Le concentrazioni dei nitriti nell'area di dragaggio sono comprese tra valori inferiori al limite di rilevabilità (0.01 mmoli m⁻³) e 0.57 mmoli m⁻³ (Figura 2.1.1.2.2). Il valore medio dell'area è 0.14 mmoli m⁻³.

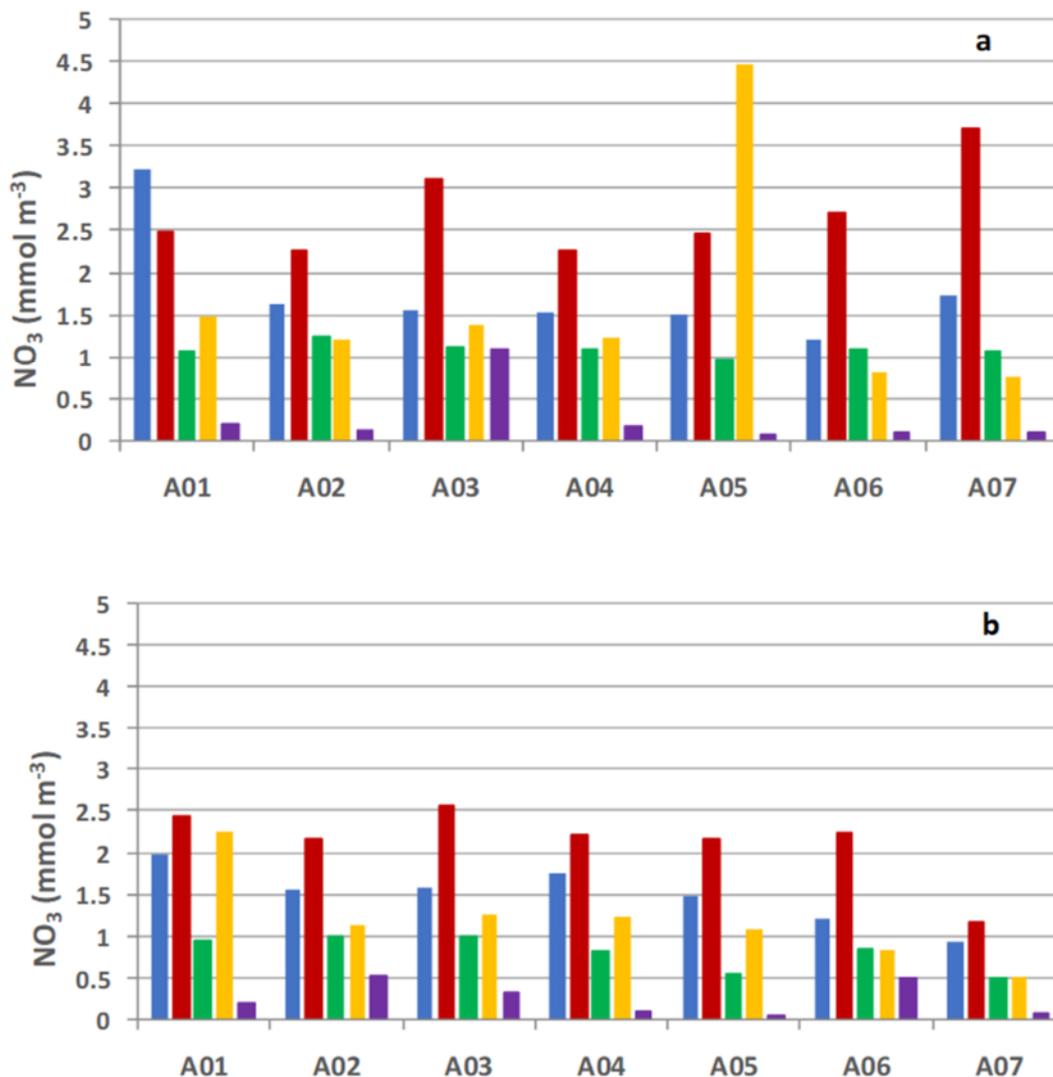


Figura 2.1.1.2.3 Concentrazioni dei nitrati nell'area di dragaggio **a**) in superficie e **b**) al fondo il 18 febbraio (■), il 2 marzo (■), il 17-18 marzo (■), il 24-25 marzo (■) e il 17-18 giugno (■) 2020.

I nitrati nell'area di dragaggio, presentano una concentrazione media di 1.34 mmoli m⁻³. I valori più elevati si osservano in superficie, dove si registra il valore massimo (4.48 mmoli m⁻³) alla stazione A05 nel corso dell'ultimo campionamento di marzo. Valori sensibilmente inferiori (fino a 0.05mmoli m⁻³) sono stati osservati in corrispondenza dell'ultima campagna effettuata nel mese di giugno 2020 (Figura 2.1.1.2.3).

La concentrazione media dei nitrati, misurata nel corso dell'ultima campagna (0.26 mmoli m⁻³) risulta essere molto simile al valore medio osservato nel corso del monitoraggio ante operam (0.18 mmoli m⁻³).

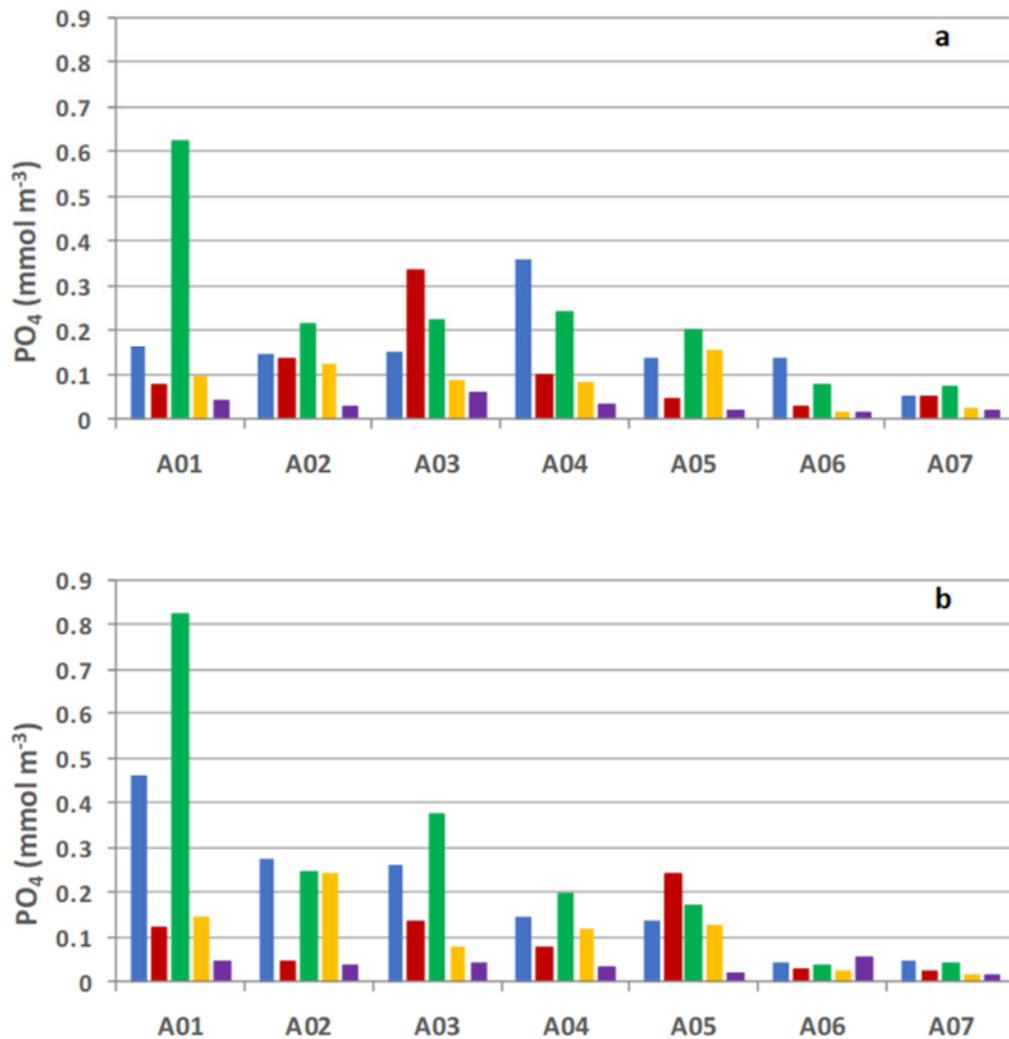


Figura 2.1.1.2.4. Concentrazioni dei fosfati nell’area di dragaggio **a**) in superficie e **b**) al fondo il 18 febbraio (■), il 2 marzo (■), il 17-18 marzo (■), il 24-25 marzo (■) e il 17-18 giugno (■) 2020

Anche per i fosfati è possibile osservare un aumento delle concentrazioni durante i lavori di dragaggio (Figura 2.1.1.2.4) in corrispondenza delle stazioni interne al porto (A01-A05). Le concentrazioni osservate durante le cinque campagne effettuate risultano comprese tra 0.02 e 0.82 mmoli m⁻³, la concentrazione media è pari a 0.13 mmoli m⁻³.

La concentrazione media dei fosfati a giugno 2020 (0.03 mmoli m⁻³) risulta leggermente inferiore al valore medio misurato nel corso del monitoraggio ante operam (0.04 mmoli m⁻³).

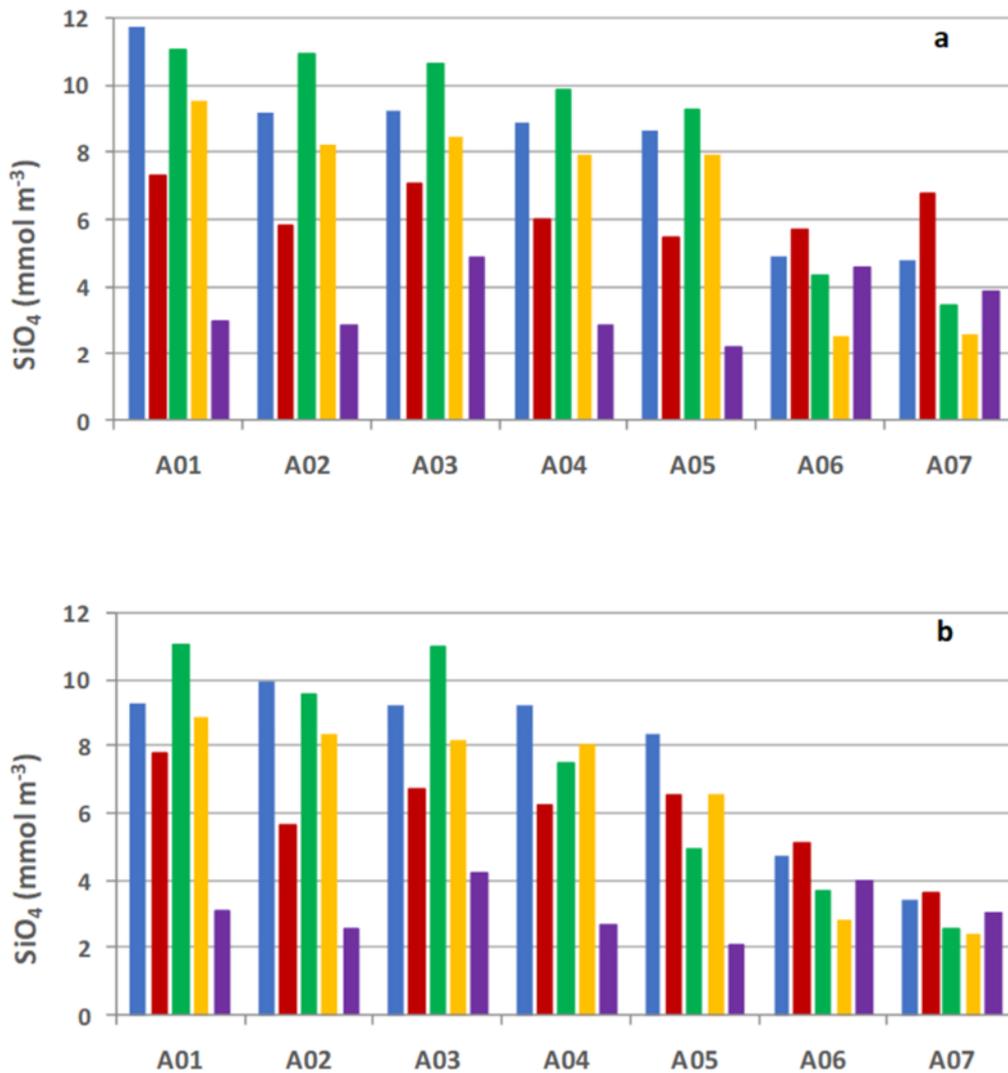


Figura 2.1.1.2.5. Concentrazioni dei silicati nell'area di dragaggio **a)** in superficie e **b)** al fondo il 18 febbraio (■), il 2 marzo (■), il 17-18 marzo (■), il 24-25 marzo (■) e il 17-18 giugno (■) 2020

In tutte le stazioni le concentrazioni dei silicati misurate durante i lavori di escavo (sia in superficie sia al fondo) risultano più elevate rispetto ai valori registrati a giugno (Figura 2.1.1.2.5). Le concentrazioni variano tra 2.09 mmoli m⁻³ e 11.74 mmoli m⁻³ (valore medio di 6.36 mmoli m⁻³). La concentrazione media dei silicati misurata nel corso dell'ultima campagna (3.28 mmoli m⁻³) risulta essere praticamente identica al valore medio osservato nel corso del monitoraggio ante operam (3.69 mmoli m⁻³).

Si riportano nella tabella seguente (Tabella 2.1.1.2.1) le concentrazioni dei nutrienti inorganici misurate nell'area di dragaggio. L'analisi della distribuzione dei nutrienti inorganici non evidenzia criticità nell'ecosistema pelagico.

Tabella 2.1.1.2.1. Concentrazioni dei nutrienti inorganici nell'area di dragaggio.

Campione	Profondità (m)	NH ₄ (mmoli m ⁻³)	NO ₂ (mmoli m ⁻³)	NO ₃ (mmoli m ⁻³)	PO ₄ (mmoli m ⁻³)	SiO ₄ (mmoli m ⁻³)
A01 S_1	0	3.16	0.15	3.22	0.16	11.74
A01 F_1	10.7	5.07	0.32	1.99	0.46	9.31
A02 S_1	0	3.72	0.14	1.65	0.15	9.16
A02 F_1	11.5	4.08	0.13	1.57	0.27	9.91
A03 S_1	0	3.66	0.21	1.56	0.15	9.24
A03 F_1	4.2	3.91	0.20	1.59	0.26	9.24
A04 S_1	0	3.46	0.23	1.54	0.36	8.86
A04 F_1	13	3.72	0.15	1.77	0.15	9.21
A05 S_1	0	3.66	0.13	1.52	0.14	8.65
A05 F_1	15.3	2.84	0.13	1.48	0.14	8.34
A06 S_1	0	0.98	0.14	1.21	0.14	4.89
A06 F_1	14	0.90	0.10	1.21	0.04	4.72
A07 S_1	0	0.64	0.10	1.73	0.05	4.81
A07 F_1	14.5	0.56	0.09	0.95	0.05	3.46
A01 S_2	0	3.72	0.19	2.48	0.08	7.32
A01 F_2	12.6	4.75	0.19	2.44	0.12	7.77
A02 S_2	0	1.35	0.21	2.26	0.14	5.82
A02 F_2	12.4	1.54	0.18	2.16	0.05	5.66
A03 S_2	0	1.70	0.32	3.10	0.33	7.06
A03 F_2	5.5	1.91	0.23	2.57	0.13	6.72
A04 S_2	0	1.77	0.20	2.26	0.10	6.02
A04 F_2	12	1.90	0.17	2.22	0.08	6.24
A05 S_2	0	1.27	0.16	2.46	0.05	5.47
A05 F_2	15.8	2.35	0.25	2.17	0.24	6.52
A06 S_2	0	0.96	0.17	2.72	0.03	5.72
A06 F_2	12.5	0.64	0.16	2.24	0.03	5.12
A07 S_2	0	2.13	0.19	3.70	0.05	6.76
A07 F_2	9.5	0.26	0.11	1.18	0.03	3.65
A01 S_3	0	3.92	0.43	1.07	0.63	11.02
A01 F_3	12.6	4.62	0.57	0.94	0.82	11.03
A02 S_3	0	3.60	0.22	1.24	0.22	10.94
A02 F_3	12.4	2.91	0.21	1.01	0.25	9.56
A03 S_3	0	3.27	0.20	1.11	0.23	10.64
A03 F_3	5.5	3.51	0.28	0.99	0.37	10.99
A04 S_3	0	3.01	0.20	1.09	0.24	9.86
A04 F_3	12	2.30	0.18	0.83	0.20	7.48
A05 S_3	0	2.73	0.17	0.97	0.20	9.24
A05 F_3	15.8	1.53	0.15	0.56	0.17	4.94
A06 S_3	0	0.88	0.12	1.09	0.08	4.34
A06 F_3	12.5	0.66	0.10	0.85	0.04	3.67
A07 S_3	0	0.86	0.10	1.07	0.07	3.49
A07 F_3	9.5	0.43	0.08	0.51	0.04	2.56
A01 S_4	0	2.51	0.08	1.49	0.10	9.53
A01 F_4	12.6	2.51	0.09	2.26	0.15	8.84
A02 S_4	0	2.37	0.09	1.22	0.12	8.25
A02 F_4	12.4	2.40	0.14	1.15	0.24	8.36
A03 S_4	0	2.00	0.07	1.39	0.09	8.48
A03 F_4	5.5	1.99	0.06	1.27	0.08	8.18
A04 S_4	0	1.99	0.07	1.24	0.09	7.93
A04 F_4	12	2.04	0.08	1.24	0.12	8.02
A05 S_4	0	2.65	0.10	4.48	0.15	7.92

A05 F_4	15.8	1.76	0.10	1.08	0.13	6.57
A06 S_4	0	0.50	0.09	0.83	0.02	2.57
A06 F_4	12.5	0.59	0.06	0.84	0.03	2.81
A07 S_4	0	0.64	0.07	0.76	0.03	2.59
A07 F_4	9.5	0.52	0.07	0.52	0.02	2.40
A01 S_5	0	0.12	0.04	0.20	0.04	2.98
A01 F_5	10.7	0.11	0.04	0.20	0.05	3.11
A02 S_5	0	0.14	0.04	0.13	0.03	2.85
A02 F_5	12.7	0.32	0.01	0.54	0.04	2.57
A03 S_5	0	0.46	0.04	1.09	0.06	4.86
A03 F_5	9.5	0.31	0.05	0.34	0.04	4.24
A04 S_5	0	0.13	0.04	0.17	0.03	2.86
A04 F_5	13.6	0.12	0.03	0.11	0.03	2.67
A05 S_5	0	0.08	0.02	0.09	0.02	2.19
A05 F_5	14.8	0.15	0.02	0.05	0.02	2.09
A06 S_5	0	0.05	0.05	0.10	0.02	4.56
A06 F_5	13	0.38	0.04	0.50	0.05	3.98
A07 S_5	0	0.26	0.04	0.11	0.02	3.87
A07 F_5	13	0.21	0.04	0.09	0.02	3.05

Solidi sospesi

Le concentrazioni dei solidi sospesi totali (TSS), riportate in Figura 2.1.1.2.6, sono comprese tra 1.61 g m^{-3} e 166.82 g m^{-3} e presentano un valore medio pari a 22.71 g m^{-3} . I valori di TSS, come osservato in precedenza per i nutrienti, risultano più elevati durante le attività di dragaggio. In particolare, valori notevolmente elevati di TSS ($>100 \text{ g m}^{-3}$) si osservano nel corso dei primi due campionamenti (febbraio e inizio marzo). Le concentrazioni osservate al termine dei lavori (giugno 2020) presentano un valore medio di 5.04 g m^{-3} paragonabile con il valore medio osservato durante le tre campagne effettuate nel corso del monitoraggio *ante operam* (2.59 g m^{-3}). Il limite d'intervento è stato superato solo in quattro occasioni e per un tempo limitato all'interno dell'area portuale, in presenza della draga in attività di dragaggio, durante la prima e la seconda campagna

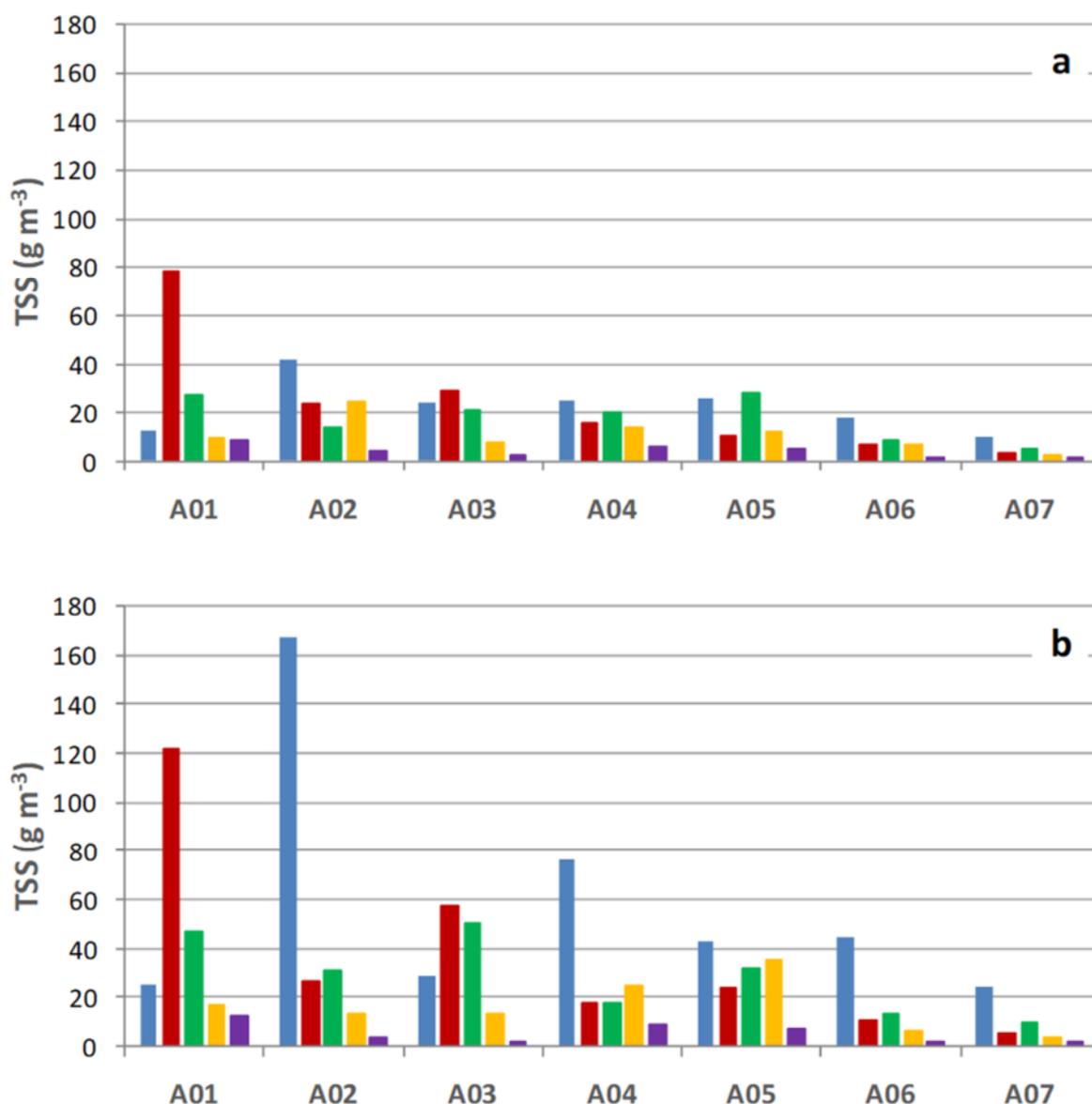


Figura 2.1.1.2.6. Concentrazioni dei solidi sospesi totali (TSS) nell'area di dragaggio a) in superficie e b) al fondo il 18 febbraio (■), il 2 marzo (■), il 17-18 marzo (■), il 24-25 marzo (■) e il 17-18 giugno (■) 2020.

Tabella 2.1.1.2.2. Concentrazioni dei solidi sospesi totali (TSS) nell'area di dragaggio.

Campione	Profondità (m)	TSS (g m⁻³)
A01 S_1	0	13.03
A01 F_1	10.7	25.39
A02 S_1	0	41.42
A02 F_1	11.5	166.82
A03 S_1	0	24.17
A03 F_1	4.2	28.87
A04 S_1	0	25.19
A04 F_1	13	76.64
A05 S_1	0	25.87
A05 F_1	15.3	42.68
A06 S_1	0	18.10
A06 F_1	14	44.42
A07 S_1	0	10.06
A07 F_1	14.5	24.79
A01 S_2	0	78.34
A01 F_2	12.6	122.10
A02 S_2	0	23.70
A02 F_2	12.4	26.82
A03 S_2	0	28.79
A03 F_2	5.5	57.29
A04 S_2	0	15.56
A04 F_2	12	17.75
A05 S_2	0	10.22
A05 F_2	15.8	24.28
A06 S_2	0	7.10
A06 F_2	12.5	11.14
A07 S_2	0	3.71
A07 F_2	9.5	5.26
A01 S_3	0	26.89
A01 F_3	12.6	47.29
A02 S_3	0	13.73
A02 F_3	12.4	30.79
A03 S_3	0	20.95
A03 F_3	5.5	50.12
A04 S_3	0	20.64
A04 F_3	12	18.01
A05 S_3	0	28.55
A05 F_3	15.8	32.19
A06 S_3	0	9.01
A06 F_3	12.5	13.47
A07 S_3	0	5.58
A07 F_3	9.5	9.70
A01 S_4	0	9.85
A01 F_4	12.6	16.83
A02 S_4	0	24.33
A02 F_4	12.4	13.77
A03 S_4	0	7.88
A03 F_4	5.5	13.44
A04 S_4	0	14.31

A04 F_4	12	25.01
A05 S_4	0	12.18
A05 F_4	15.8	35.34
A06 S_4	0	6.73
A06 F_4	12.5	6.65
A07 S_4	0	2.18
A07 F_4	9.5	4.04
A01 S_5	0	8.93
A01 F_5	10.7	12.81
A02 S_5	0	4.52
A02 F_5	12.7	4.03
A03 S_5	0	2.28
A03 F_5	9.5	2.07
A04 S_5	0	6.23
A04 F_5	13.6	9.12
A05 S_5	0	5.46
A05 F_5	14.8	7.47
A06 S_5	0	1.70
A06 F_5	13	2.31
A07 S_5	0	1.61
A07 F_5	13	2.10

Metalli

Si riportano nella seguente tabella (2.1.1.2.5) le concentrazioni dei metalli nel particolato sospeso (Cadmio, Cromo, Rame, Piombo, Zinco e Mercurio) misurate nell'area di dragaggio nel corso delle cinque differenti campagne di misura.

Tabella 2.1.1.2.5. Concentrazioni dei metalli nel particolato nell'area di dragaggio.

Descrizione campione	Data campionamento	Cadmio (µg/L)	Cromo totale (µg/L)	Mercurio (µg/L)	Piombo (µg/L)	Rame (µg/L)	Zinco (µg/L)
A01 S_1	18/02/2020	< 0,01	0,13	< 0,002	< 0,01	0,21	0,81
A01 F_1	18/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,22	0,06	0,63
A02 S_1	18/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,03	0,15	0,33
A02 F_1	18/02/2020	< 0,01	15,00	< 0,002	1,66	15,12	29,53
A03 S_1	18/02/2020	< 0,01	0,22	< 0,002	< 0,01	0,69	0,24
A03 F_1	18/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,03	< 0,02	0,56
A04 S_1	18/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,13	< 0,02	0,19
A04 F_1	18/02/2020	< 0,01	4,52	< 0,002	2,05	6,63	12,71
A05 S_1	18/02/2020	< 0,01	0,06	< 0,002	0,03	< 0,02	0,64
A05 F_1	18/02/2020	< 0,01	8,71	< 0,002	0,92	3,62	6,15
A06 S_1	18/02/2020	< 0,01	0,10	< 0,002	0,26	0,38	1,10
A06 F_1	18/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,13	0,91	1,33
A07 S_1	18/02/2020	< 0,01	0,15	< 0,002	< 0,01	0,36	0,55
A07 F_1	18/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	< 0,02	0,61
A71 S_1	19/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	< 0,02	0,82
A71 F_1	19/02/2020	< 0,01	0,36	< 0,002	0,32	0,42	1,32
A72 S_1	19/02/2020	< 0,01	2,63	< 0,002	0,62	0,51	2,12
A72 F_1	19/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,03	1,02	1,51
A73 S_1	19/02/2020	< 0,01	0,17	< 0,002	0,18	< 0,02	0,36
A73 F_1	19/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,15	0,67	0,32
A08 S_1	20/02/2020	< 0,01	0,24	< 0,002	0,02	< 0,02	0,52
A08 F_1	20/02/2020	< 0,01	0,17	< 0,002	0,03	< 0,02	< 0,1
A09 S_1	20/02/2020	< 0,01	0,12	< 0,002	< 0,01	0,07	0,14
A09 F_1	20/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,22	0,06	< 0,1
A10 S_1	20/02/2020	< 0,01	0,22	< 0,002	< 0,01	< 0,02	0,25
A10 F_1	20/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,27	0,21
A11 S_1	20/02/2020	< 0,01	0,45	< 0,002	0,26	0,54	1,21
A11 F_1	20/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,13	< 0,02	0,35
A12 S_1	21/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	< 0,02	0,12
A12 F_1	21/02/2020	< 0,01	0,15	< 0,002	< 0,01	0,15	< 0,1
A13 S_1	21/02/2020	< 0,01	0,06	< 0,002	0,03	< 0,02	0,34
A13 F_1	21/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,05	0,42
A14 S_1	21/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,15	< 0,02	0,37
A14 F_1	21/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,02	0,32
A15 S_1	21/02/2020	< 0,01	0,04	< 0,002	0,24	< 0,02	0,60
A15 F_1	21/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,02	< 0,02	0,34
A16 S_1	21/02/2020	< 0,01	0,14	< 0,002	0,35	0,19	< 0,1
A16 F_1	21/02/2020	< 0,01	0,06	< 0,002	< 0,01	0,05	< 0,1
A17 S_1	24/02/2020	< 0,01	0,25	< 0,002	0,06	1,02	1,32
A17 F_1	24/02/2020	< 0,01	0,41	< 0,002	0,85	0,84	4,31
A18 S_1	24/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,03	0,60	0,60
A18 F_1	24/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	< 0,02	0,52

Descrizione campione	Data campionamento	Cadmio (µg/L)	Cromo totale (µg/L)	Mercurio (µg/L)	Piombo (µg/L)	Rame (µg/L)	Zinco (µg/L)
A19 S_1	24/02/2020	< 0,01	0,12	< 0,002	0,01	< 0,02	0,21
A19 F_1	24/02/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,42	1,11
A01 S_2	02/03/2020	< 0,01	5,10	< 0,002	1,10	4,80	8,70
A01 F_2	02/03/2020	< 0,01	3,12	< 0,002	2,43	16,05	38,70
A02 S_2	02/03/2020	< 0,01	0,05	< 0,002	0,06	1,02	2,33
A02 F_2	02/03/2020	< 0,01	0,07	< 0,002	< 0,01	0,10	1,54
A03 S_2	02/03/2020	< 0,01	0,15	< 0,002	0,03	0,33	1,15
A03 F_2	02/03/2020	< 0,01	0,24	< 0,002	0,06	0,83	< 0,1
A04 S_2	02/03/2020	< 0,01	0,15	< 0,002	< 0,01	< 0,02	0,62
A04 F_2	02/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	< 0,02	0,55
A05 S_2	02/03/2020	< 0,01	0,63	< 0,002	0,06	< 0,02	1,35
A05 F_2	02/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,24	1,92
A06 S_2	02/03/2020	< 0,01	0,15	< 0,002	0,03	< 0,02	1,51
A06 F_2	02/03/2020	< 0,01	0,05	< 0,002	0,02	< 0,02	1,50
A07 S_2	02/03/2020	< 0,01	0,06	< 0,002	< 0,01	< 0,02	0,60
A07 F_2	02/03/2020	< 0,01	0,33	< 0,002	0,05	0,10	0,54
A71 S_2	05/03/2020	< 0,01	0,22	< 0,002	0,05	< 0,02	0,61
A71 F_2	05/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	< 0,02	0,85
A72 S_2	05/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,08	< 0,02	1,31
A72 F_2	05/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,11	0,23	2,14
A73 S_2	05/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,33	0,91
A73 F_2	05/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,11	< 0,02	0,54
A08 S_2	09/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,51	< 0,02	1,33
A08 F_2	09/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,24	< 0,02	0,11
A09 S_2	09/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,05	0,30
A09 F_2	09/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,03	0,03	0,65
A10 S_2	09/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,64	0,56	1,36
A10 F_2	09/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,52	0,52	0,90
A11 S_2	13/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,34	1,35	1,52
A11 F_2	13/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,11	0,63	1,01
A12 S_2	13/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	0,05	0,84
A12 F_2	13/03/2020	< 0,01	0,05	< 0,002	< 0,01	0,04	0,82
A13 S_2	13/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	< 0,02	0,51
A13 F_2	13/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,22	< 0,02	1,33
A14 S_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	1,04	1,06	2,51
A14 F_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,53	0,34	2,04
A15 S_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,64	0,56	1,36
A15 F_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,11	< 0,02	0,55
A16 S_2	16/03/2020	< 0,01	0,22	< 0,002	1,23	0,31	1,72
A16 F_2	16/03/2020	< 0,01	0,25	< 0,002	0,23	0,04	2,55
A17 S_2	16/03/2020	< 0,01	0,12	< 0,002	0,55	< 0,02	0,83
A17 F_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,02	0,41
A18 S_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,31	< 0,02	< 0,1
A18 F_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,30	< 0,02	0,34
A19 S_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,53	0,03	0,81
A19 F_2	16/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,05	0,43
A01 S_3	17/03/2020	< 0,01	4,15	< 0,002	1,33	3,40	5,94

Descrizione campione	Data campionamento	Cadmio (µg/L)	Cromo totale (µg/L)	Mercurio (µg/L)	Piombo (µg/L)	Rame (µg/L)	Zinco (µg/L)
A01 F_3	17/03/2020	< 0,01	11,82	< 0,002	2,53	4,34	8,35
A02 S_3	17/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,64	0,91	2,95
A02 F_3	17/03/2020	< 0,01	1,83	< 0,002	1,00	3,34	5,97
A03 S_3	17/03/2020	< 0,01	0,10	< 0,002	1,03	< 0,02	0,81
A03 F_3	17/03/2020	< 0,01	3,25	< 0,002	0,94	2,75	5,70
A04 S_3	17/03/2020	< 0,01	0,15	< 0,002	0,43	0,74	4,48
A04 F_3	17/03/2020	< 0,01	1,54	< 0,002	1,55	1,44	2,56
A05 S_3	17/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,65	< 0,02	3,22
A05 F_3	17/03/2020	< 0,01	1,84	< 0,002	0,62	2,55	6,33
A06 S_3	18/03/2020	< 0,01	0,75	< 0,002	0,33	0,82	2,44
A06 F_3	18/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,44	< 0,02	0,90
A07 S_3	18/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,53	1,21	2,85
A07 F_3	18/03/2020	< 0,01	0,52	< 0,002	1,03	2,41	4,15
A71 S_3	18/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,40	< 0,02	1,70
A71 F_3	18/03/2020	< 0,01	0,25	< 0,002	0,33	1,01	2,81
A72 S_3	18/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,56	0,96	1,62
A72 F_3	18/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,23	0,10	0,66
A73 S_3	18/03/2020	< 0,01	0,11	< 0,002	0,06	< 0,02	0,75
A73 F_3	18/03/2020	< 0,01	0,12	< 0,002	0,35	1,33	1,99
A08 S_3	19/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,06	0,12
A08 F_3	19/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,44	0,06	0,24
A09 S_3	19/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,30	0,23	0,51
A09 F_3	19/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,22	0,94	< 0,1
A10 S_3	19/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	< 0,02	0,20
A10 F_3	19/03/2020	< 0,01	0,10	< 0,002	0,20	< 0,02	0,31
A11 S_3	19/03/2020	< 0,01	0,90	1,55	2,26	0,89	10,32
A11 F_3	19/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	< 0,02	0,33
A12 S_3	19/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	< 0,02	0,22
A12 F_3	19/03/2020	< 0,01	0,44	< 0,002	0,36	0,56	1,72
A13 S_3	19/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,02	0,06	0,29
A13 F_3	19/03/2020	< 0,01	0,10	< 0,002	0,06	< 0,02	0,10
A14 S_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,33	< 0,02	0,34
A14 F_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,67	1,06	0,40
A15 S_3	20/03/2020	< 0,01	0,13	< 0,002	0,02	< 0,02	0,64
A15 F_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,64	0,04	0,54
A16 S_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,02	0,05	0,12
A16 F_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	1,02	< 0,02	0,64
A17 S_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,06	0,22
A17 F_3	20/03/2020	< 0,01	0,06	< 0,002	0,90	< 0,02	1,55
A18 S_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	1,13	0,05	1,12
A18 F_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	< 0,01	0,05	0,22
A19 S_3	20/03/2020	< 0,01	0,07	< 0,002	0,41	< 0,02	0,32
A19 F_3	20/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	< 0,02	0,20
A01 S_4	24/03/2020	< 0,01	0,23	< 0,002	0,36	< 0,02	0,31
A01 F_4	24/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,04	0,02	0,55
A02 S_4	24/03/2020	< 0,01	0,80	< 0,002	5,63	4,44	39,35
A02 F_4	24/03/2020	< 0,01	2,05	< 0,002	2,51	2,71	5,55
A03 S_4	24/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	0,06	1,23

Descrizione campione	Data campionamento	Cadmio (µg/L)	Cromo totale (µg/L)	Mercurio (µg/L)	Piombo (µg/L)	Rame (µg/L)	Zinco (µg/L)
A03 F_4	24/03/2020	< 0,01	1,01	< 0,002	0,61	1,75	4,04
A04 S_4	24/03/2020	< 0,01	1,15	< 0,002	1,52	1,73	6,11
A04 F_4	24/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,40	< 0,02	0,63
A05 S_4	25/03/2020	< 0,01	0,80	< 0,002	0,61	1,30	2,72
A05 F_4	25/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,51	< 0,02	1,14
A06 S_4	25/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	0,07	1,02
A06 F_4	25/03/2020	< 0,01	0,05	< 0,002	0,23	< 0,02	0,92
A07 S_4	25/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,22	< 0,02	0,61
A07 F_4	25/03/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,10	0,09	0,62
A01 S_5	18/06/2020	< 0,01	0,56	< 0,002	1,23	0,90	2,42
A01 F_5	18/06/2020	< 0,01	4,02	< 0,002	0,85	1,32	4,03
A02 S_5	18/06/2020	< 0,01	0,06	< 0,002	0,05	0,51	2,23
A02 F_5	18/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,04	0,05	0,10
A03 S_5	17/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,02	0,02	< 0,1
A03 F_5	17/06/2020	< 0,01	0,06	< 0,002	0,33	< 0,02	0,32
A04 S_5	18/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,11	< 0,02	0,20
A04 F_5	18/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,11	< 0,02	0,52
A05 S_5	18/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	< 0,02	0,60
A05 F_5	18/06/2020	< 0,01	0,08	< 0,002	0,08	0,12	0,83
A06 S_5	17/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	< 0,02	2,03
A06 F_5	17/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,02	0,03	1,22
A07 S_5	17/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	< 0,02	1,31
A07 F_5	17/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,32	< 0,02	0,84
A71 S_5	17/06/2020	< 0,01	0,11	< 0,002	1,00	0,06	1,10
A71 F_5	17/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	0,50	1,45
A72 S_5	17/06/2020	< 0,01	0,11	< 0,002	0,13	< 0,02	0,90
A72 F_5	17/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,31	0,061	0,83
A73 S_5	17/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,20	0,04	0,60
A73 F_5	17/06/2020	< 0,01	0,10	< 0,002	0,11	0,06	1,03
A08 S_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,07	< 0,02	0,61
A08 F_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	0,20	0,50
A09 S_5	16/06/2020	< 0,01	0,06	< 0,002	0,22	< 0,02	1,63
A09 F_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,20	< 0,02	1,11
A10 S_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,20	0,63	0,55
A10 F_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,05	< 0,02	0,30
A11 S_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	< 0,02	< 0,1
A11 F_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,02	0,05	0,10
A12 S_5	16/06/2020	< 0,01	0,05	< 0,002	0,11	< 0,02	0,20
A12 F_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,13	0,10	0,30
A13 S_5	16/06/2020	< 0,01	0,05	< 0,002	0,06	0,05	0,50
A13 F_5	16/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,06	0,04	< 0,1
A14 S_5	15/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,43	1,32	1,10
A14 F_5	15/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,30	0,06	< 0,1
A15 S_5	15/06/2020	< 0,01	0,08	< 0,002	0,11	0,05	0,61
A15 F_5	15/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,02	0,60	< 0,1
A16 S_5	15/06/2020	< 0,01	0,08	< 0,002	0,10	< 0,02	0,21
A16 F_5	15/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,11	< 0,02	0,32
A17 S_5	15/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,02	0,10	0,22

Descrizione campione	Data campionamento	Cadmio (µg/L)	Cromo totale (µg/L)	Mercurio (µg/L)	Piombo (µg/L)	Rame (µg/L)	Zinco (µg/L)
A17 F_5	15/06/2020	< 0,01	0,07	< 0,002	0,01	< 0,02	0,41
A18 S_5	15/06/2020	< 0,01	0,10	< 0,002	0,02	< 0,02	0,90
A18 F_5	15/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,09	0,06	1,50
A19 S_5	15/06/2020	< 0,01	< 0,05	< 0,002	0,08	< 0,02	1,31
A19 F_5	15/06/2020	< 0,01	0,05	< 0,002	0,05	< 0,02	0,90

Relativamente alla determinazione su particellato di metalli pesanti (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn), composti organostannici (MBT, DBT, TBT) e Idrocarburi (C>12 e 16 congeneri indicati da US-EPA come di interesse ecotossicologico), i risultati ottenuti sia nella campagna di rilievo ante operam che in quella condotta in corso d'opera mostrano scarsa contaminazione. Infatti i livelli sono risultati essere sempre inferiori al limite di rilevabilità del metodo (LOQ).

Per quanto riguarda i metalli determinati nei campioni di particellato, si osservano valori che in fase *ante operam* sono sempre inferiori al LOQ per il Cd e misurabili e compresi tra: LOQ-0,168 µg/L (Cr), 0,042-0,770 µg/L (Cu), 0,063-0,553 µg/L (Pb), LOQ-1,175 µg/L (Zn).

I risultati ottenuti nel corso della campagna di caratterizzazione in corso d'opera sono riassunti nella tabella sottostante:

	Cd	Cr	Hg	Pb	Cu	Zn
Minimo	< 0,01	0.04	< 0,002	0.01	0.02	0.10
Massimo	< 0,01	15.00	1.55	5.63	16.05	39.35
Media	< 0,01	1.02	NC	0.40	1.02	2.00
<u>Dev.st</u>	NC	2.41	NC	0.64	2.27	4.87

Come si può vedere dal prospetto riepilogativo delle analisi condotte su 190 campioni di filtri, il Cd risulta sempre inferiore al limite di rilevabilità del metodo. Questo dato è in linea con i dati della campagna *ante operam*; anche il Hg appare sempre, salvo una singola eccezione, inferiore al LOQ del metodo. I valori medi di Cr, Pb, Cu e Zn nel materiale particellato sono confrontabili ai valori rilevati in fase *ante operam* seppure presentino delle situazioni occasionali puntiformi superiori alla media riscontrata in fase *ante operam*.

Si precisa per completare il quadro delle interpretazioni dei risultati, si precisa che il materiale particellato è un materiale naturalmente disomogeneo; microscopiche particelle minerali possono essere determinanti nel contributo complessivo misurato di metalli oggetto di interesse. Si precisa anche che, microparticelle risospese di minerali naturali costituenti il sedimento oppure presenti in siti industriali quali, ad esempio, la pirite, possono determinare alti livelli di Hg totale e di impurezze ad essa associate come solfuri misti contribuendo ad aumentare i livelli misurati di Pb, Zn e Cu. Per la corretta interpretazione dei risultati sarebbe fondamentale, pertanto, valutare anche il contesto mineralogico dei sedimenti dell'area di studio, valutare anche il contesto mineralogico dei sedimenti dell'area di studio.

Composti organici

I risultati delle analisi dei composti organici (Idrocarburi totali, Composti organostannici e IPA) nel particolato sono riportati nelle seguenti tabelle (2.1.1.2.6 e 2.1.1.2.7).

Tabella 2.1.1.2.6. Concentrazioni dei composti organostannici e degli idrocarburi totali (espressi come C>12) nel particolato all'interno dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio.

Descrizione campione	Data campionamento	Monobutilstagno (mg/L)	Dibutilstagno (mg/L)	Tributilstagno (mg/L)	S Composti Organostannici (mg/L)	Idrocarburi C>12 (mg/L)
A01 S_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A01 F_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A02 S_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A02 F_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A03 S_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A03 F_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A04 S_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A04 F_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A05 S_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A05 F_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A06 S_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A06 F_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A07 S_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A07 F_1	18/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A71 S_1	19/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A71 F_1	19/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A72 S_1	19/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A72 F_1	19/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A73 S_1	19/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A73 F_1	19/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A08 S_1	20/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A08 F_1	20/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A09 S_1	20/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A09 F_1	20/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A10 S_1	20/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A10 F_1	20/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A11 S_1	20/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A11 F_1	20/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A12 S_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A12 F_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A13 S_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A13 F_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A14 S_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A14 F_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A15 S_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A15 F_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A16 S_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A16 F_1	21/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A17 S_1	24/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A17 F_1	24/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A18 S_1	24/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A18 F_1	24/02/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01

A16 S_5	15/06/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A16 F_5	15/06/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A17 S_5	15/06/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01

segue

Descrizione campione	Data campionamento	Monobutilstagno (mg/L)	Dibutilstagno (mg/L)	Tributilstagno (mg/L)	S Composti Organostannici (mg/L)	Idrocarburi C>12 (mg/L)
A17 F_5	15/06/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A18 S_5	15/06/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A18 F_5	15/06/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A19 S_5	15/06/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01
A19 F_5	15/06/2020	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,01

segue

Descrizione campione	Data campionamento	Acenafilene (µg/l)	Antracene (µg/l)	Fenantrene (µg/l)	Fluorantene (µg/l)	Fluorene (µg/l)	Naftalene (µg/l)	Benzo (a) antracene (µg/l)	Benzo (a) pirene (µg/l)	Benzo (b) fluorantene (µg/l)	Benzo (e, h, i) perilene (µg/l)	Benzo (j) fluorantene (µg/l)	Benzo (k) fluorantene (µg/l)	Dibenzo (a, h) antracene (µg/l)	Indeno (1,2,3-c,d) pirene (µg/l)	Pirene (µg/l)	Crisene (µg/l)	S IPA (µg/l)
A14 S_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A14 F_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A15 S_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A15 F_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A16 S_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A16 F_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A17 S_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A17 F_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A18 S_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A18 F_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A19 S_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
A19 F_5	15/06/2020	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

2.1.2 Monitoraggio da boe oceanografiche della corrente e della torbidità

2.1.2.1 Misure correntometriche

Di seguito sono riportati gli andamenti orari della direzione e velocità della corrente sia della Boa 1 che della Boa 2. In particolare, i grafici ODV della distribuzione oraria di direzione e velocità della corrente del periodo 31 gennaio - 26 marzo 2020 registrate dall'ADCP installata sulla Boa 1 (Fig.2.1.2.1.1) evidenziano che la direzione della corrente risulta quasi sempre omogenea lungo la colonna d'acqua. Nel primissimo periodo la direzione prevalente è orientata per il 3° quadrante, verso ovest ovvero verso il mare aperto. Nel secondo periodo la direzione prevalente è orientata per il 2° quadrante e più in particolare verso est, ovvero verso l'entrata del porto. In questo caso si riscontrano anche i massimi di velocità registrati nel periodo.

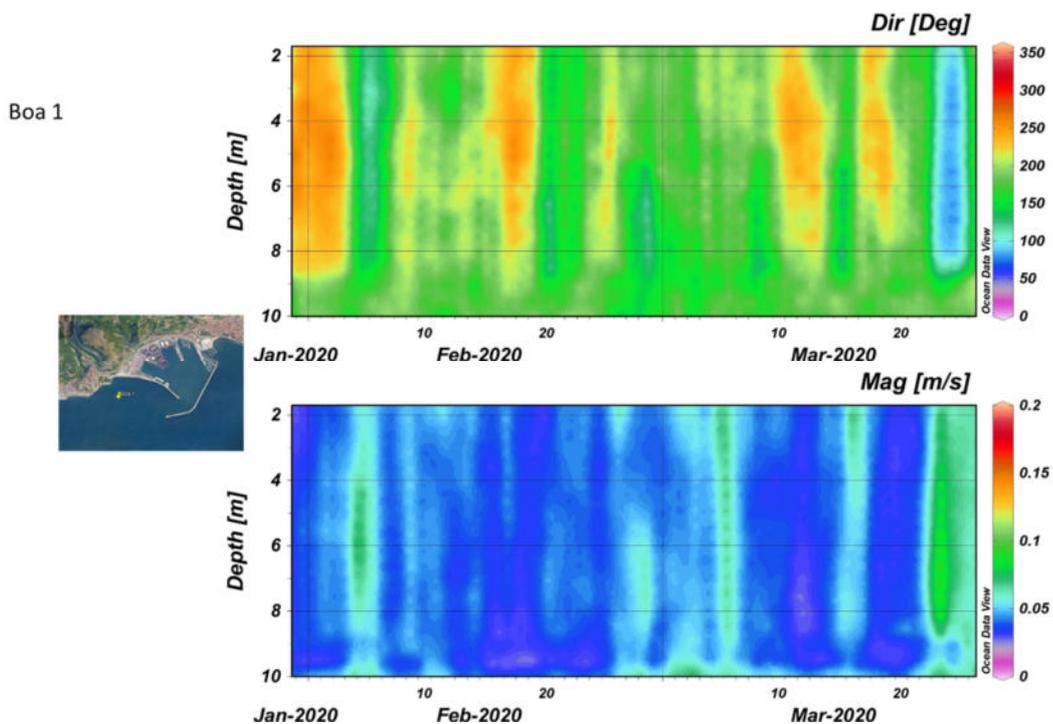


Figura. 2.1.2.1.1 Andamento orario della direzione e velocità della corrente registrata dalla Boa 1 dal 31 gennaio al 26 marzo.

Per quanto concerne la seconda Boa 2 i grafici ODV della distribuzione oraria di direzione e velocità della corrente dal 12 febbraio al 26 marzo 2020 registrate dall'ADCP installato sulla Boa 2 sono riportati integralmente in Figura 2.1.2.1.2. La direzione della corrente risulta quasi sempre omogenea lungo la colonna d'acqua e presenta alternanze periodiche dell'orientamento passando dal 2° quadrante (est sud-est) al 3° quadrante (ovest sud-ovest), con regimi di velocità maggiori rispetto a quanto registrato nel sito dalla Boa 1.

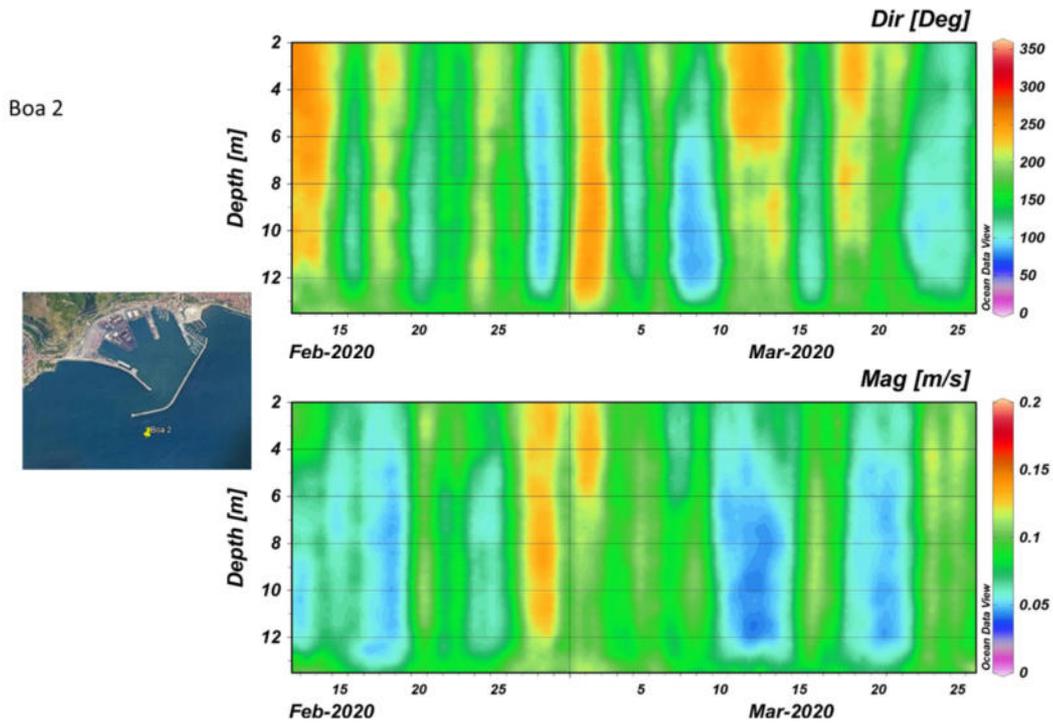


Figura. 2.1.2.1.2 Andamento orario della direzione e velocità della corrente registrata dalla Boa 2 dal 12 febbraio al 26 marzo.

2.1.2.2 Misure di torbidità in continuo

L'elaborazione dei dati di torbidità superficiale, registrata dal sensore installato sulla Boa 1, è riportata integralmente nella figura 2.1.2.2.1

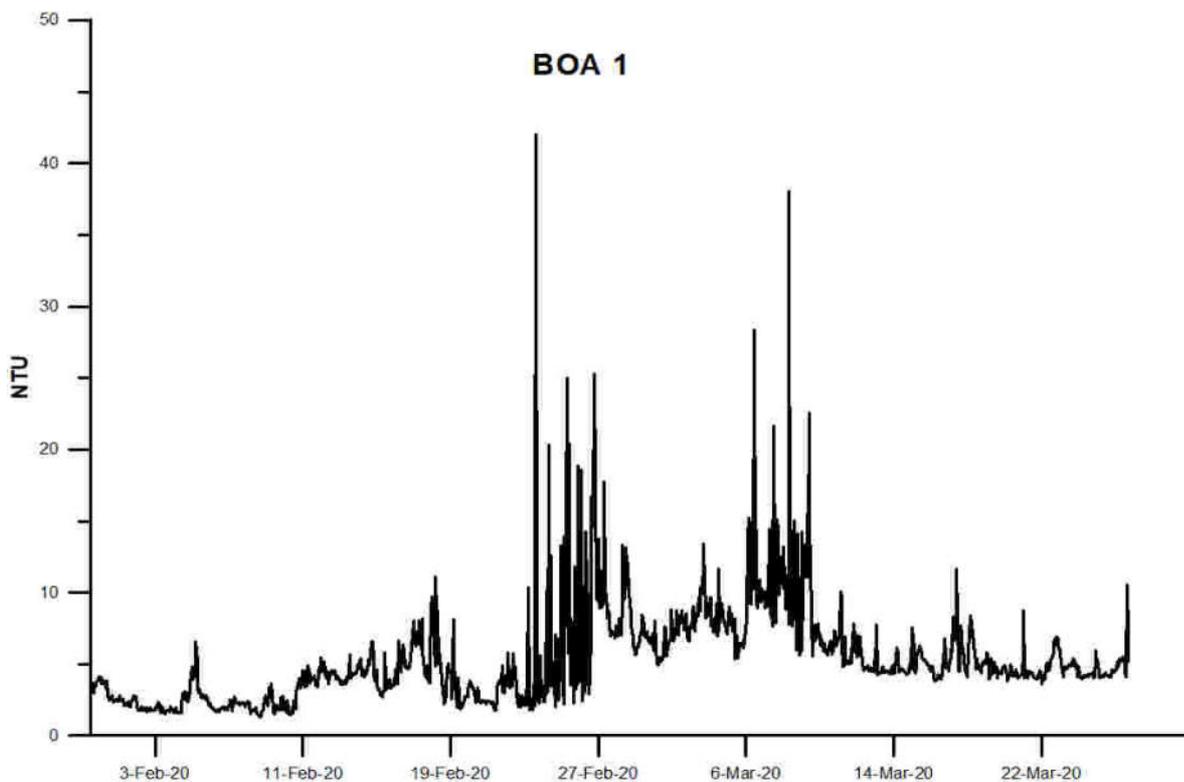


Figura. 2.1.2.2.1 Andamento orario della torbidità dello strato superficiale registrata dalla Boa 1 dal 31 gennaio al 26 marzo

Analizzando nel dettaglio i valori giornalieri si evidenzia che nel periodo compreso tra il 31 gennaio e il 15 di febbraio, con l'attività di dragaggio in corso, i valori di torbidità, con l'eccezione di una sola misura, sono sempre al disotto di 5 NTU equivalenti a 5 mg/L di TSM. Nel periodo successivo dal 16 al 23 febbraio i valori sono inferiori a 10 NTU con un valore medio di circa 6 NTU. Dal 23 al 29 febbraio si registrano dei picchi con un valore puntuale di 43 NTU e successivi andamenti irregolari ma con valori sempre molto al disotto del limite d'intervento. L'andamento irregolare ha suggerito una manutenzione al sensore di torbidità dovuto a incrostazioni da macroalghe filamentose (fenomeno comune che richiede manutenzione periodica). Il giorno 27 febbraio è stata effettuata la pulizia del sensore e i valori sono tornati ad essere più regolari e al disotto di 10 NTU con una rara eccezione e qualche valore di poco superiore a 10 NTU. Successivamente, dal 1 al 27 marzo, i valori registrati sono stati sempre inferiori a 19 NTU con la sola eccezione dei giorni compresi tra i 6 e il 9 marzo quando i valori erano irregolari e si sono normalizzati solo dopo una ulteriore pulizia del sensore. In definitiva, in quest'area l'impatto della torbidità è stato modesto e comunque mediamente al disotto di 10 NTU in confronto al limite d'intervento di 45 NTU.

L'andamento della torbidità registrato da un sensore montato sulla Boa 2 ha evidenziato problemi dovuti a corpi estranei che hanno generato un comportamento anomalo del sensore con dati assolutamente non compatibili. In particolare, dal 6 al 9, dal 14 al 16 e dal 20 al 22 marzo è stato necessario intervenire per liberare il sensore da corpi estranei. Aldilà di questi eventi accidentali, ma prontamente risolti dagli OTS della SZN, i valori di torbidità sono stati mediamente al di sotto di 10 NTU.

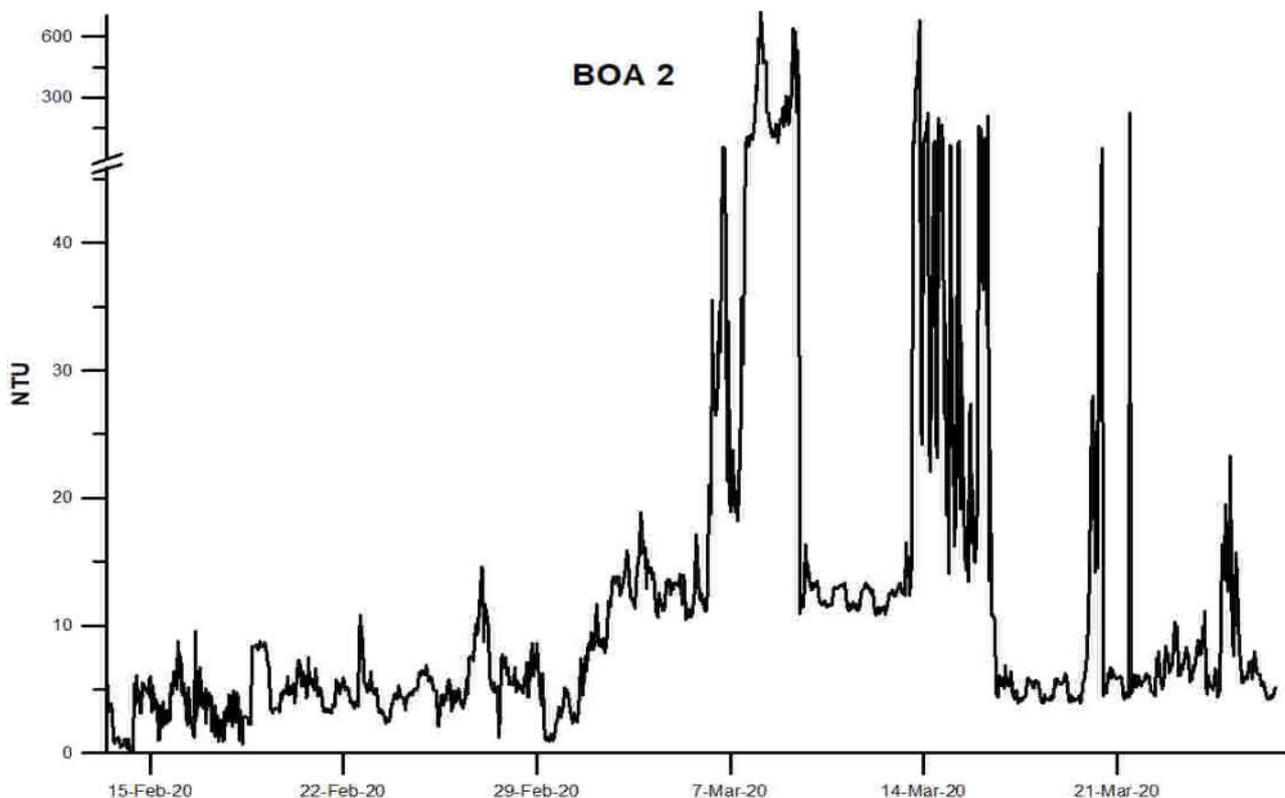


Figura. 2.1.2.2.2 Andamento orario della torbidità dello strato superficiale registrata dalla Boa 2

dal 12 febbraio al 26 marzo

In sintesi, i valori orari della torbidità registrati dai sistemi di monitoraggio in continuo hanno evidenziato la correttezza delle operazioni di escavo con valori di torbidità di poco superiori a quelli tipici del periodo e dell'area.

2.2 Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio

2.2.1 Indagini idrologiche

2.2.1.1 Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)

In questa sezione sono riportate le sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza e le relative mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza delle campagne di monitoraggio, eseguite nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio.

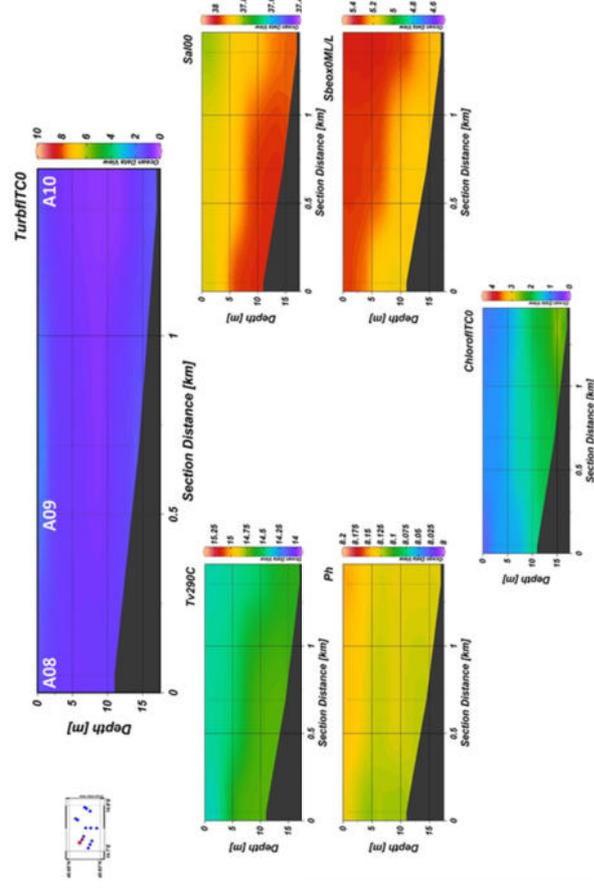


Figura 2.2.1.1.1 Sezioni verticali I Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A08, A09, A10)

I Campagna

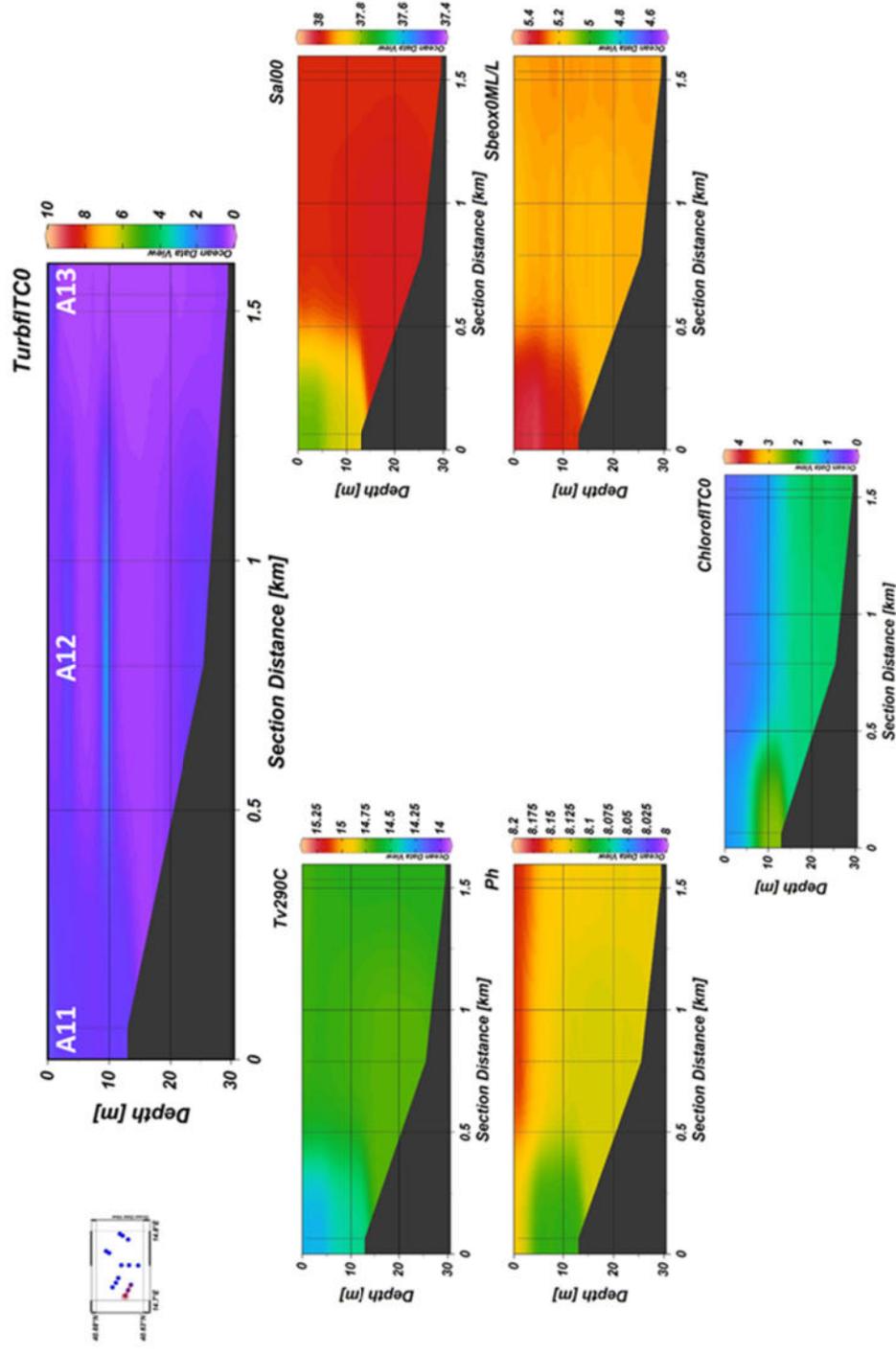


Figura 2.2.1.1.2 Sezioni verticali I Campagna (superficie-fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A11, A12, A13)

I Campagna

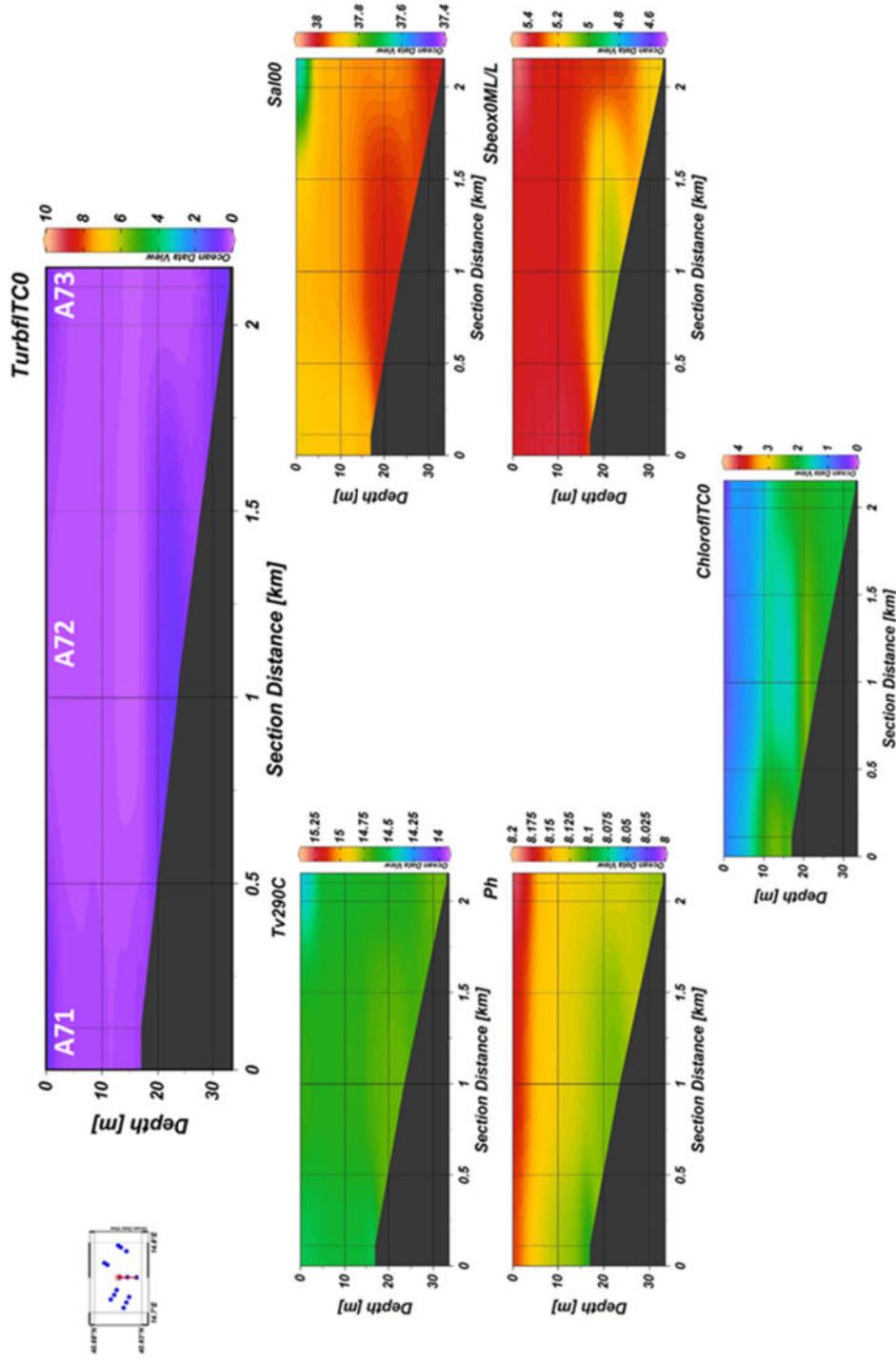


Figura 2.2.1.1.3 Sezioni verticali I Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A71, A72, A73)

I Campagna

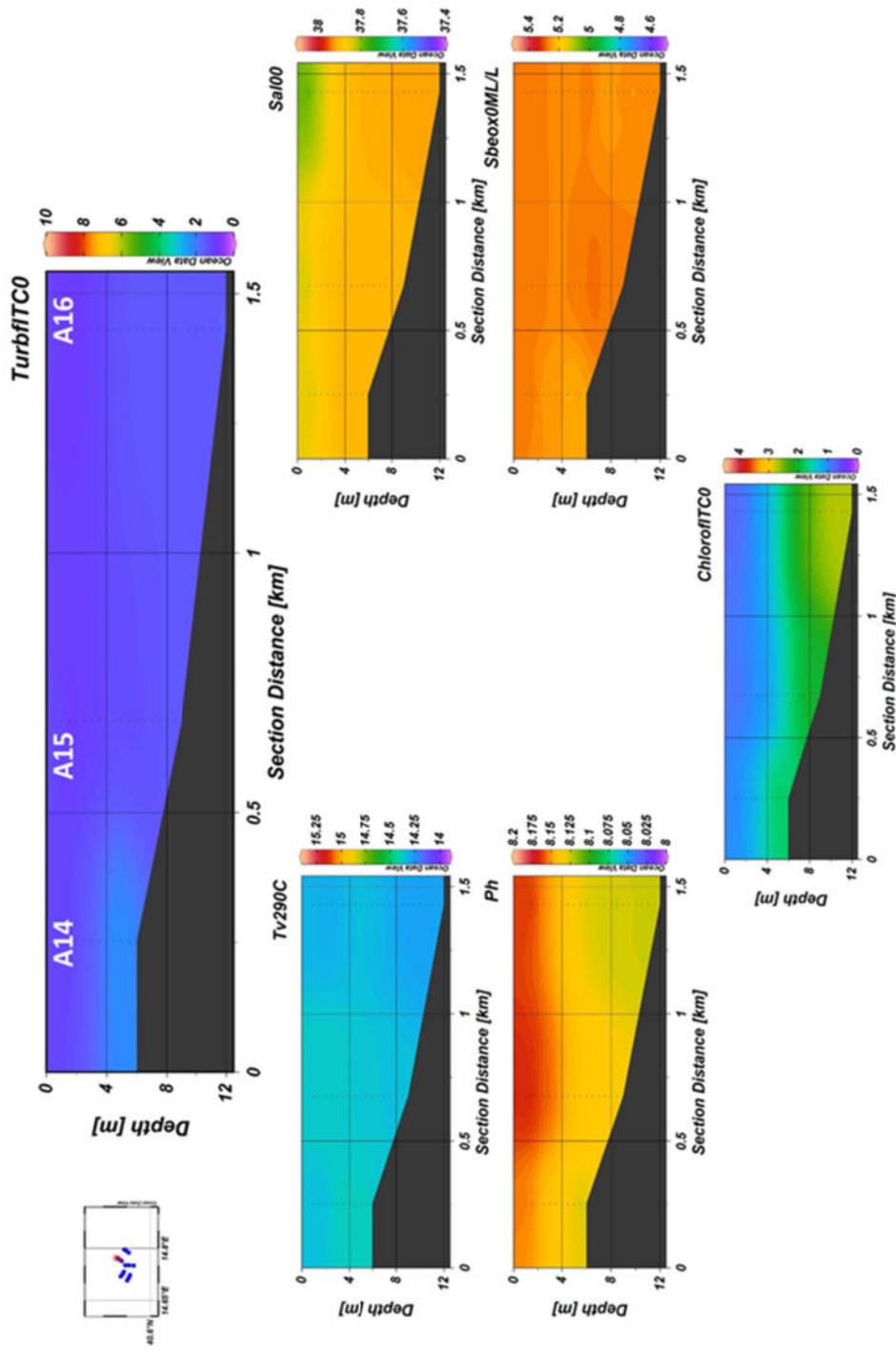
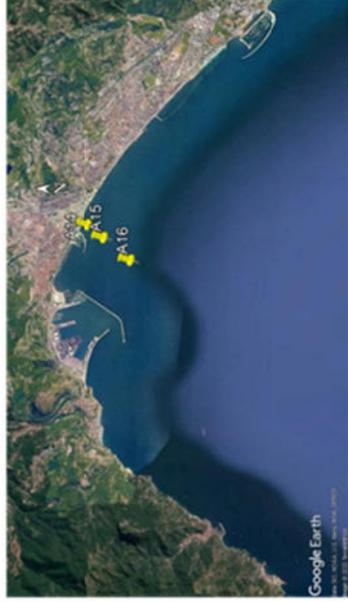


Figura 2.2.1.1.107 Sezioni verticali I Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A14, A15, A16)

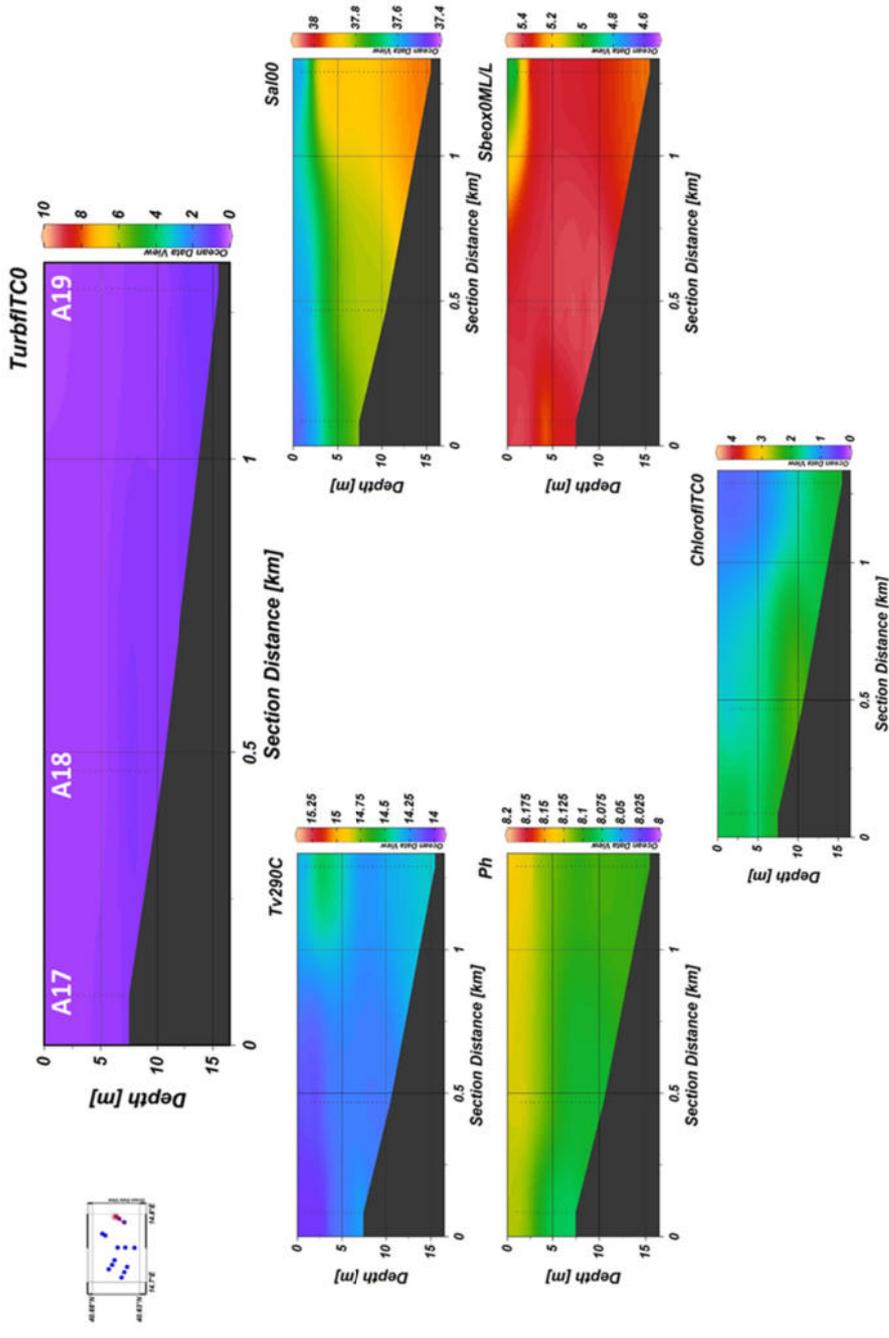


Figura 2.2.1.1.5 Sezioni verticali I Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A17, A18, A19)

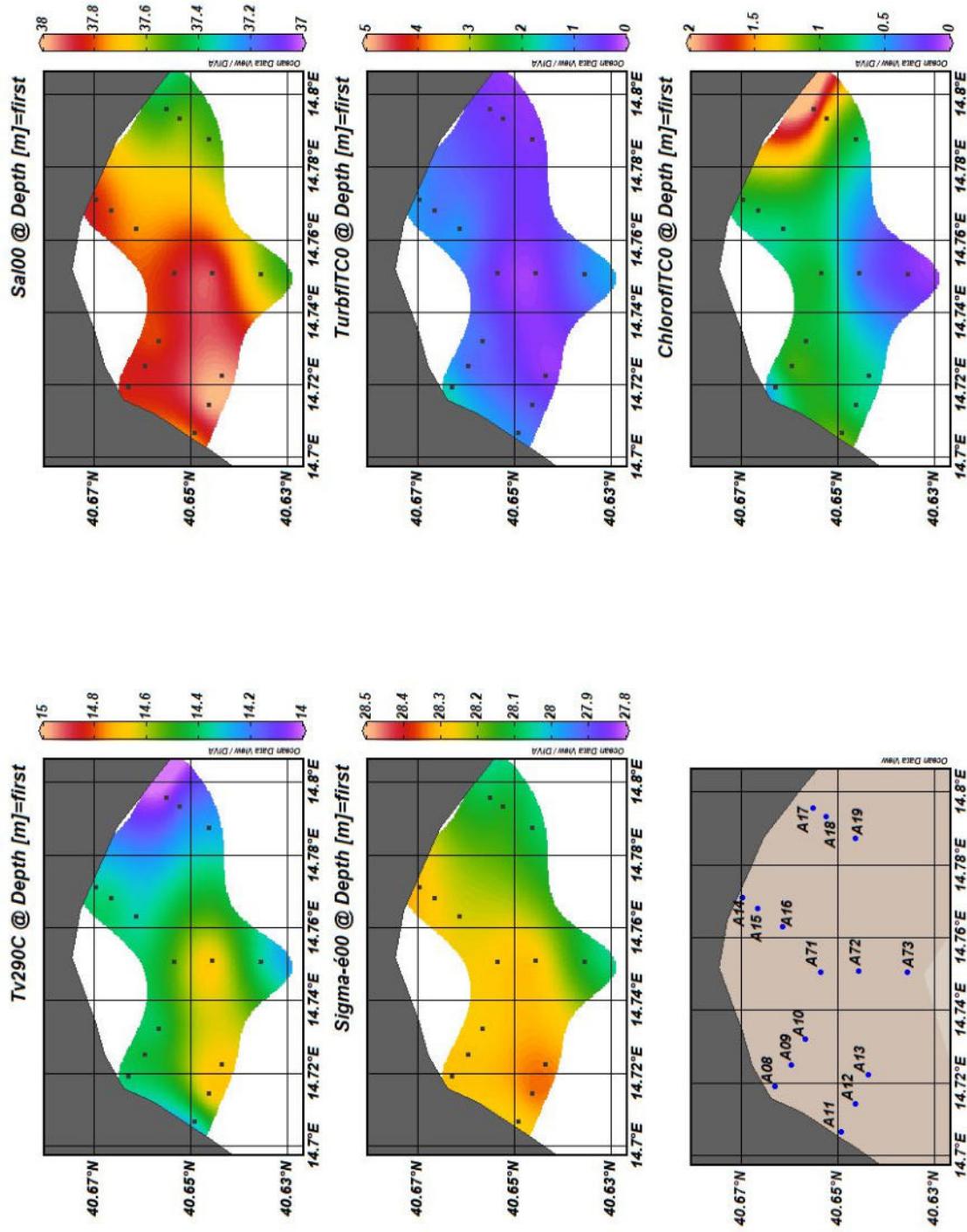


Figura 2.2.1.1.6 Mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza delle aree Potenzialmente Impattate dalle Operazioni di Dragaggio – I Campagna

Le sezioni verticali di temperatura (Figure 2.2.1.1.1-2.2.1.1.5) relative alla I Campagna mostrano una situazione tipicamente invernale, contraddistinta da una condizione di omotermia della colonna d'acqua. In tutti i transesti è possibile osservare valori di Salinità abbastanza elevati con un massimo in profondità in corrispondenza delle stazioni di largo del transetto A11-A13; in corrispondenza del transetto A17-A19 si osserva invece l'intrusione di acqua più dolce nello strato superficiale. La torbidità presenta, in quasi tutti i transesti, valori omogenei dalla superficie al fondo, mentre la fluorescenza presenta valori più bassi nello strato 0-10 m e in aumento nello strato sottostante. Il pH mostra una distribuzione verticale caratterizzata da valori più elevati nello strato superficiale in quasi tutti i transesti. L'ossigeno disciolto presenta un andamento abbastanza variabile tra i diversi transesti, un evidente gradiente costa largo si osserva lungo il transetto A11-A13.

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla I Campagna mostrano due *pattern* di distribuzione differenti nell'area esaminata. Nella zona orientale (transesti A14-A16 e A17-A19) si riscontra un andamento tipico di una situazione costiera caratterizzata da apporti terrigeni evidenti in un gradiente costa largo del parametro Fluorescenza chiaramente inversamente correlato con la salinità e più in particolare con gli apporti terrigeni. L'area occidentale (transesti A08-A10 e A11-A13) presenta una distribuzione più omogenea dei parametri considerati, con valori di salinità abbastanza elevati in tutte le stazioni. La Torbidità presenta valori bassi e abbastanza omogenei in tutta l'area indagata.

Il Campagna

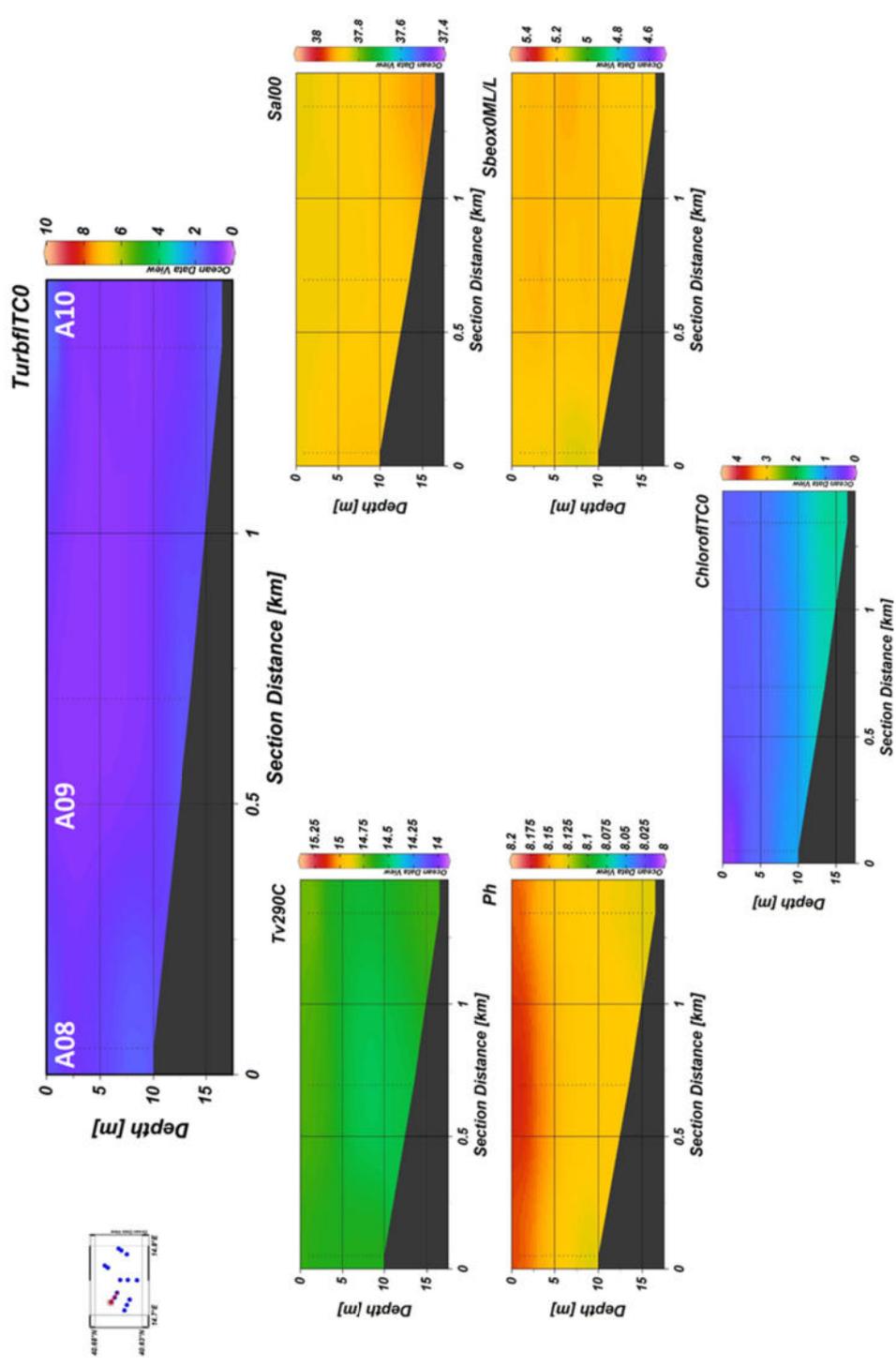


Figura 2.2.1.1.7 Sezioni verticali Il Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A08, A09, A10)

Il Campagna

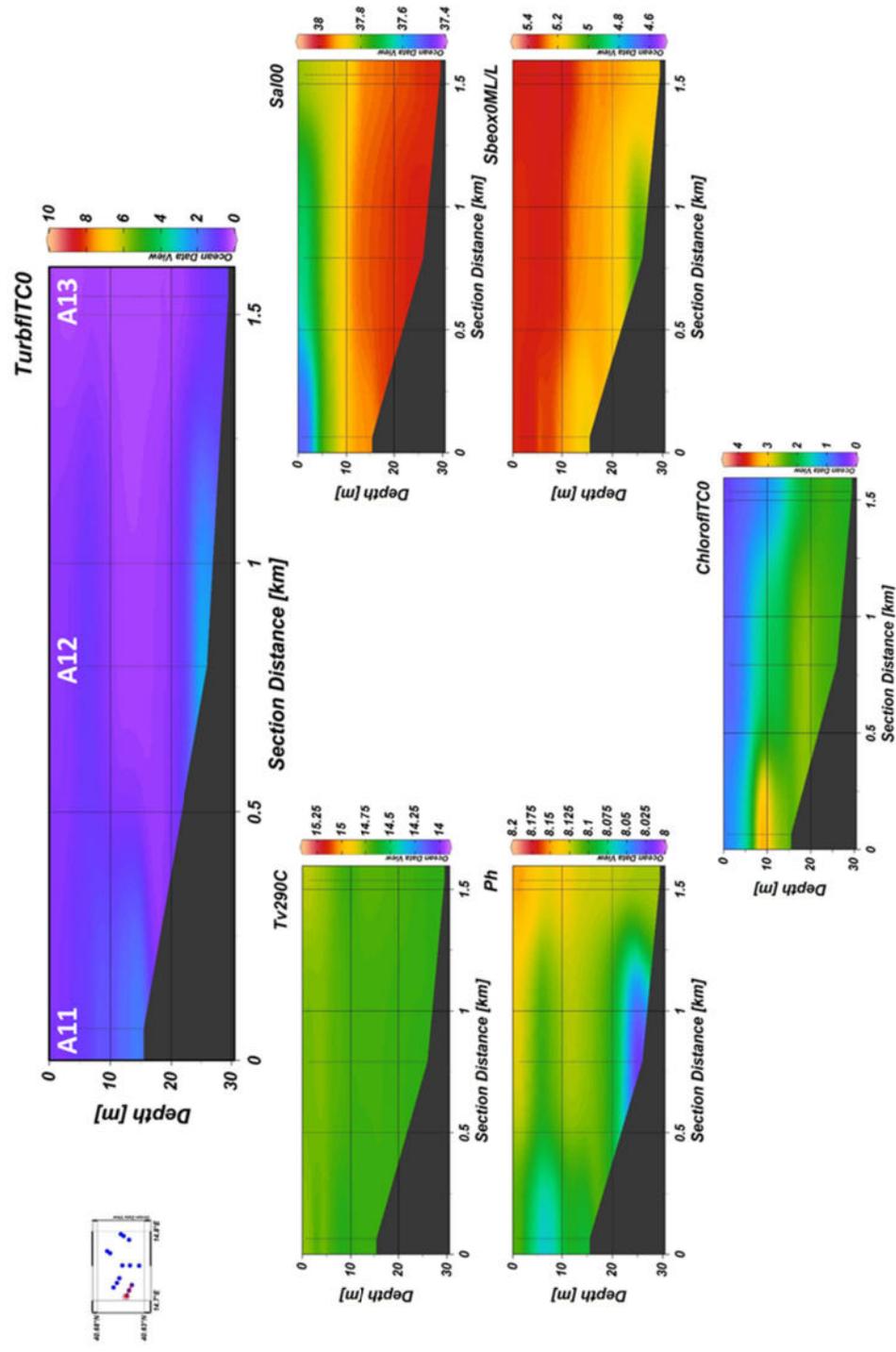


Figura 2.2.1.1.8 Sezioni verticali Il Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A11, A12, A13)

Il Campagna

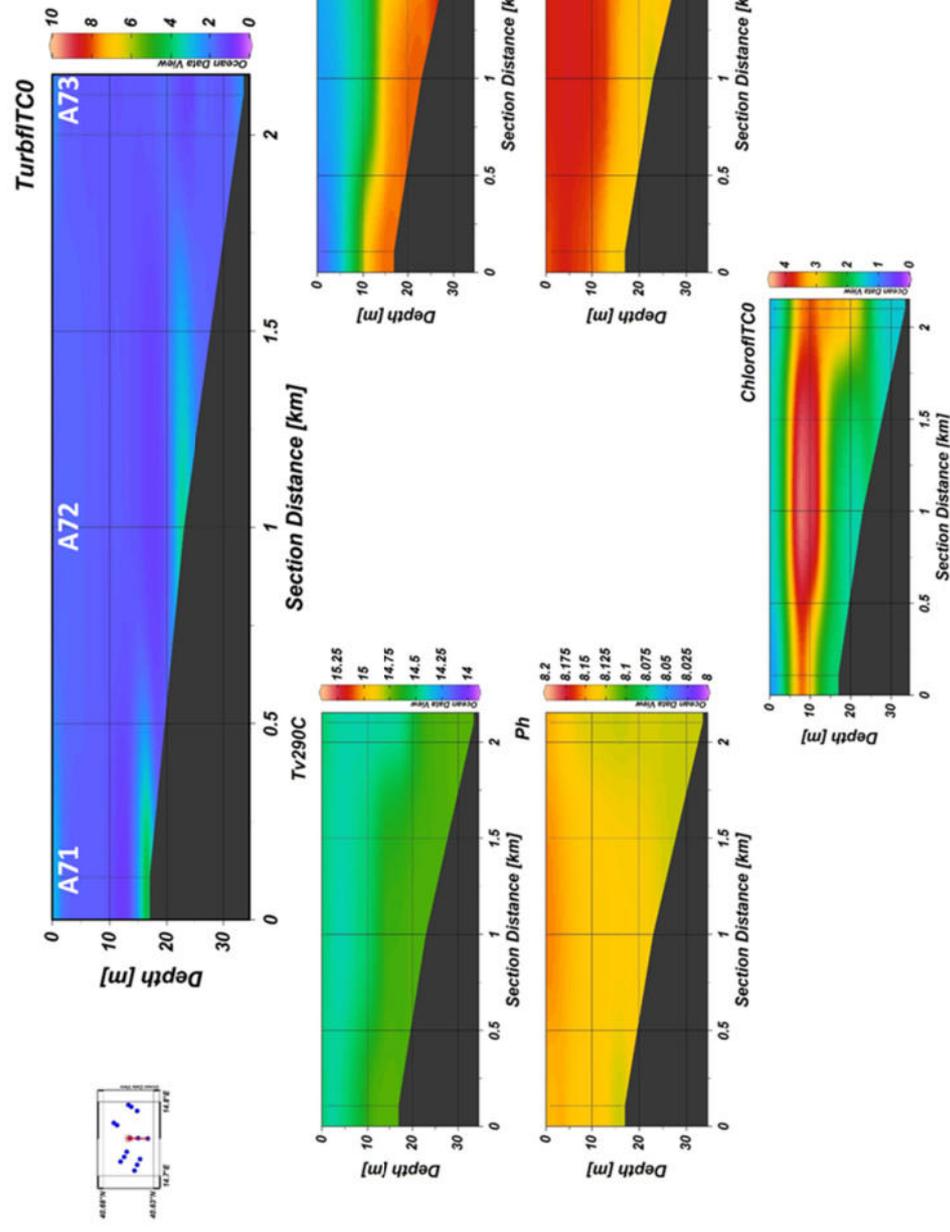


Figura 2.2.1.1.9 Sezioni verticali Seconda Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A71, A72, A73)

Il Campagna

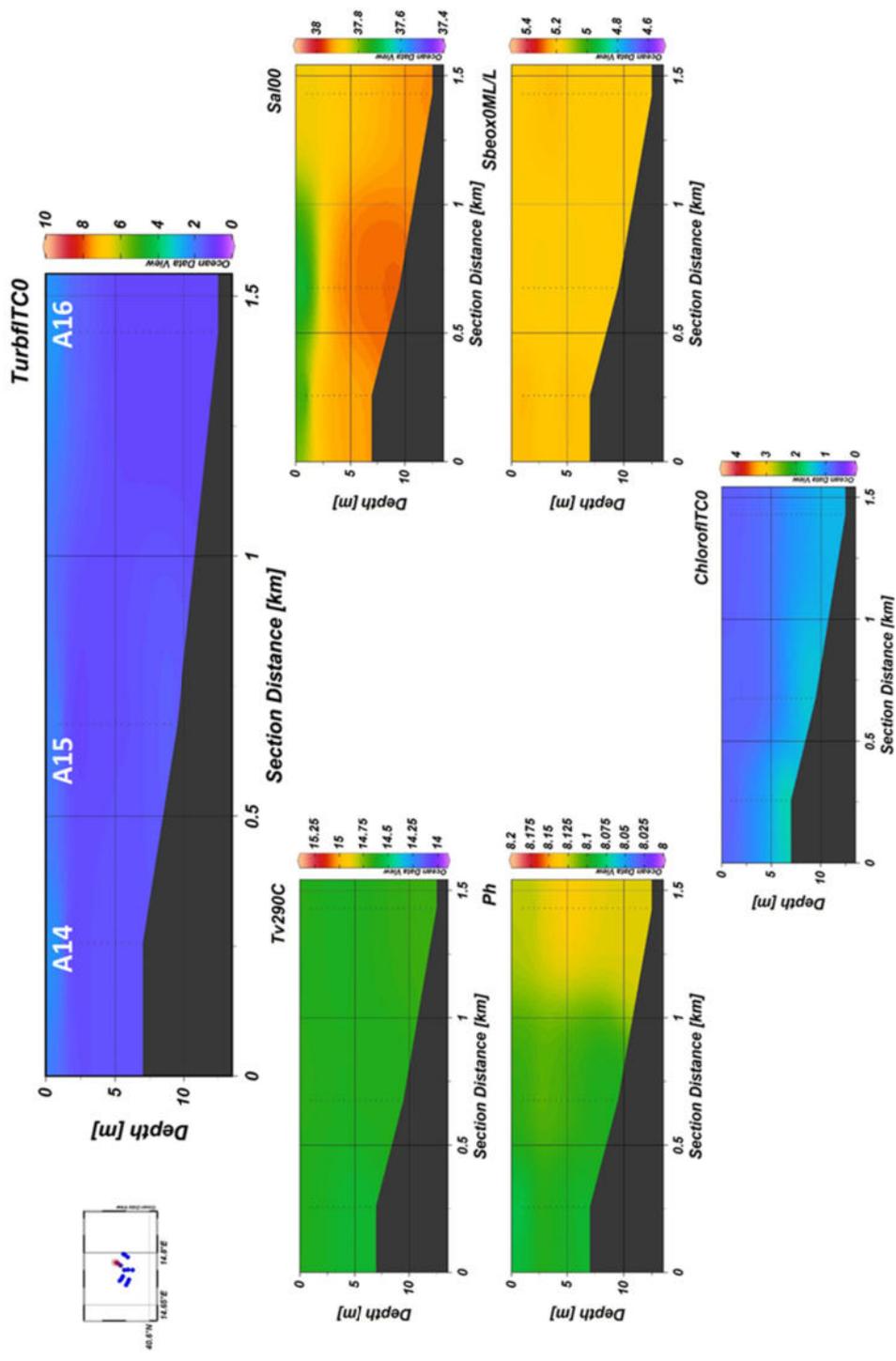


Figura 2.2.1.1.10 Sezioni verticali Il Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A14, A15, A16)

Il Campagna

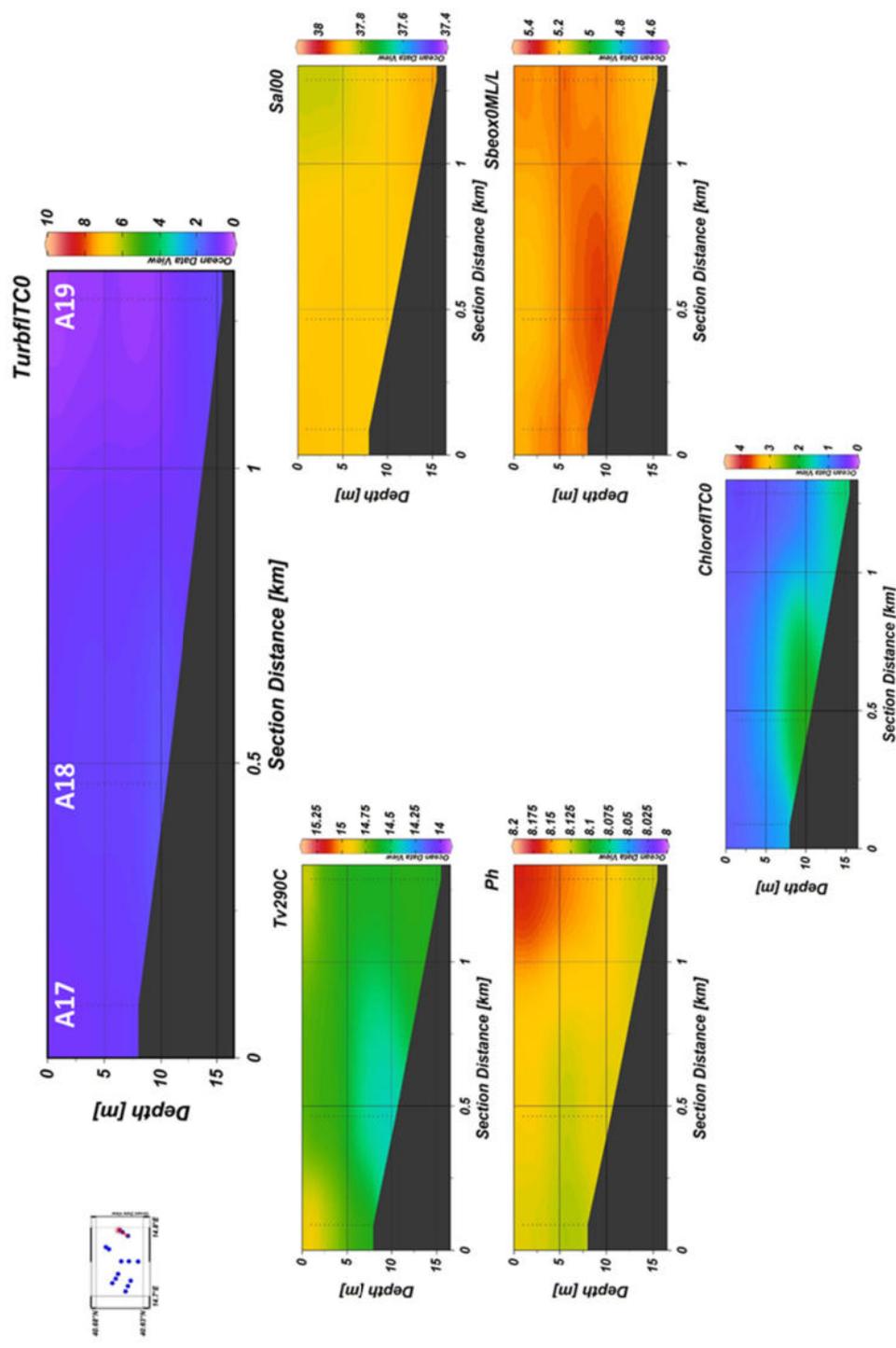


Figura 2.2.1.1.11 Sezioni verticali Il Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A17, A18, A19)

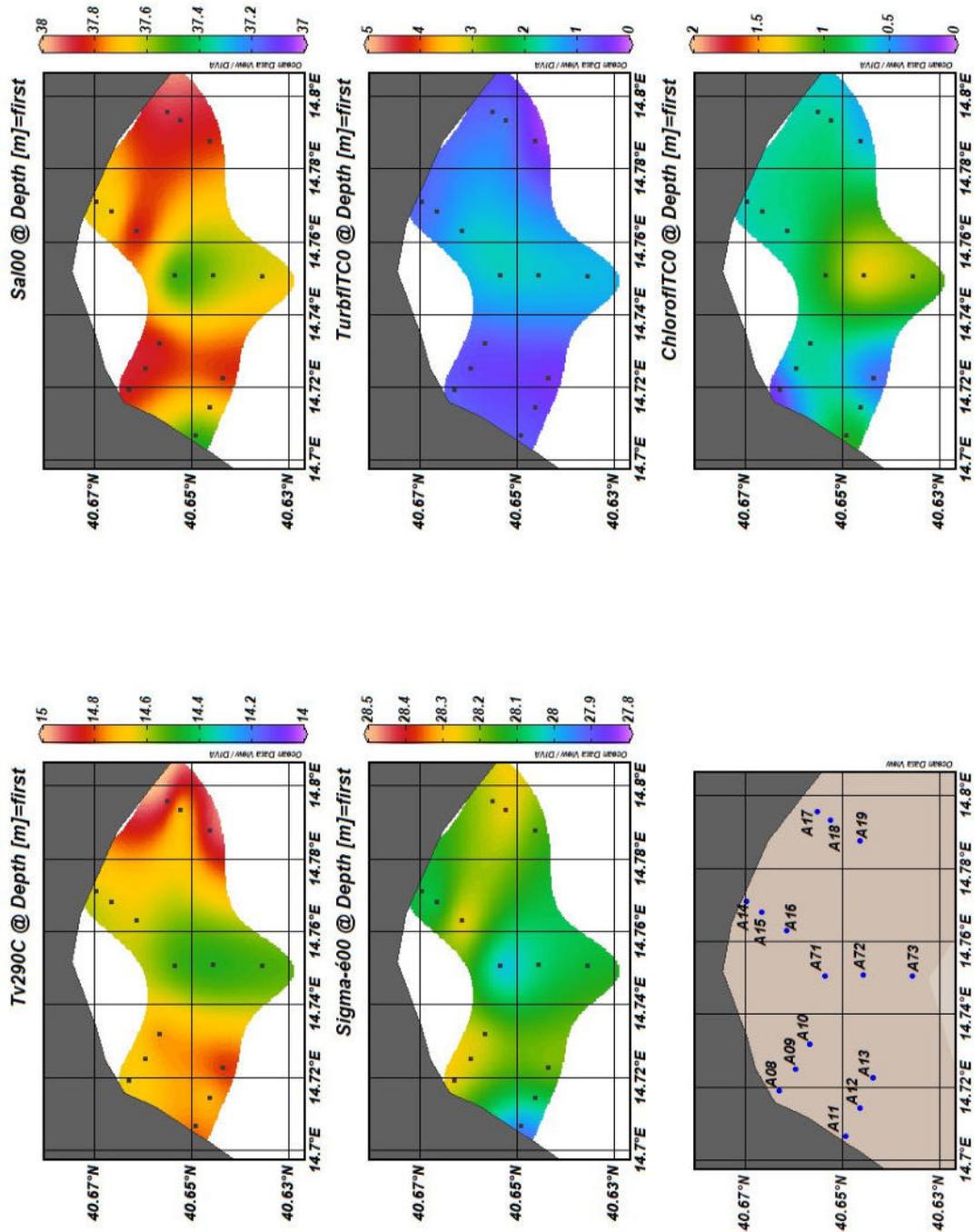


Figura 2.2.1.1.12 Mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza delle aree Potenzialmente Impattate dalle Operazioni di Dragaggio – Il Campagna 115

Per quanto riguarda la Il Campagna, le sezioni verticali di temperatura (Figure 2.2.1.1.6-2.2.1.1.11) mostrano ancora una situazione caratterizzata da una distribuzione omogenea lungo la colonna d'acqua ma con valori in aumento rispetto alla campagna precedente. Nei transetti A11-A13 e A71 A73 è possibile osservare una situazione di stratificazione alina, caratterizzata da valori crescenti di salinità dalla superficie al fondo. La torbidità presenta anche nella Il campagna valori poco elevati ed abbastanza omogenei dalla superficie al fondo in quasi tutti i transetti. Comportamento analogo si registra anche per la fluorescenza ad eccezione dei transetti A11-A13, A17-A19 e A71 A73 in cui si osservano dei massimi sub-superficiali con i valori più alti nel transetto A71-A73. Il pH e l'ossigeno disciolto mostrano una differente distribuzione verticale lungo i transetti ubicati nell'area, alternando condizioni caratterizzate da netti gradienti verticali a distribuzioni omogenee dalla superficie al fondo.

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla Il Campagna mostrano un andamento variabile dei parametri principali nell'area indagata. Si osserva in corrispondenza del transetto A71-A73 un minimo nei valori di temperatura, salinità e densità a cui corrispondono dei valori più elevati di fluorescenza. La Torbidità presenta valori bassi in tutta l'area indagata in minimo aumento in corrispondenza del transetto A71-A73.

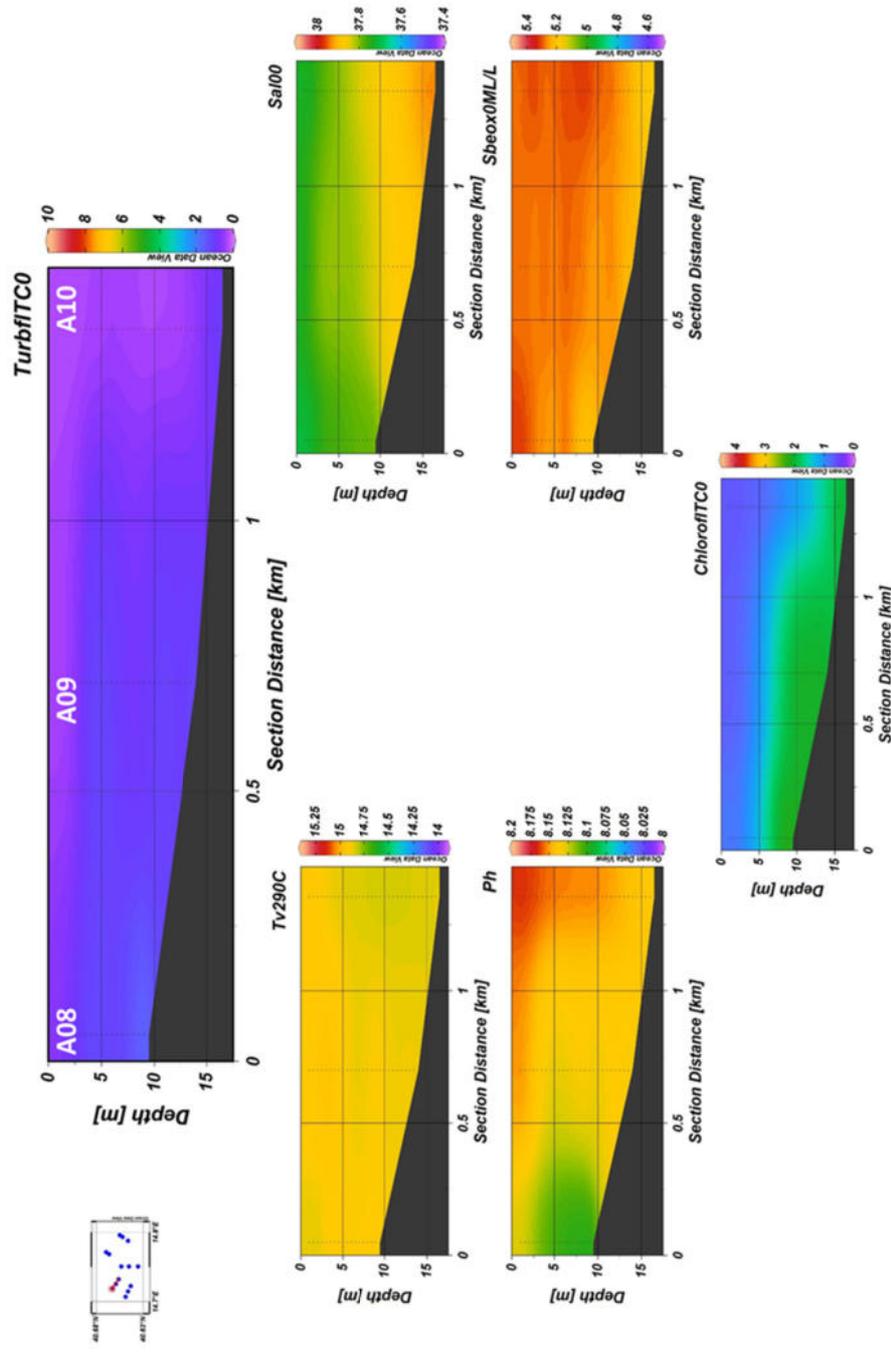


Figura 2.2.1.1.13 Sezioni verticali III Campagna (superficie-fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A08, A09, A10)

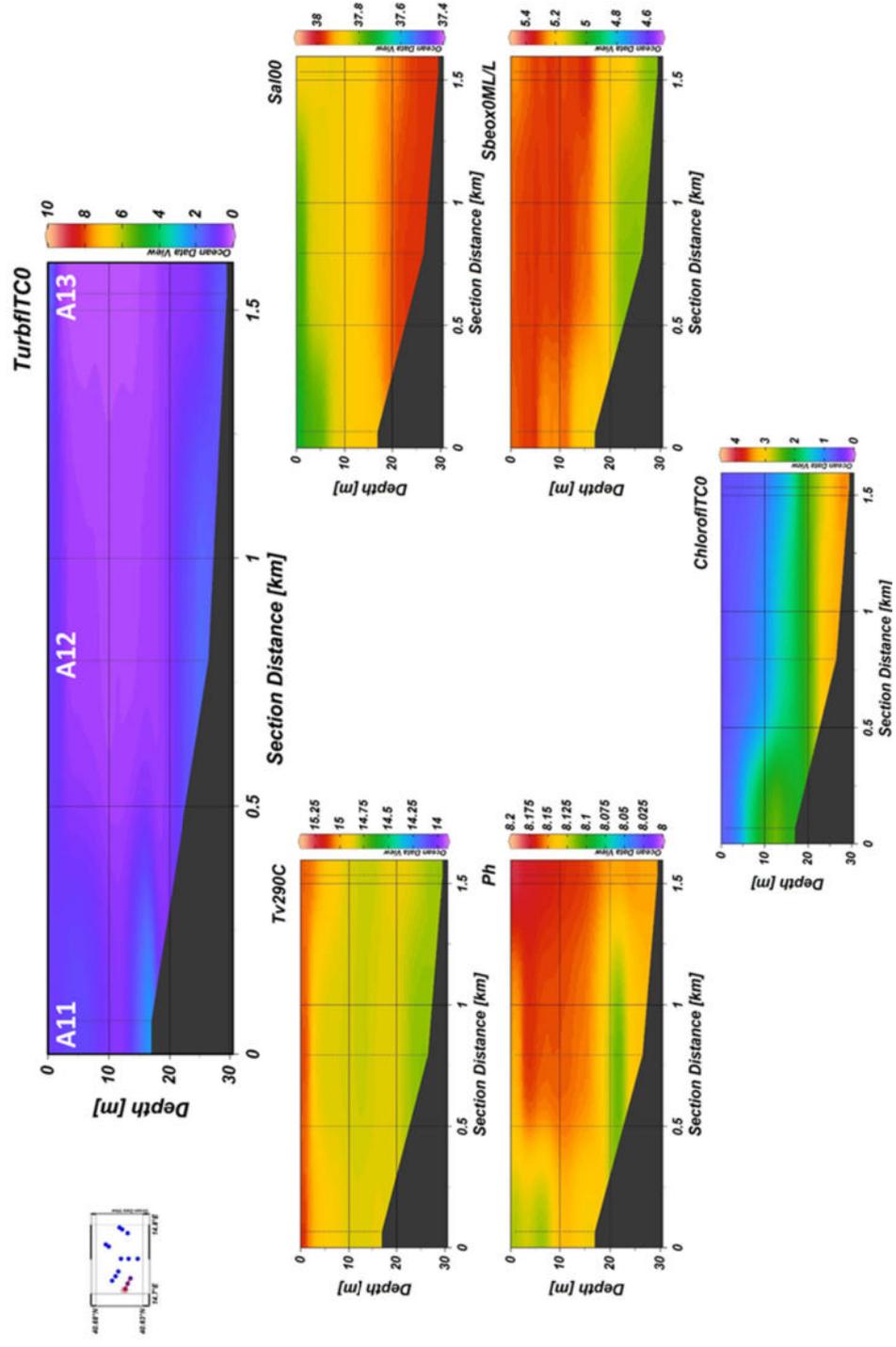


Figura 2.2.1.1.14 Sezioni verticali III Campagna (superficie-fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A11, A12, A13)

III Campagna

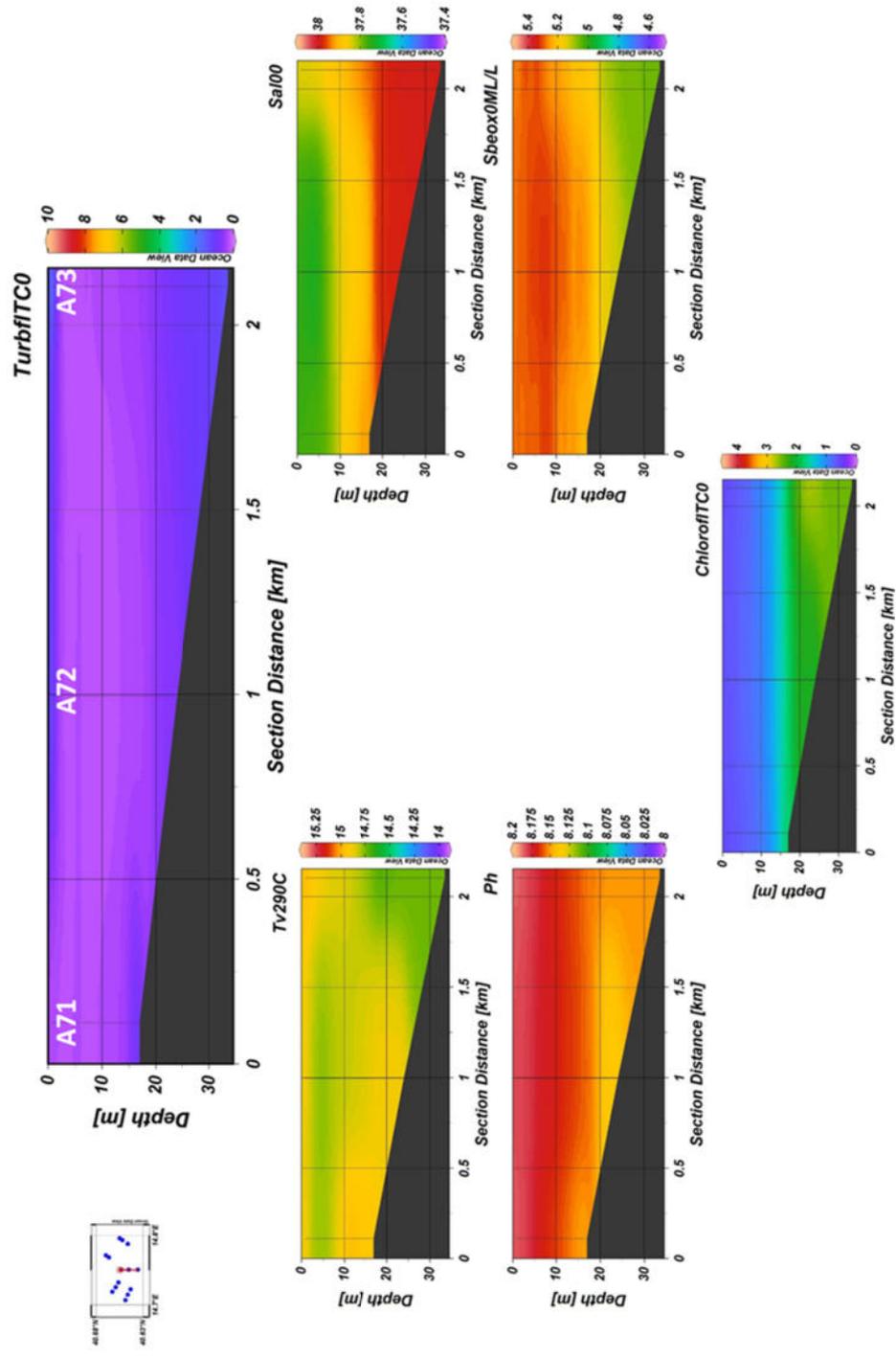


Figura 2.2.1.1.15 Sezioni verticali III Campagna (superficie–fondo) di Torbidità, Temperatura, Salinità, pH, Ossigeno disciolto e Fluorescenza (stazioni A71, A72, A73)

III Campagna

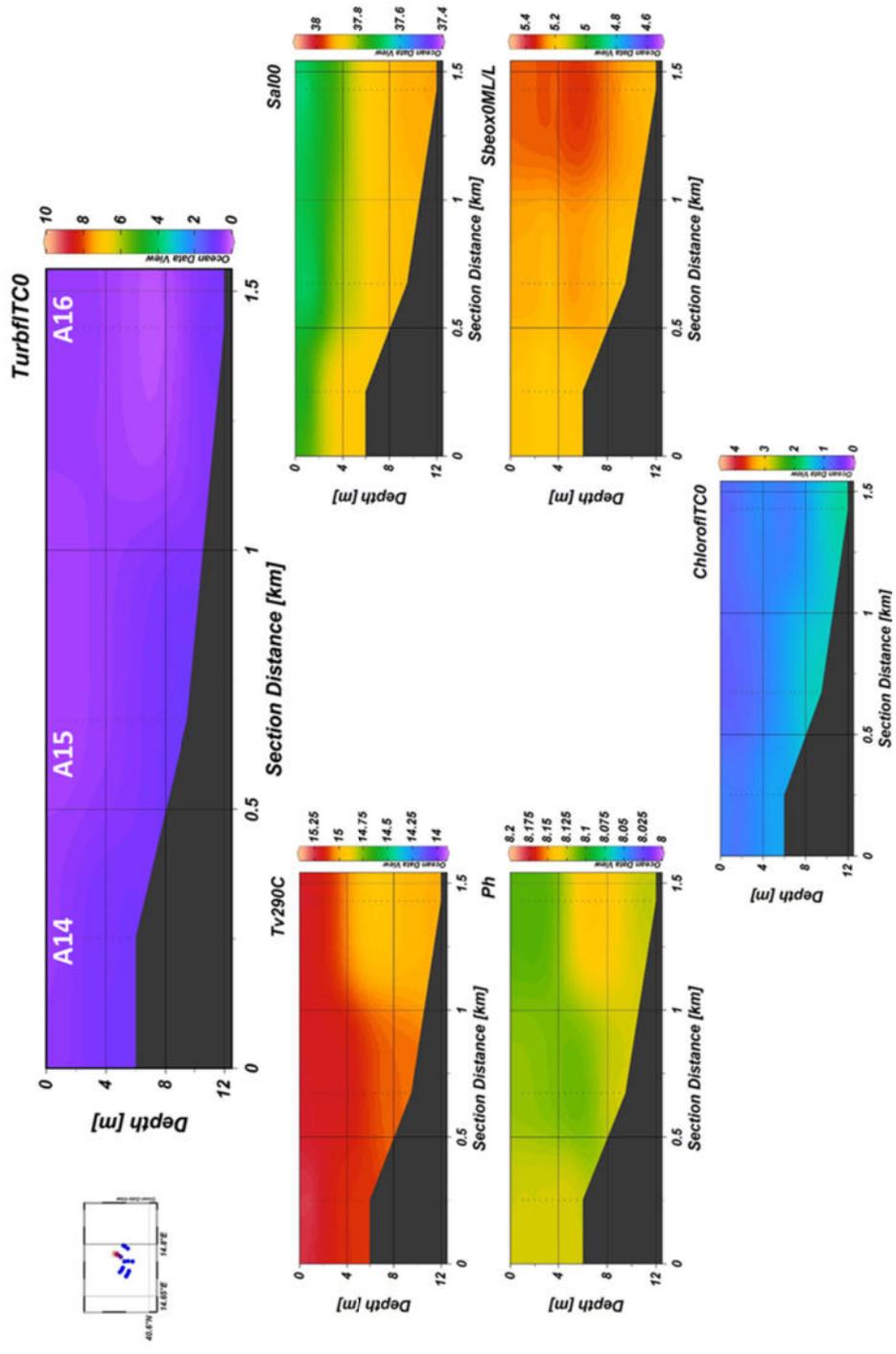
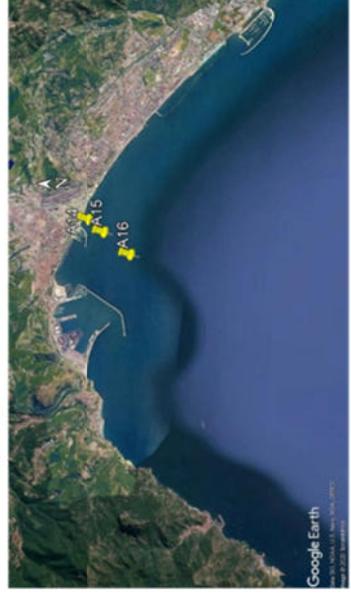


Figura 2.2.1.1.16 Sezioni verticali III Campagna (superficie-fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A14, A15, A16)

III Campagna

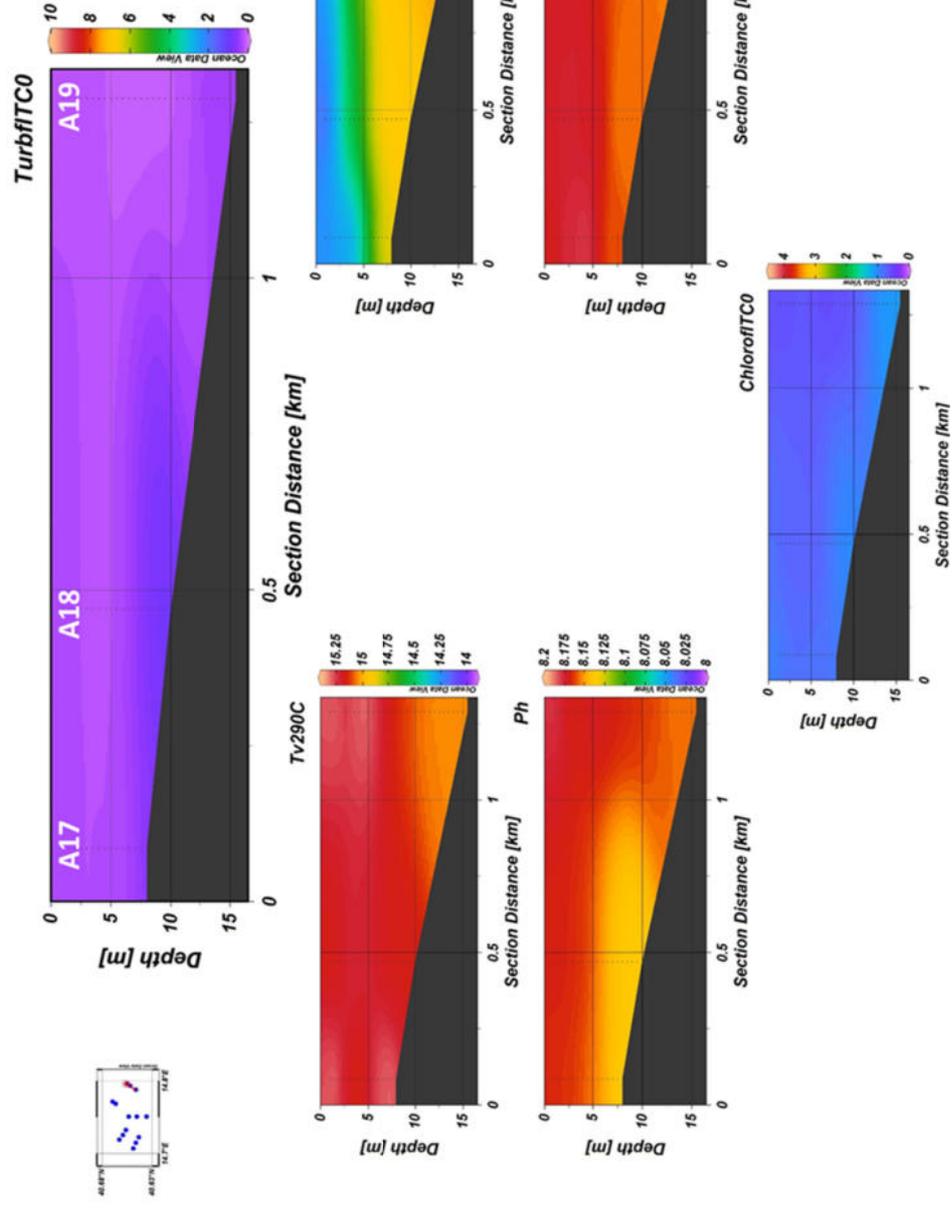
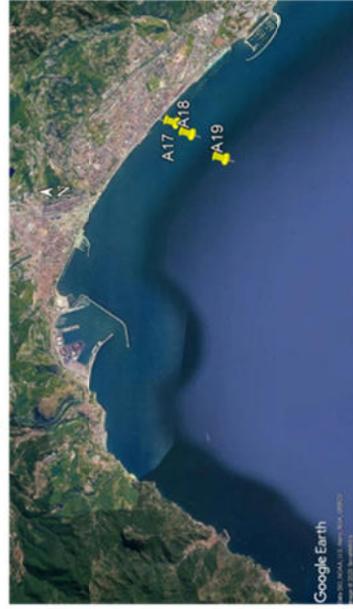


Figura 2.2.1.1.17 Sezioni verticali III Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A17, A18, A19)

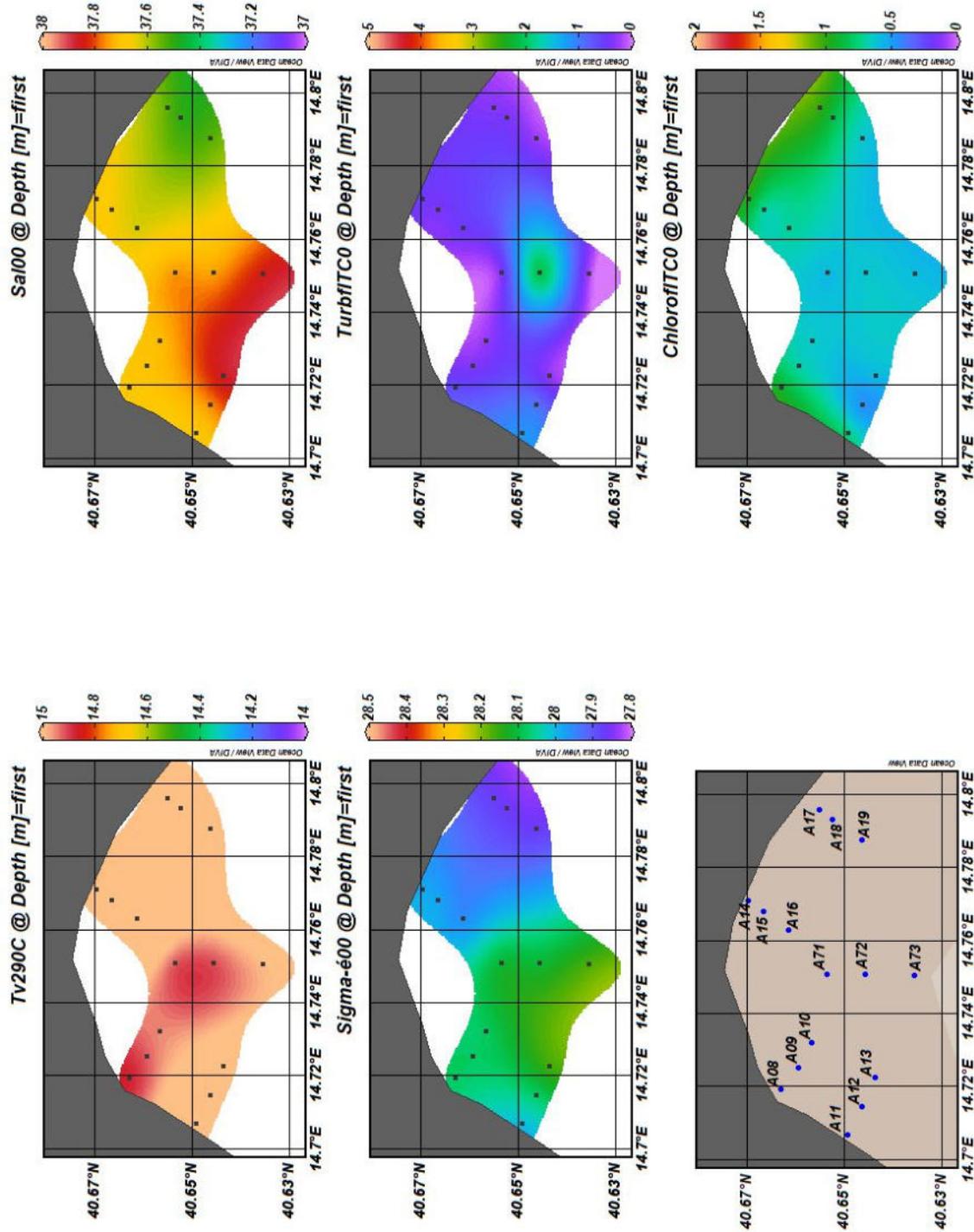


Figura 2.2.1.1.18 Mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza delle aree Potenzialmente Impattate dalle Operazioni di Dragaggio – III Campagna

Per quanto riguarda la III Campagna, le sezioni verticali dei principali parametri idrologici (Figure 2.2.1.1.3-2.2.1.1.17), mostrano un andamento abbastanza variabile tra i vari transetti in quasi tutti i parametri. Nei transetti A08-A10, A11-A13 e A71 A73 è possibile osservare una situazione di debole stratificazione, con acqua più dolce, leggermente più calda negli strati superficiali. Comportamento analogo si registra anche per la fluorescenza lungo gli stessi transetti. Nei transetti A14-A16 e A17-A19 si osservano valori più elevati di temperatura lungo tutta la colonna d'acqua e dei minimi di salinità negli strati superficiali. Il pH e l'ossigeno disciolto mostrano un andamento molto variabile, alternando la presenza di marcati gradienti verticali ad una distribuzione quasi omogenea dalla superficie al fondo. La torbidità presenta anche nella III campagna valori poco elevati ed abbastanza omogenei, dalla superficie al fondo, in tutti i transetti.

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla III Campagna mostrano un andamento variabile dei parametri principali nell'area indagata. Si osservano, in particolare per la torbidità, valori bassi in tutta l'area indagata e un aumento in corrispondenza della stazione A72.

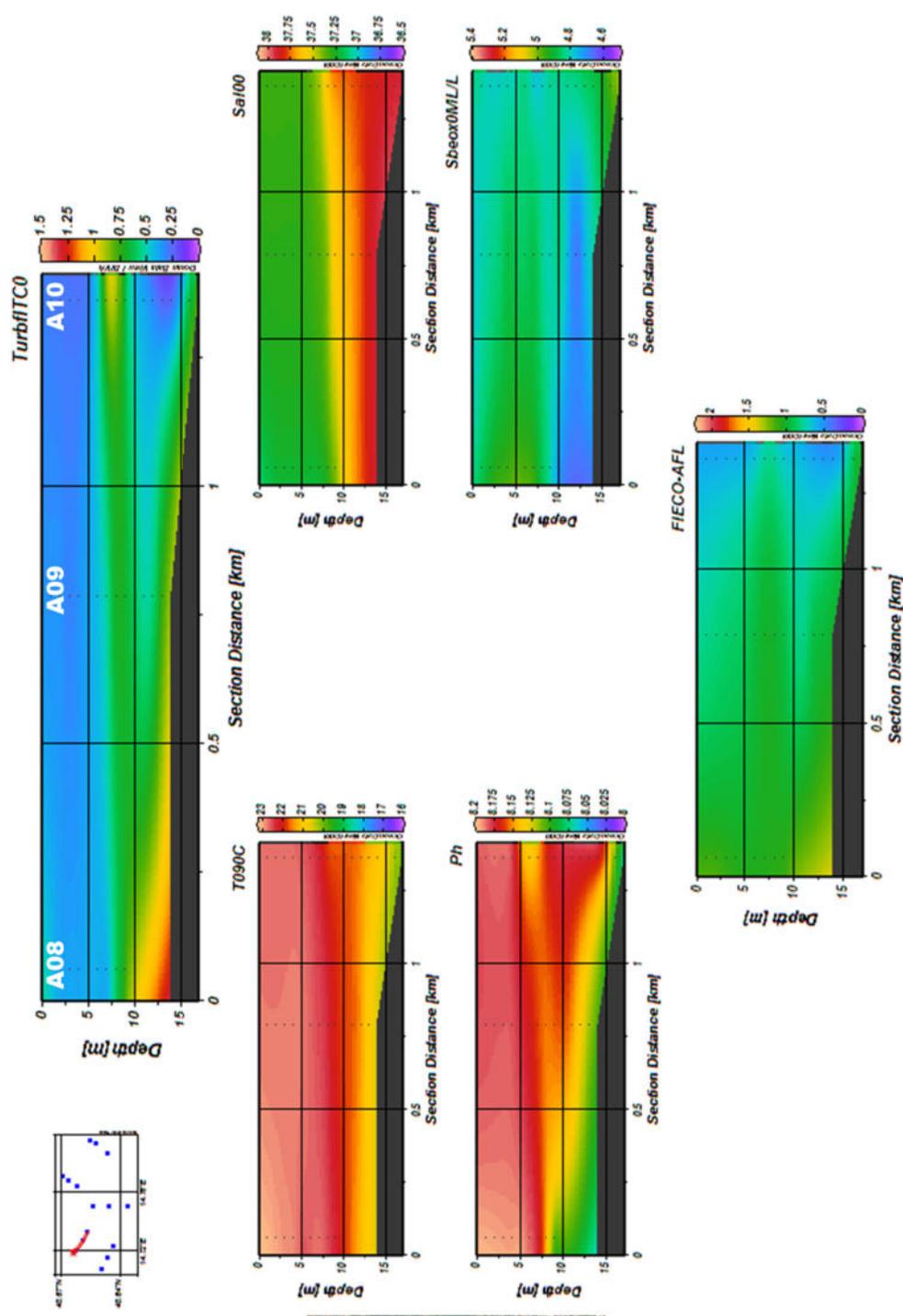


Figura 2.2.1.1-19 Sezioni verticali V Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A08, A09, A10)

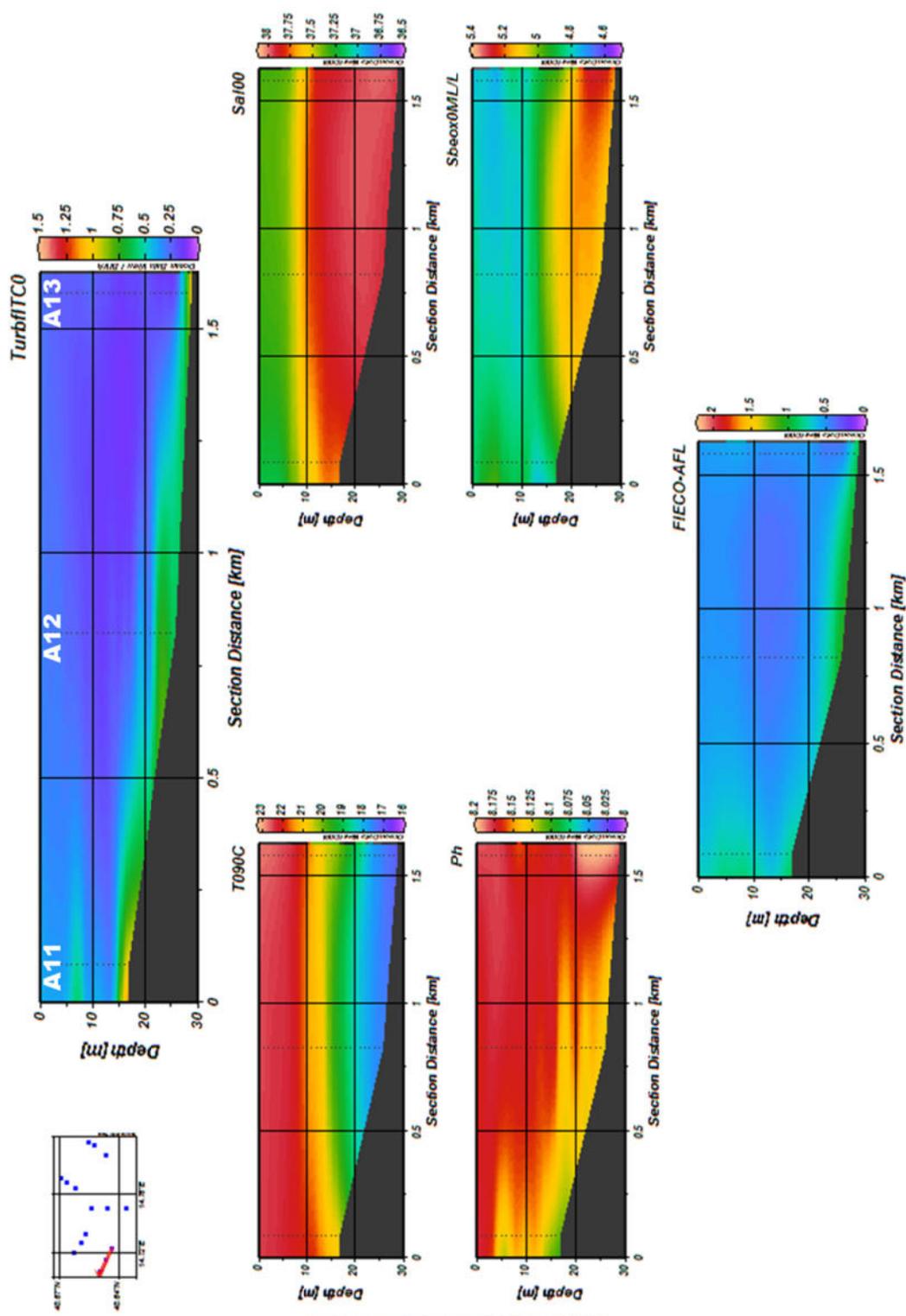


Figura 2.2.1.1.20 Sezioni verticali V Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A11, A12, A13)

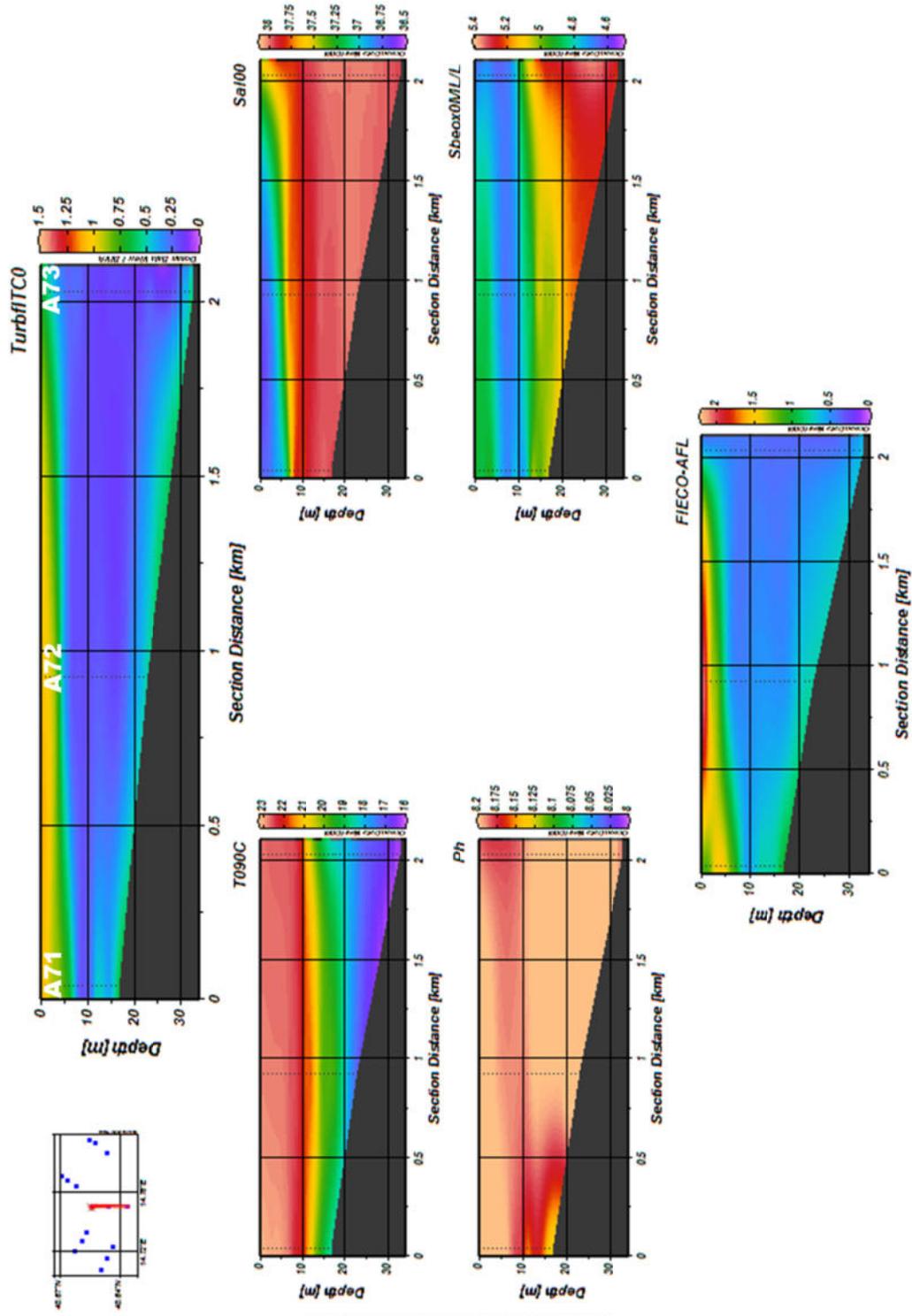
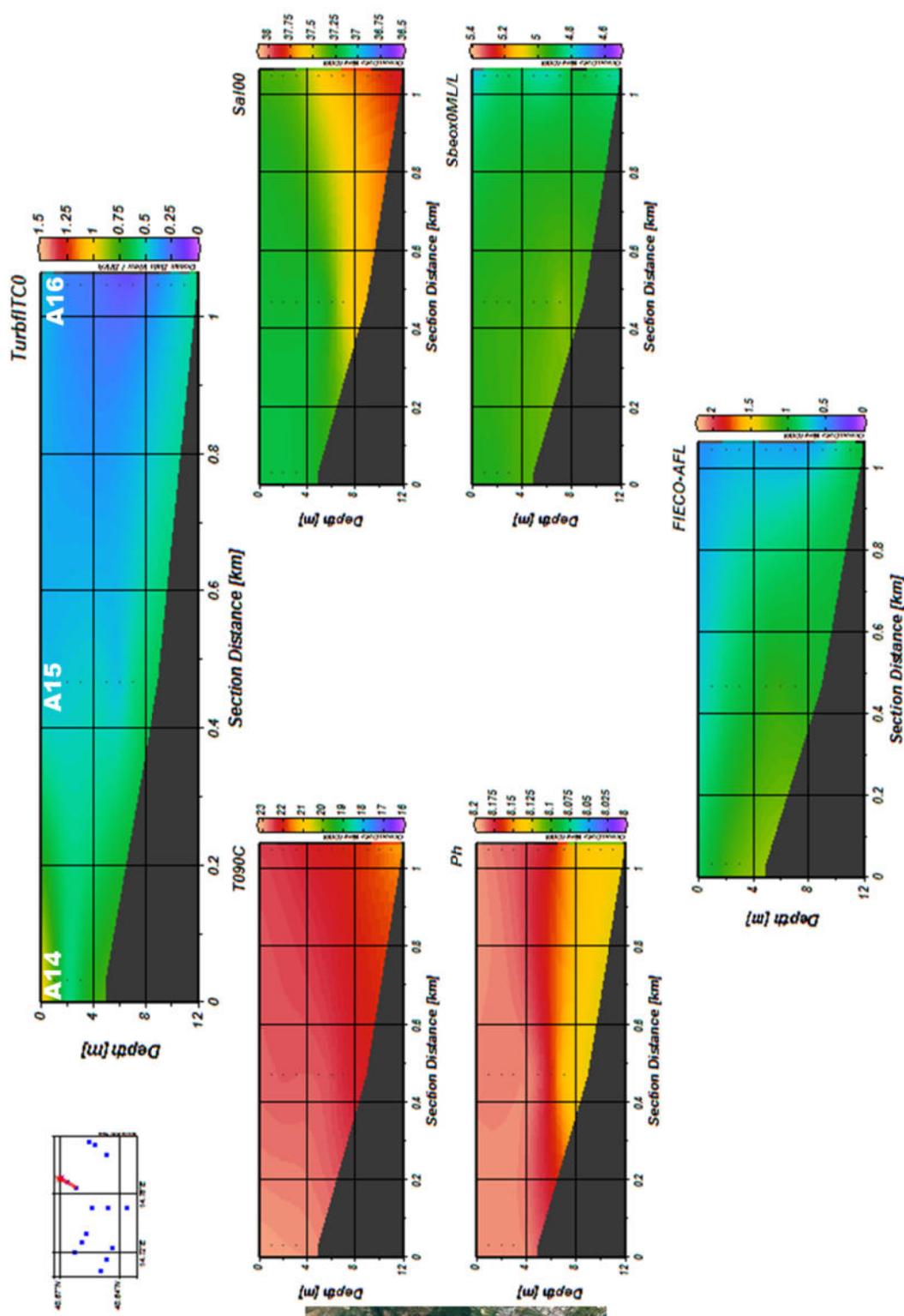


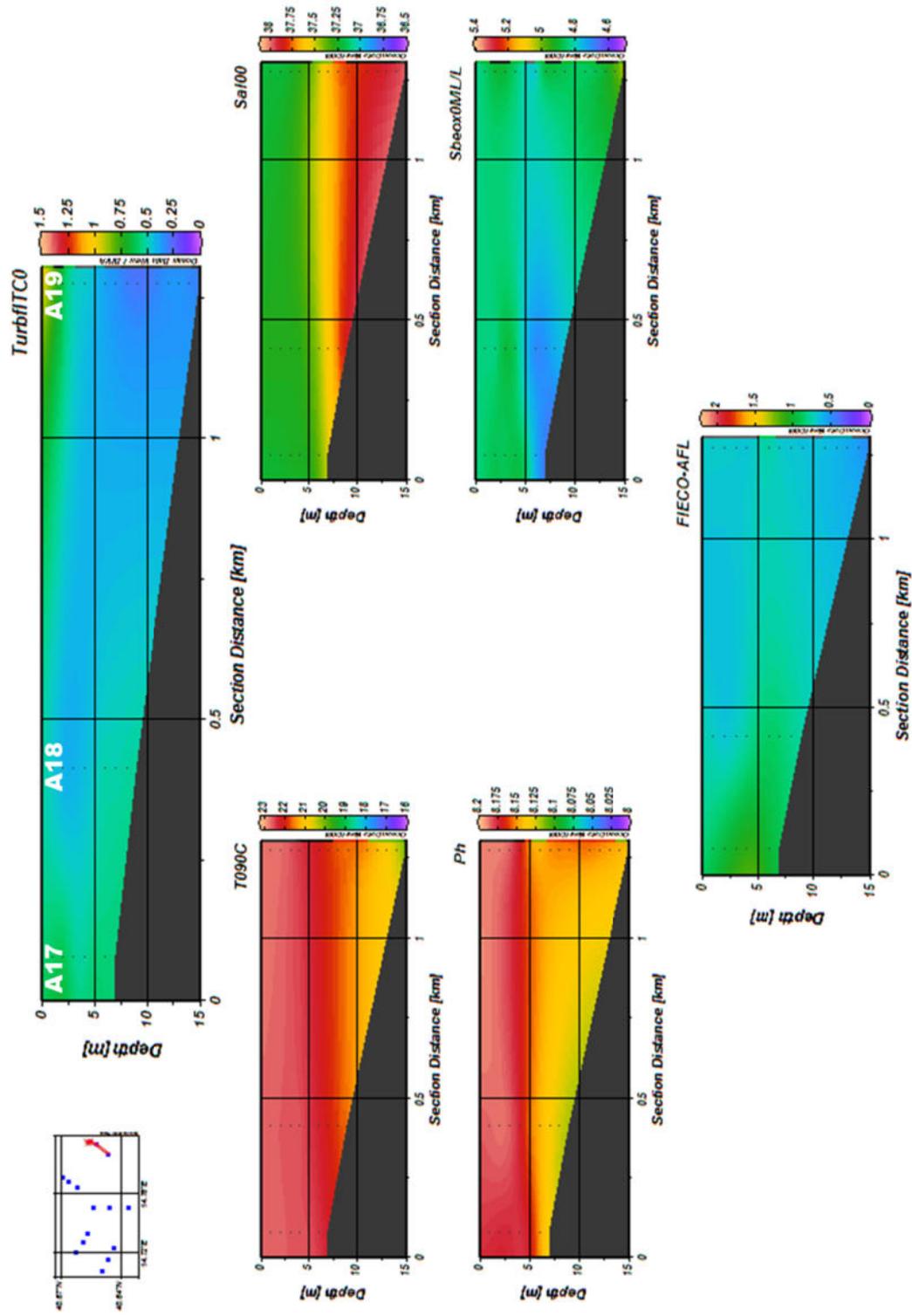
Figura 2.2.1.1.21 Sezioni verticali V Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A71, A72, A73)



V° Campagna



Figura 2.2.1.1.22 Sezioni verticali V Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A14, A15, A16)



V° Campagna



Figura 2.2.1.1-23 Sezioni verticali V Campagna (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A17, A18, A19)

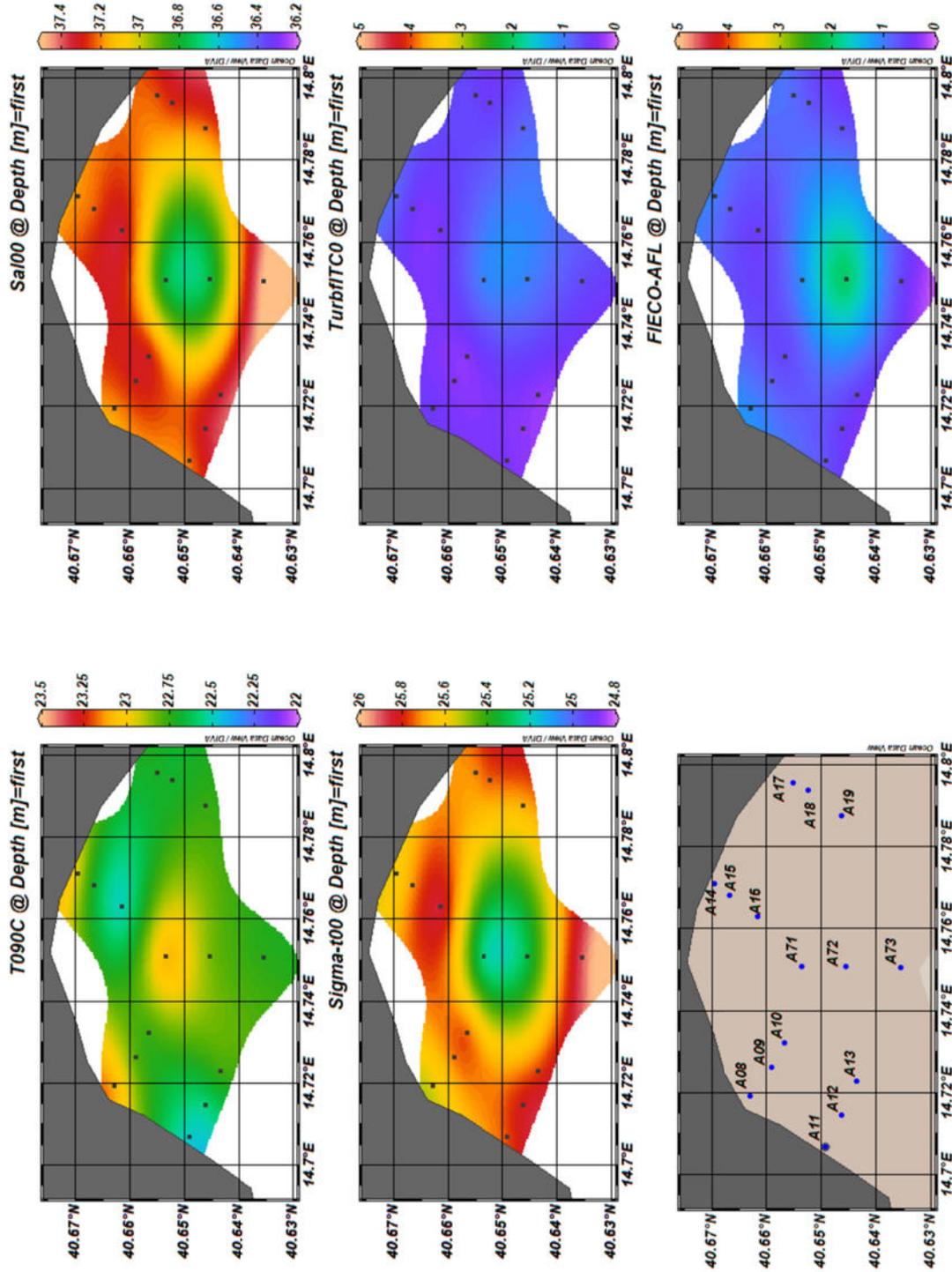


Figura 2.2.1.1.24 Mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza delle aree Potenzialmente Impattate dalle Operazioni di Dragaggio – V Campagna

Per quanto riguarda la V Campagna, le sezioni verticali di temperatura e salinità (Figure 2.2.1.1.19 - 2.2.1.1.23), mostrano una situazione tipica di inizio estate caratterizzata da una stratificazione termica della colonna d'acqua in quasi tutti i transetti. Fa eccezione il transetto A14-A16 in cui si osservano valori di temperatura e ossigeno disciolto molto omogenei nella colonna d'acqua. Fluorescenza e torbidità presentano entrambi massimi superficiali in corrispondenza del transetto A71-A73 e valori massimi al fondo (quasi sempre in fase tra loro) negli altri transetti. Il pH e l'ossigeno disciolto mostrano un andamento variabile alternando la presenza di marcati gradienti verticali ad una distribuzione quasi omogenea dalla superficie al fondo

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità e fluorescenza relative alla V Campagna mostrano un andamento variabile dei parametri principali nell'area indagata. Si osserva in corrispondenza del transetto A71-A73 un aumento dei valori di temperatura, torbidità e fluorescenza e una diminuzione della salinità.

2.2.1.2 Caratterizzazione chimica

Nutrienti

Le concentrazioni di ammoniaca presentano generalmente valori più bassi lungo i transetti A08-A10 e A11-A13 (Figura 2.2.1.2.1). Le concentrazioni sono comprese tra valori inferiori al limite di rilevabilità ($0.05 \text{ mmoli m}^{-3}$) e $1.96 \text{ mmoli m}^{-3}$, osservato al fondo della stazione A14 nella campagna di inizio marzo. Il valore medio è $0.42 \text{ mmoli m}^{-3}$ (Tabella 2.2.1.2.1) ed è abbastanza simile al valore medio osservato nel monitoraggio *ante operam* ($0.27 \text{ mmoli m}^{-3}$).

Le concentrazioni di nitriti risultano quasi sempre inferiori a 0.1 mmoli m^{-3} (Figura 2.2.1.2.2) e sono comprese tra i valori $0.02 \text{ mmoli m}^{-3}$ e $0.57 \text{ mmoli m}^{-3}$ (Tabella 2.2.1.2.1). La concentrazione media nell'area è 0.1 mmoli m^{-3} . Si osservano valori di concentrazione notevolmente più elevate in superficie alle stazioni A17-A19 nella campagna di febbraio e in superficie alla stazione A14, nel corso della campagna di inizio marzo.

I nitrati nell'area in esame (Figura 2.2.1.2.3) presentano concentrazioni in gran parte inferiori a 1 mmoli m^{-3} . È interessante osservare come la stazione A14, in superficie, presenti concentrazioni superiori rispetto alle altre stazioni (Tabella 2.2.1.2.2) nelle campagne di febbraio, inizio e fine marzo. Tali valori risultano essere maggiori rispetto a quelli osservati all'interno del porto. Il *range* di concentrazione dell'intera area è $0.09-50.03 \text{ mmoli m}^{-3}$ e la concentrazione media è $1.75 \text{ mmoli m}^{-3}$.

Le concentrazioni dei fosfati (Figura 2.2.1.2.4) variano tra valori inferiori al *detection limit* ($0.01 \text{ mmoli m}^{-3}$) e $0.13 \text{ mmoli m}^{-3}$. Il valore massimo è stato osservato in superficie alla stazione A08 nella campagna di giugno. La concentrazione media dell'area è $0.03 \text{ mmoli m}^{-3}$, molto simile al valore medio osservato nel monitoraggio *ante operam* ($0.04 \text{ mmoli m}^{-3}$).

Le concentrazioni dei silicati sono comprese tra $1.10 \text{ mmoli m}^{-3}$ e $67.35 \text{ mmoli m}^{-3}$ (Figura 2.2.1.2.5). Come osservato precedentemente per i nitrati, la stazione A14 mostra concentrazioni notevolmente elevate nelle campagne di febbraio, inizio e fine marzo. La concentrazione media dell'area ($3.92 \text{ mmoli m}^{-3}$) è paragonabile a quella osservata nel corso dell'*ante operam* ($2.81 \text{ mmoli m}^{-3}$).

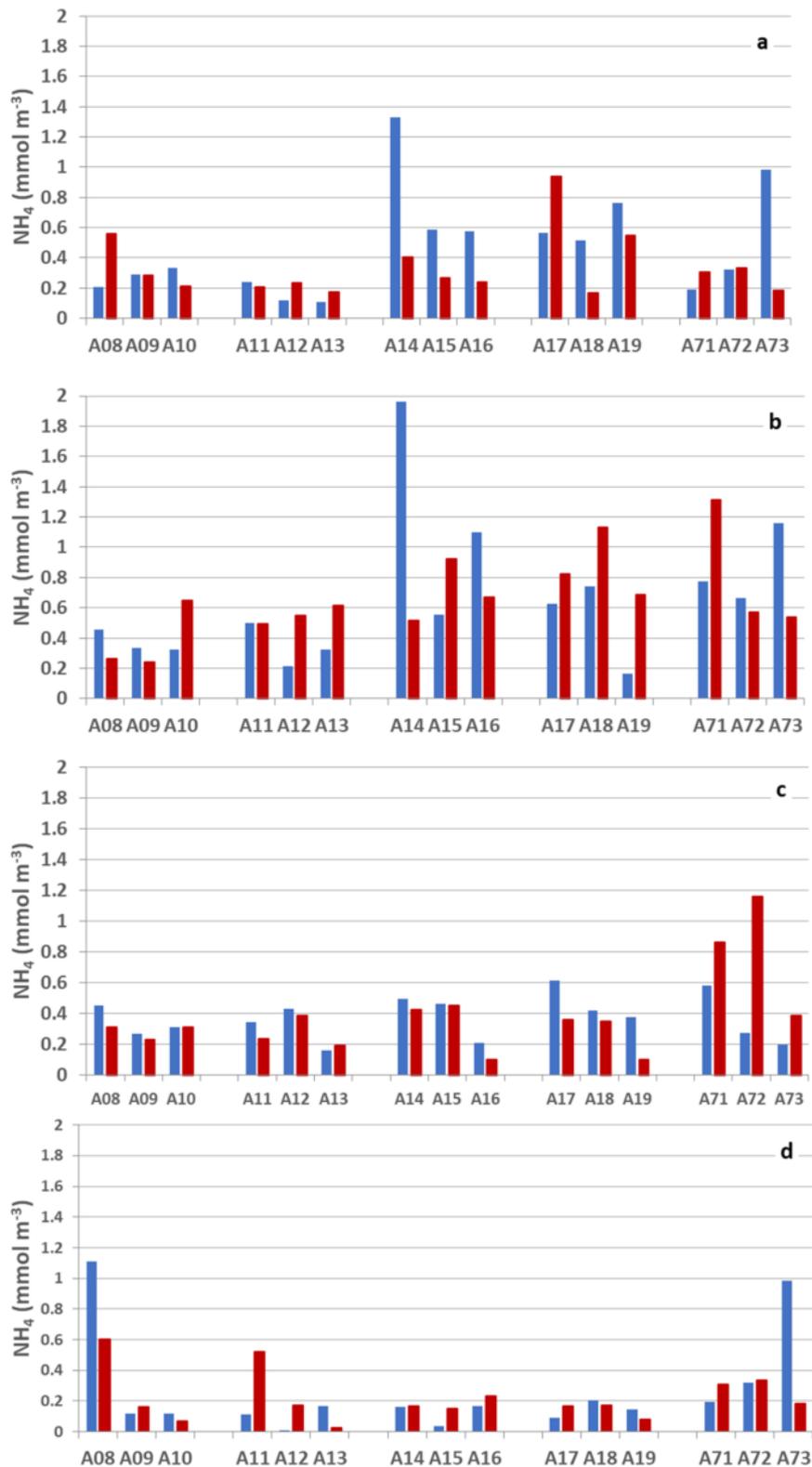


Figura 2.2.1.2.1. Concentrazioni di ammoniaca nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (■superficie e ■fondo) il 18 febbraio a), il 2 marzo b), il 17-18 marzo c) e il 17-18 giugno d) 2020

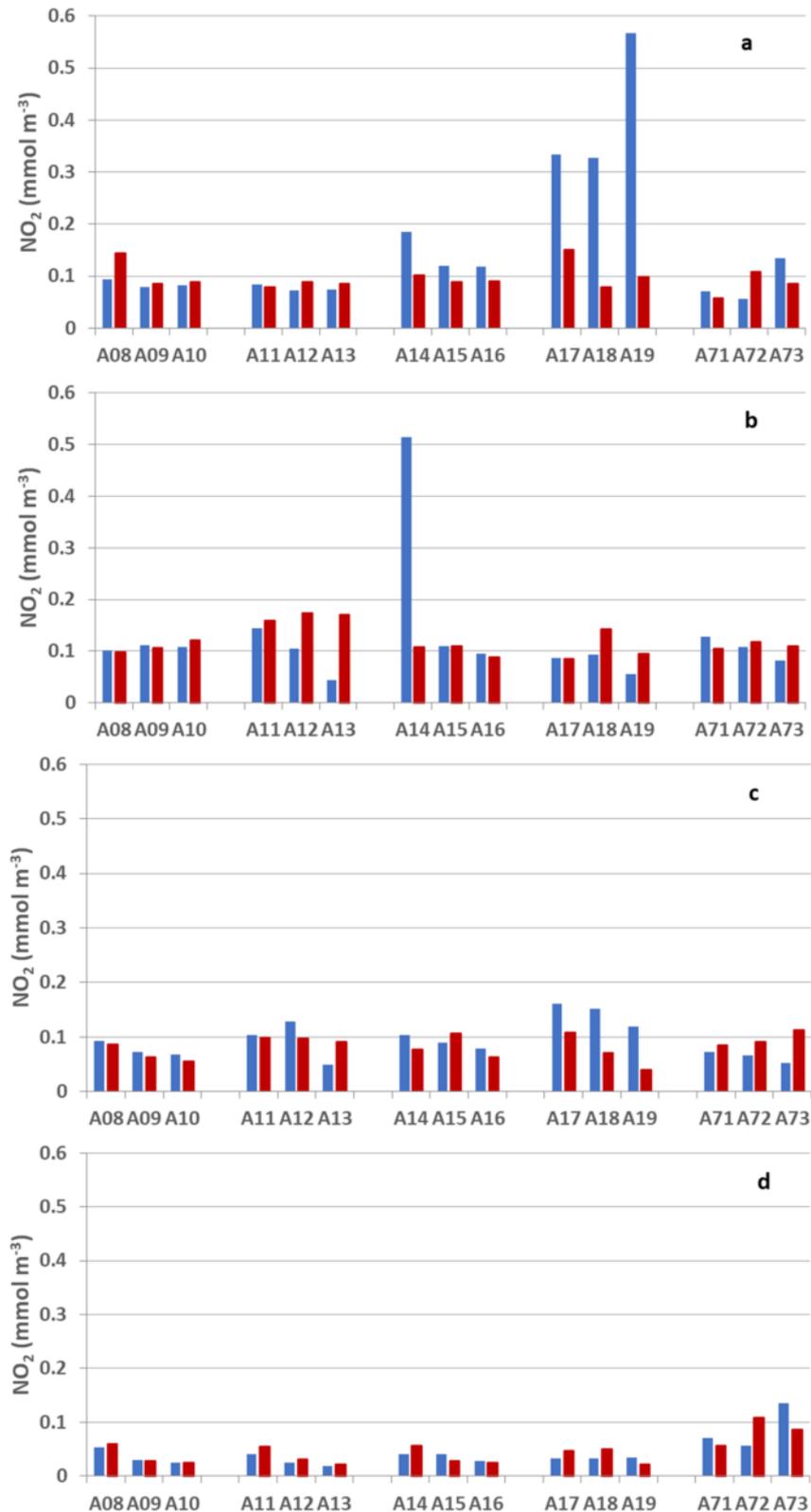


Figura 2.2.1.2.2. Concentrazioni dei nitriti nell'areapotenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (■superficie e ■fondo) il 18 febbraio a), il 2 marzo b), il 17-18 marzo c) e il 17-18 giugno d) 2020.

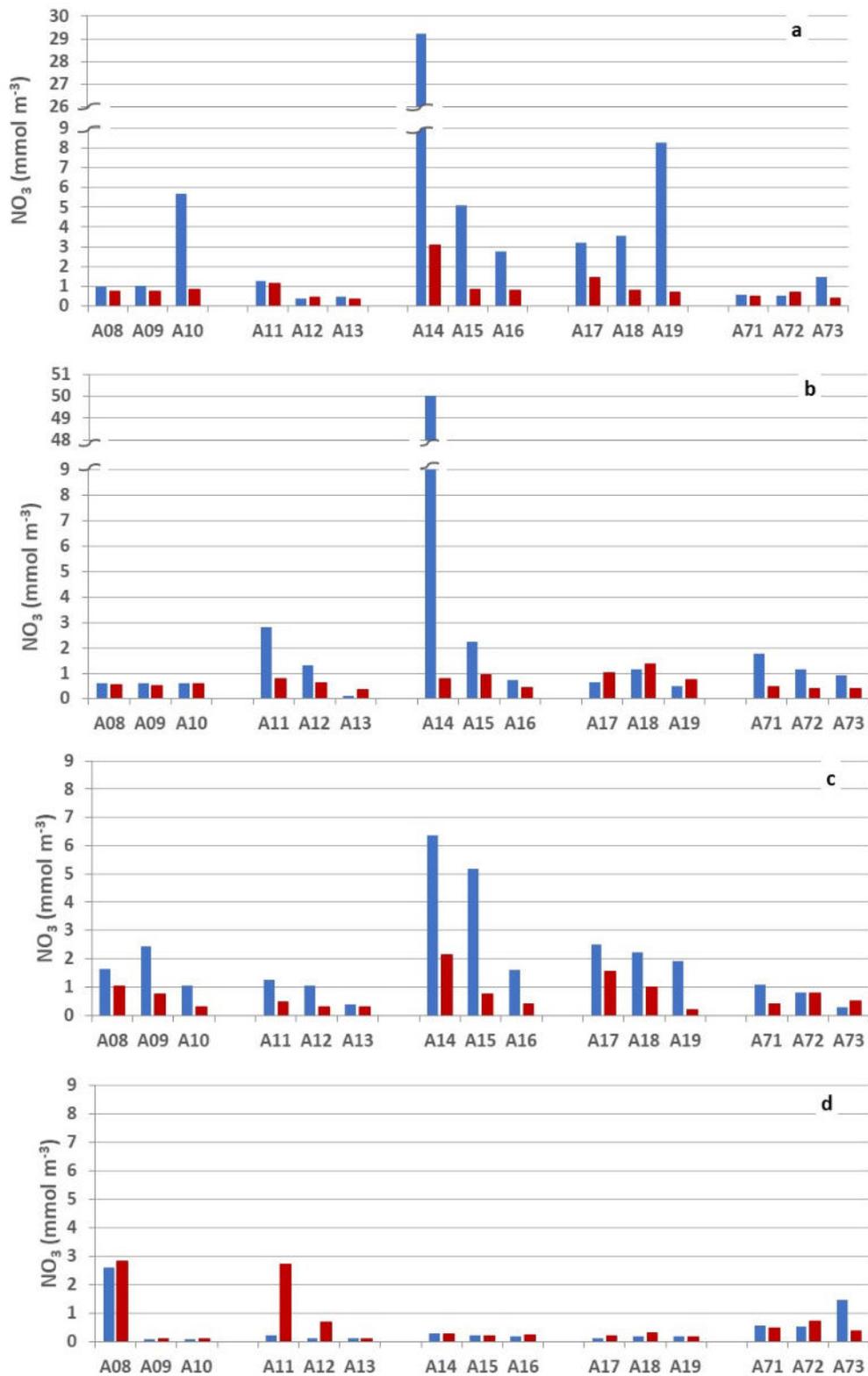


Figura 2.2.1.2.3. Concentrazioni dei nitrati nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (*superficie e *fondo) il 18 febbraio a), il 2 marzo b), il 17-18 marzo c) e il 17-18 giugno d) 2020.

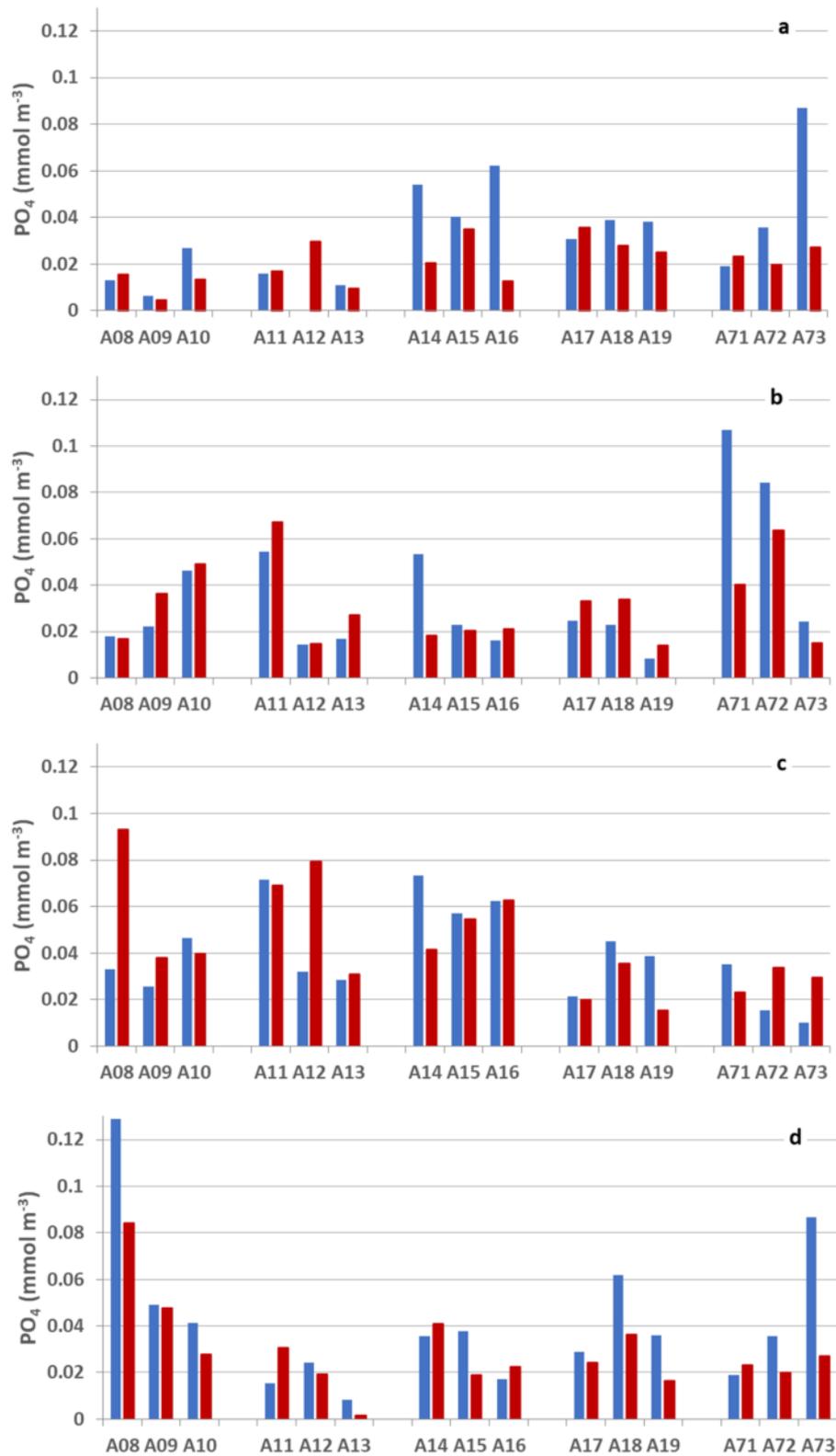


Figura 2.2.1.2.4. Concentrazioni dei fosfati nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (*superficie e *fondo) il 18 febbraio **a**), il 2 marzo **b**), il 17-18 marzo **c**) e il 17-18 giugno **d**) 2020.

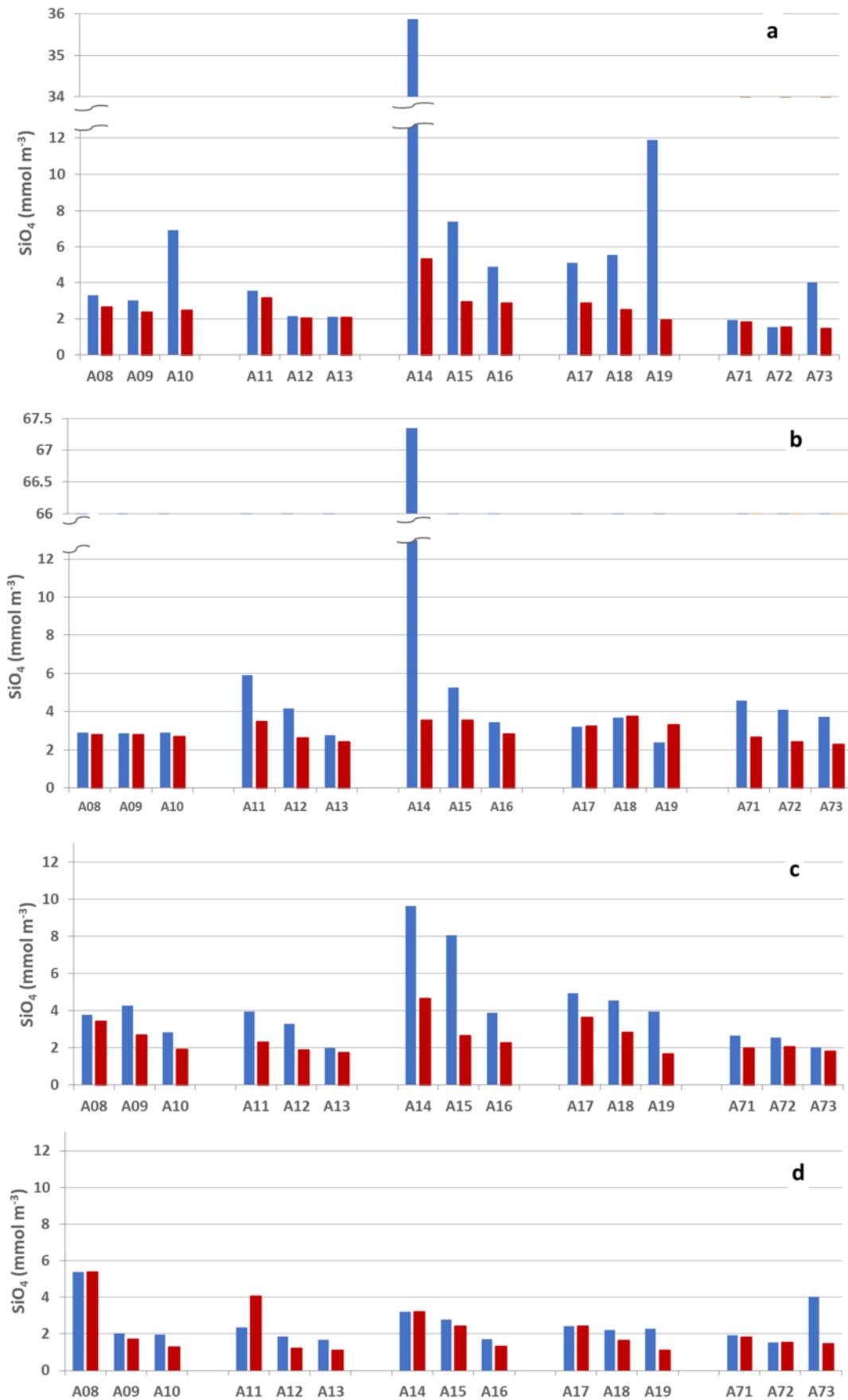


Figura 2.2.1.2.5. Concentrazioni dei silicati nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (■superficie e ■fondo) il 18 febbraio a), il 2 marzo b), il 17-18 marzo c) e il 17-18 giugno d) 2022

Tabella 2.2.1.2.1. Concentrazioni dei nutrienti inorganici nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio.

Campione	Profondità (m)	NH ₄ (mmoli m ⁻³)	NO ₂ (mmoli m ⁻³)	NO ₃ (mmoli m ⁻³)	PO ₄ (mmoli m ⁻³)	SiO ₄ (mmoli m ⁻³)
A08_S_1	0	0.21	0.09	0.96	0.01	3.31
A08_F_1	10	0.56	0.14	0.72	0.02	2.66
A09_S_1	0	0.29	0.08	0.99	0.01	3.01
A09_F_1	12	0.29	0.09	0.75	0.00	2.36
A10_S_1	0	0.34	0.08	5.67	0.03	6.94
A10_F_1	15	0.21	0.09	0.83	0.01	2.48
A11_S_1	0	0.24	0.08	1.27	0.02	3.55
A11_F_1	15	0.21	0.08	1.14	0.02	3.15
A12_S_1	0	0.12	0.07	0.37	0.00	2.14
A12_F_1	24	0.24	0.09	0.45	0.03	2.05
A13_S_1	0	0.11	0.07	0.45	0.01	2.10
A13_F_1	29	0.17	0.09	0.34	0.01	2.08
A14_S_1	0	1.33	0.19	29.21	0.05	35.87
A14_F_1	5	0.40	0.10	3.10	0.02	5.34
A15_S_1	0	0.58	0.12	5.08	0.04	7.40
A15_F_1	9	0.27	0.09	0.85	0.04	2.92
A16_S_1	0	0.58	0.12	2.74	0.06	4.93
A16_F_1	12	0.24	0.09	0.78	0.01	2.87
A17_S_1	0	0.56	0.33	3.22	0.03	5.15
A17_F_1	7	0.94	0.15	1.46	0.04	2.88
A18_S_1	0	0.51	0.33	3.55	0.04	5.58
A18_F_1	8	0.17	0.08	0.82	0.03	2.51
A19_S_1	0	0.76	0.57	8.29	0.04	11.88
A19_F_1	13	0.55	0.10	0.70	0.03	1.93
A71_S_1	0	0.19	0.07	0.56	0.02	1.94
A71_F_1	17	0.31	0.06	0.49	0.02	1.81
A72_S_1	0	0.32	0.06	0.53	0.04	1.54
A72_F_1	23	0.33	0.11	0.70	0.02	1.53
A73_S_1	0	0.98	0.13	1.47	0.09	4.03
A73_F_1	33	0.18	0.09	0.38	0.03	1.46
A08_S_2	0	0.46	0.10	0.60	0.02	2.91
A08_F_2	10	0.27	0.10	0.55	0.02	2.78
A09_S_2	0	0.33	0.11	0.58	0.02	2.86
A09_F_2	12	0.24	0.11	0.51	0.04	2.81
A10_S_2	0	0.32	0.11	0.58	0.05	2.89
A10_F_2	15	0.65	0.12	0.57	0.05	2.70
A11_S_2	0	0.50	0.14	2.84	0.05	5.90
A11_F_2	15	0.50	0.16	0.81	0.07	3.49
A12_S_2	0	0.21	0.11	1.35	0.01	4.15

A12_F_2	24	0.55	0.17	0.61	0.01	2.62
A13_S_2	0	0.32	0.04	0.11	0.02	2.78
A13_F_2	29	0.62	0.17	0.36	0.03	2.44
A14_S_2	0	1.96	0.51	50.03	0.05	67.35
A14_F_2	5	0.52	0.11	0.82	0.02	3.56
A15_S_2	0	0.56	0.11	2.24	0.02	5.24
A15_F_2	9	0.92	0.11	0.95	0.02	3.55
A16_S_2	0	1.10	0.10	0.75	0.02	3.43
A16_F_2	12	0.67	0.09	0.41	0.02	2.83
A17_S_2	0	0.63	0.09	0.65	0.02	3.21
A17_F_2	7	0.82	0.08	1.03	0.03	3.25
A18_S_2	0	0.74	0.09	1.16	0.02	3.70
A18_F_2	8	1.13	0.14	1.40	0.03	3.76
A19_S_2	0	0.16	0.06	0.47	0.01	2.38
A19_F_2	13	0.68	0.09	0.78	0.01	3.32
A71_S_2	0	0.77	0.13	1.79	0.11	4.58
A71_F_2	17	1.31	0.11	0.48	0.04	2.66
A72_S_2	0	0.67	0.11	1.20	0.08	4.11
A72_F_2	23	0.57	0.12	0.40	0.06	2.44
A73_S_2	0	1.16	0.08	0.95	0.02	3.72
A73_F_2	33	0.54	0.11	0.40	0.01	2.29
A08_S_3	0	0.45	0.09	1.64	0.03	3.77
A08_F_3	10	0.31	0.09	1.03	0.09	3.44
A09_S_3	0	0.27	0.07	2.44	0.03	4.26
A09_F_3	12	0.23	0.06	0.74	0.04	2.71
A10_S_3	0	0.31	0.07	1.04	0.05	2.85
A10_F_3	15	0.31	0.05	0.31	0.04	1.93
A11_S_3	0	0.34	0.10	1.24	0.07	3.95
A11_F_3	15	0.23	0.10	0.46	0.07	2.30
A12_S_3	0	0.43	0.13	1.04	0.03	3.28
A12_F_3	24	0.39	0.10	0.28	0.08	1.90
A13_S_3	0	0.16	0.05	0.39	0.03	1.98
A13_F_3	29	0.19	0.09	0.29	0.03	1.77
A14_S_3	0	0.50	0.10	6.37	0.07	9.62
A14_F_3	5	0.42	0.08	2.16	0.04	4.65
A15_S_3	0	0.46	0.09	5.17	0.06	8.04
A15_F_3	9	0.45	0.11	0.74	0.05	2.64
A16_S_3	0	0.21	0.08	1.60	0.06	3.88
A16_F_3	12	0.10	0.06	0.39	0.06	2.27
A17_S_3	0	0.62	0.16	2.51	0.02	4.93
A17_F_3	7	0.36	0.11	1.56	0.02	3.64
A18_S_3	0	0.42	0.15	2.24	0.05	4.53
A18_F_3	8	0.35	0.07	0.98	0.04	2.82
A19_S_3	0	0.38	0.12	1.91	0.04	3.96

A19_F_3	13	0.10	0.04	0.21	0.02	1.70
A71_S_3	0	0.58	0.07	1.07	0.04	2.67
A71_F_3	17	0.86	0.08	0.40	0.02	2.00
A72_S_3	0	0.27	0.07	0.79	0.02	2.54
A72_F_3	23	1.16	0.09	0.77	0.03	2.08
A73_S_3	0	0.20	0.05	0.29	0.01	2.05
A73_F_3	33	0.39	0.11	0.51	0.03	1.82
A08_S_5	0	1.11	0.05	2.61	0.13	5.37
A08_F_5	10	0.60	0.06	2.82	0.08	5.39
A09_S_5	0	0.12	0.03	0.09	0.05	2.03
A09_F_5	12	0.16	0.03	0.10	0.05	1.69
A10_S_5	0	0.12	0.03	0.10	0.04	1.97
A10_F_5	15	0.07	0.03	0.11	0.03	1.28
A11_S_5	0	0.11	0.04	0.20	0.02	2.35
A11_F_5	15	0.52	0.05	2.71	0.03	4.08
A12_S_5	0	0.00	0.03	0.12	0.02	1.84
A12_F_5	24	0.17	0.03	0.67	0.02	1.20
A13_S_5	0	0.17	0.02	0.11	0.01	1.67
A13_F_5	29	0.02	0.02	0.11	0.00	1.10
A14_S_5	0	0.16	0.04	0.28	0.04	3.20
A14_F_5	5	0.17	0.06	0.27	0.04	3.22
A15_S_5	0	0.04	0.04	0.23	0.04	2.79
A15_F_5	9	0.15	0.03	0.20	0.02	2.41
A16_S_5	0	0.17	0.03	0.17	0.02	1.72
A16_F_5	12	0.23	0.02	0.23	0.02	1.33
A17_S_5	0	0.09	0.03	0.13	0.03	2.42
A17_F_5	7	0.17	0.05	0.19	0.02	2.41
A18_S_5	0	0.21	0.03	0.17	0.06	2.21
A18_F_5	8	0.17	0.05	0.30	0.04	1.64
A19_S_5	0	0.15	0.03	0.20	0.04	2.28
A19_F_5	13	0.08	0.02	0.17	0.02	1.10
A71_S_5	0	0.19	0.07	0.56	0.02	1.94
A71_F_5	17	0.31	0.06	0.49	0.02	1.81
A72_S_5	0	0.32	0.06	0.53	0.04	1.54
A72_F_5	23	0.33	0.11	0.70	0.02	1.53
A73_S_5	0	0.98	0.13	1.47	0.09	4.03
A73_F_5	33	0.18	0.09	0.38	0.03	1.46

Solidi sospesi totali

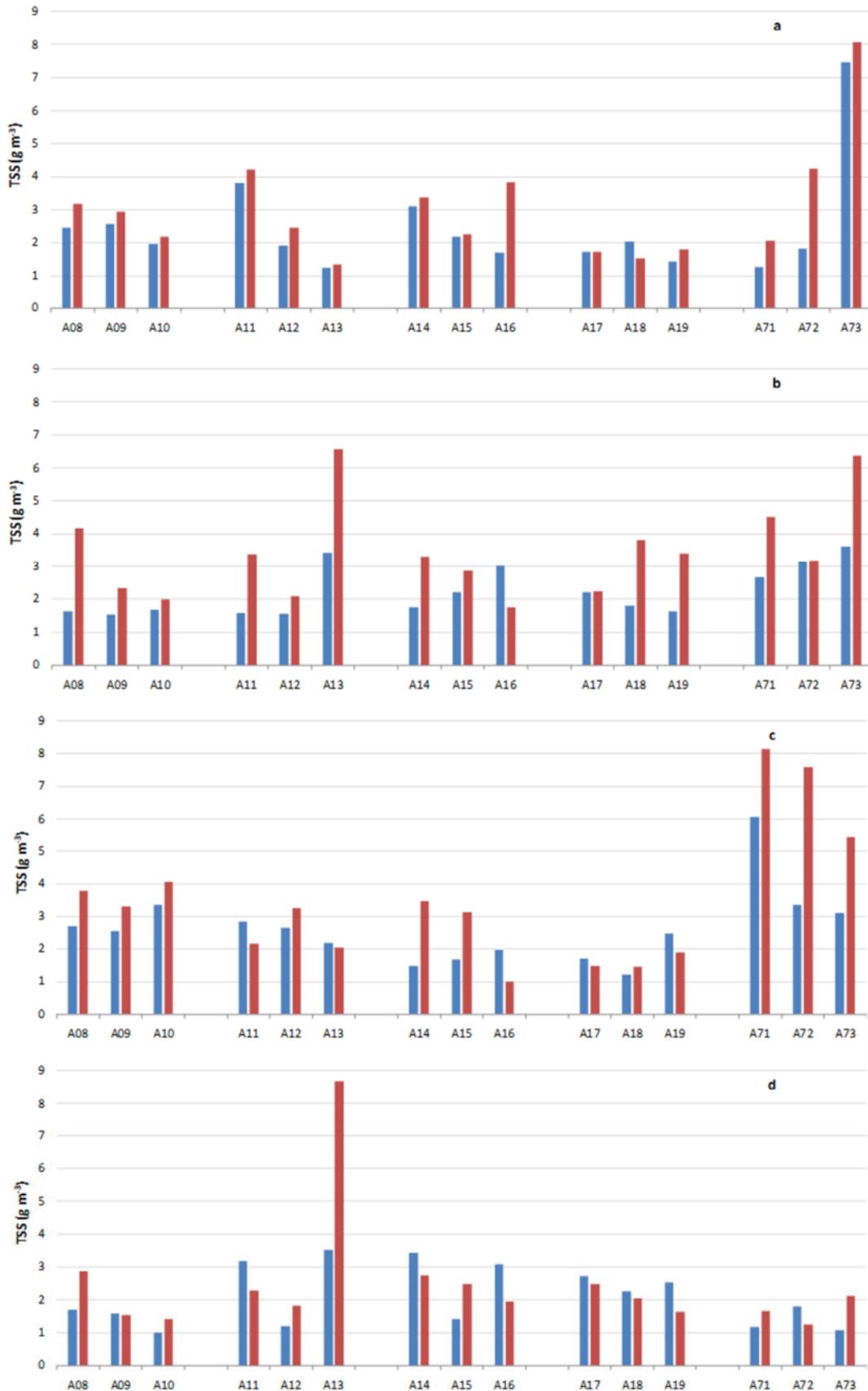


Figura 2.2.1.2.6. Concentrazioni dei solidi sospesi totali (TSS) nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (*superficie e *fondo) il 18 febbraio a), il 2 marzo b), il 17-18 marzo c) e il 17-18 giugno d) 2020.

Le concentrazioni dei solidi sospesi totali (TSS) nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio sono comprese tra 1 g m^{-3} e 8.68 g m^{-3} durante le quattro campagne effettuate (Figura 2.2.1.2.6, Tabella 2.2.1.2.2), con concentrazione media pari a 2.73 g m^{-3} , leggermente superiore al valore medio osservato nell'*ante operam* (1.24 g m^{-3}).

Tabella 2.2.1.2.3. Concentrazioni dei solidi sospesi totali(TSS) nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio.

Campione	Profondità (m)	TSS (g m^{-3})
A08 S_1	0	2.46
A08 F_1	10	3.18
A09 S_1	0	2.57
A09 F_1	12	2.93
A10 S_1	0	1.97
A10 F_1	15	2.18
A11 S_1	0	3.82
A11 F_1	15	4.22
A12 S_1	0	1.91
A12 F_1	24	2.44
A13 S_1	0	1.23
A13 F_1	29	1.34
A14 S_1	0	3.11
A14 F_1	5	3.38
A15 S_1	0	2.18
A15 F_1	9	2.24
A16 S_1	0	1.69
A16 F_1	12	3.83
A17 S_1	0	1.72
A17 F_1	7	1.72
A18 S_1	0	2.05
A18 F_1	8	1.54
A19 S_1	0	1.44
A19 F_1	13	1.80
A71 S_1	0	1.27
A71 F_1	17	2.05
A72 S_1	0	1.82
A72 F_1	23	4.24
A73 S_1	0	7.47
A73 F_1	33	8.08
A08 S_2	0	1.63
A08 F_2	10	4.17
A09 S_2	0	1.53

A09 F_2	12	2.34
A10 S_2	0	1.67
A10 F_2	15	1.99
A11 S_2	0	1.57
A11 F_2	15	3.37
A12 S_2	0	1.55
A12 F_2	24	2.09
A13 S_2	0	3.42
A13 F_2	29	6.57
A14 S_2	0	1.75
A14 F_2	5	3.30
A15 S_2	0	2.21
A15 F_2	9	2.87
A16 S_2	0	3.01
A16 F_2	12	1.75
A17 S_2	0	2.21
A17 F_2	7	2.24
A18 S_2	0	1.80
A18 F_2	8	3.81
A19 S_2	0	1.64
A19 F_2	13	3.41
A71 S_2	0	2.66
A71 F_2	17	4.52
A72 S_2	0	3.15
A72 F_2	23	3.18
A73 S_2	0	3.61
A73 F_2	33	6.38
A08 S_3	0	2.69
A08 F_3	10	3.80
A09 S_3	0	2.55
A09 F_3	12	3.29
A10 S_3	0	3.35
A10 F_3	15	4.04
A11 S_3	0	2.85
A11 F_3	15	2.16
A12 S_3	0	2.64
A12 F_3	24	3.25
A13 S_3	0	2.20
A13 F_3	29	2.04
A14 S_3	0	1.47
A14 F_3	5	3.47
A15 S_3	0	1.68
A15 F_3	9	3.14
A16 S_3	0	1.97

A16 F_3	12	1.01
A17 S_3	0	1.71
A17 F_3	7	1.48
A18 S_3	0	1.22
A18 F_3	8	1.46
A19 S_3	0	2.46
A19 F_3	13	1.91
A71 S_3	0	6.07
A71 F_3	17	8.14
A72 S_3	0	3.35
A72 F_3	23	7.59
A73 S_3	0	3.11
A73 F_3	33	5.46
A08 S_5	0	1.71
A08 S_5	10	2.87
A09 S_5	0	1.59
A09 S_5	12	1.53
A10 S_5	0	1.00
A10 S_5	15	1.42
A11 S_5	0	3.18
A11 S_5	15	2.28
A12 S_5	0	1.20
A12 S_5	24	1.82
A13 S_5	0	3.52
A13 S_5	29	8.68
A14 S_5	0	3.42
A14 S_5	5	2.74
A15 S_5	0	1.40
A15 S_5	9	2.48
A16 S_5	0	3.09
A16 S_5	12	1.93
A17 S_5	0	2.71
A17 S_5	7	2.49
A18 S_5	0	2.25
A18 S_5	8	2.05
A19 S_5	0	2.54
A19 S_5	13	1.63
A71_S_5	0	1.16
A71_F_5	17	1.65
A72_S_5	0	1.80
A72_F_5	23	1.25
A73_S_5	0	1.08
A73_F_5	33	2.12

2.2.1.3 Caratterizzazione biologica

Caratterizzazione delle comunità fitoplanctoniche



Figura 2.2.1.3.1. Distribuzione della clorofilla *a* (Chl *a*) nell'area potenzialmente impattata dall'operazione di dragaggio (■superficie e ■fondo) il 18 febbraio **a**), il 2 marzo **b**), il 17-18 marzo **c**) e il 17-18 giugno **d**) 2020.

I valori di Clorofilla *a* (Chl *a*) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio assumono valori compresi tra 0.03 e 1.43 mg m⁻³ (Figura 2.2.1.3.1., Tabella 2.2.1.3.1). Nell'ultima campagna si osservano valori mediamente più elevati rispetto ai campionamenti di febbraio e marzo. Il valore medio di Chl *a* per l'intera area è 0.44 mg m⁻³ mentre la media osservata nel corso del campionamento di giugno è 0.62 mg m⁻³. Tali valori risultano molto vicini alla concentrazione media osservata nel corso del monitoraggio *ante operam* (0.55 mg m⁻³).

Tabella 2.2.1.3.1. Concentrazioni della clorofilla *a* (Chl *a*) nell'area potenzialmente impattata dall'operazione di dragaggio.

Campione	Profondità (m)	Chl <i>a</i> (mg m ⁻³)
A08_S_1	0	0.18
A09_S_1	0	0.48
A10_S_1	0	0.52
A11_S_1	0	0.19
A12_S_1	0	0.12
A13_S_1	0	0.25
A14_S_1	0	0.36
A15_S_1	0	0.16
A16_S_1	0	0.24
A17_S_1	0	0.46
A18_S_1	0	0.31
A19_S_1	0	0.48
A71_S_1	0	0.19
A72_S_1	0	0.53
A73_S_1	0	0.33
A08_S_2	0	0.13
A09_S_2	0	0.23
A11_S_2	0	0.20
A12_S_2	0	0.56
A13_S_2	0	0.15
A14_S_2	0	0.14
A15_S_2	0	0.38
A16_S_2	0	0.03
A17_S_2	0	0.46
A18_S_2	0	0.30
A19_S_2	0	0.23
A71_S_2	0	0.24
A72_S_2	0	0.23
A73_S_2	0	0.23
A08_S_3	0	0.35
A09_S_3	0	0.31
A10_S_3	0	0.22
A11_S_3	0	0.24

A12_S_3	0	0.31
A13_S_3	0	0.50
A14_S_3	0	0.34
A15_S_3	0	0.41
A16_S_3	0	0.43
A17_S_3	0	0.77
A19_S_3	0	0.39
A71_S_3	0	0.10
A72_S_3	0	0.53
A73_S_3	0	0.16
A08_S_5	0	1.26
A08_F_5	10	0.99
A09_S_5	0	0.12
A09_F_5	12	0.61
A10_S_5	0	0.10
A10_F_5	15	0.68
A11_S_5	0	0.37
A11_F_5	15	0.45
A12_S_5	0	0.48
A12_F_5	24	0.38
A13_S_5	0	0.33
A13_F_5	29	0.06
A14_S_5	0	1.42
A14_F_5	5	1.35
A15_S_5	0	1.09
A15_F_5	9	0.55
A16_S_5	0	0.15
A16_F_5	12	0.33
A17_S_5	0	0.48
A17_F_5	7	1.12
A18_S_5	0	0.86
A18_F_5	8	0.84
A19_S_5	0	0.74
A19_F_5	13	0.37
A71_S_5	0	1.43
A71_F_5	17	0.60
A72_S_5	0	0.91
A72_F_5	23	0.26
A73_S_5	0	0.08
A73_F_5	33	0.06

La comunità fitoplanctonica osservata nel corso del monitoraggio in corso d'opera (V campagna, 28 maggio-19 giugno 2020) nell'area potenzialmente impattata dall'operazione di dragaggio è caratterizzata da valori di abbondanza mediamente più alti di quelli rilevati nelle altre aree monitorate (Figura 2.2.1.3.1). I valori di

abbondanza in superficie variano tra $3,0 \cdot 10^6$ cell. L-1 alla stazione A09 e $1,4 \cdot 10^7$ cell. L-1 alla stazione A71, con un valore medio pari a $6,4 \cdot 10^6$ cell. L-1. La distribuzione del fitoplancton è caratterizzata da gradienti costa-largo poco marcati o del tutto assenti.

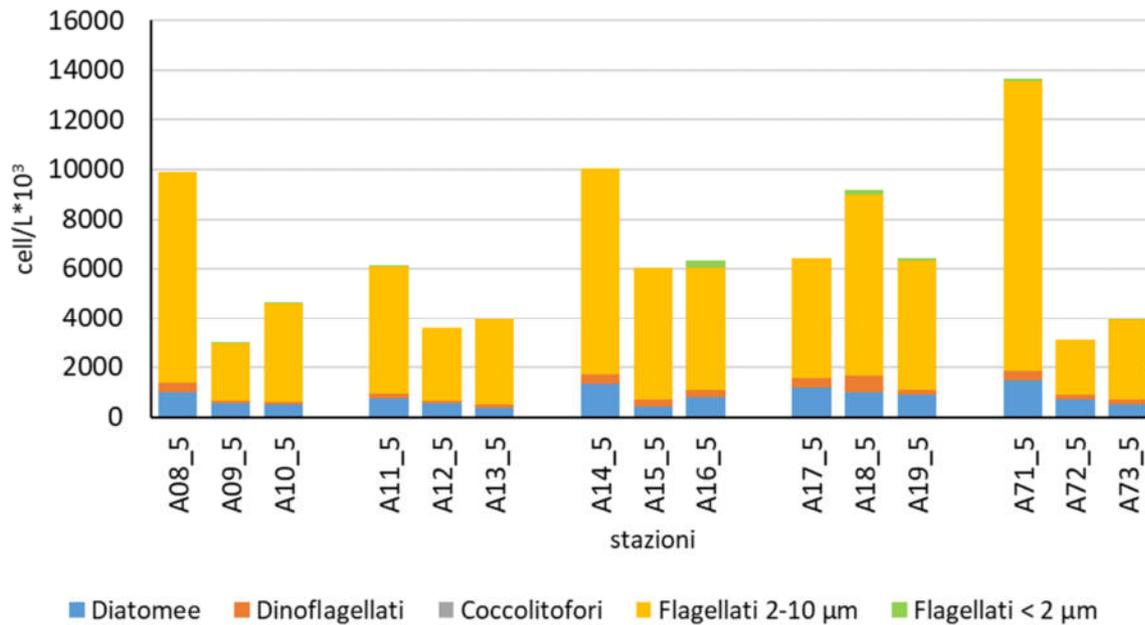


Figura 2.2.1.3.2. Abbondanze fitoplanctoniche nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio alla profondità di 0 m).

Il popolamento risulta fortemente dominato da flagellati di piccole dimensioni (<10 µm) che costituiscono in media l'82% del popolamento totale e sono rappresentati prevalentemente da forme indeterminate e da criptoficee. Le diatomee, rappresentate soprattutto dalle specie *Pseudo-nitzschia galaxiae*, *Leptocylindrus convexus* e *L. danicus*, costituiscono in media il 13% del popolamento totale, mentre i dinoflagellati, soprattutto forme atecate <15 µm, sono scarsamente rappresentati (abbondanza media 4%) e i coccolitofori quasi completamente assenti.

Caratterizzazione delle comunità zooplanctoniche

La comunità zooplanctonica osservata nelle aree potenzialmente impattate dalle attività di dragaggio, rappresentata dalle stazioni A10, A13, A16, A19, A73, mostra valori di abbondanza paragonabili tra le varie stazioni durante la V° campagna (15-17 giugno 2020), con valori di abbondanza non superiori a 1000 ind-3 (Fig. 2.2.1.3.3.). La comunità in questo periodo è costituita maggiormente da copepodi e cladoceri e il loro contributo percentuale risulta diverso nelle diverse le stazioni campionate. Sono state osservate tutte le specie di cladoceri tipiche del periodo tardo-primaverile estivo, *Pleopis polyphaemoides* (Leuckart, 1859), *Penilia avirostris* (Dana, 1849), *Podon intermedius* (Lilljeborg, 1853) e *Pseudevadne tergestina* (Claus, 1877);

inoltre, la specie con valori più alti in tutte le stazioni, è stata *Evadne spinifera* (P.E.Müller, 1867). Nonostante la presenza dei cladoceri, tuttavia, la comunità zooplanctonica è caratterizzata quasi sempre dalla dominanza dei copepodi, che rappresentano dal 40% ad oltre il 60% delle abbondanze totali zooplanctoniche. Di seguito a questi due gruppi, per contributo percentuale, sono state ritrovati in particolare il gruppo delle appendicolarie ed il meroplancton, quest'ultimo rappresentato maggiormente da larve di decapodi ed echinodermi (Fig. 2.2.1.3.4).

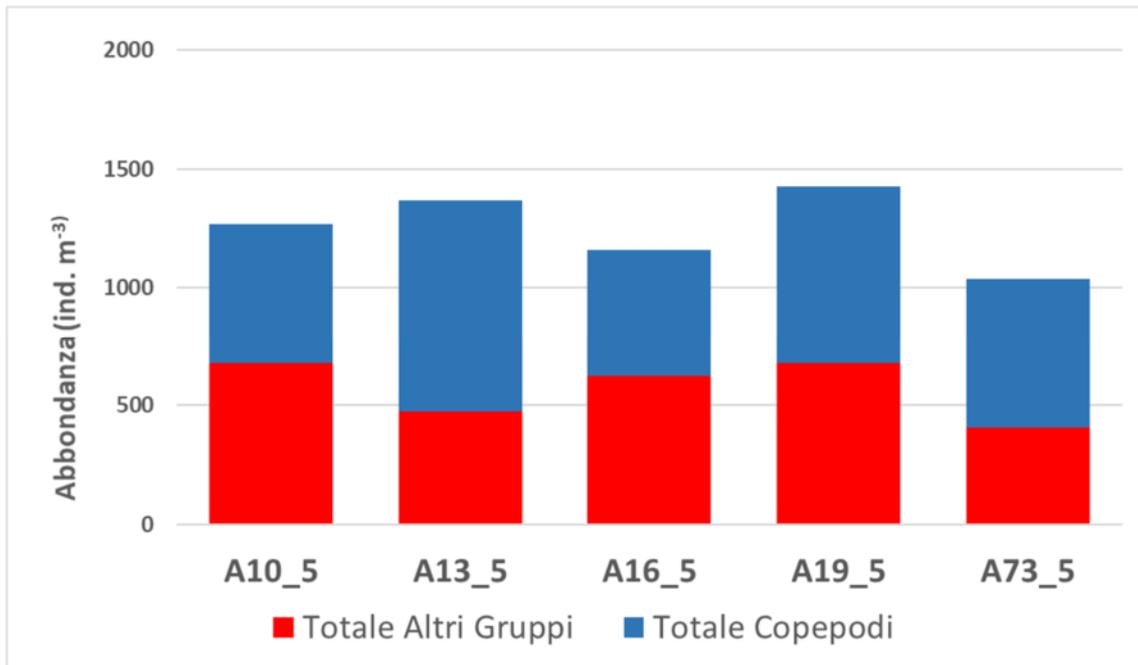


Figura 2.2.1.3.4. Abbondanza e composizione dello zooplancton alle stazioni potenzialmente impattate dall'operazione di dragaggio.

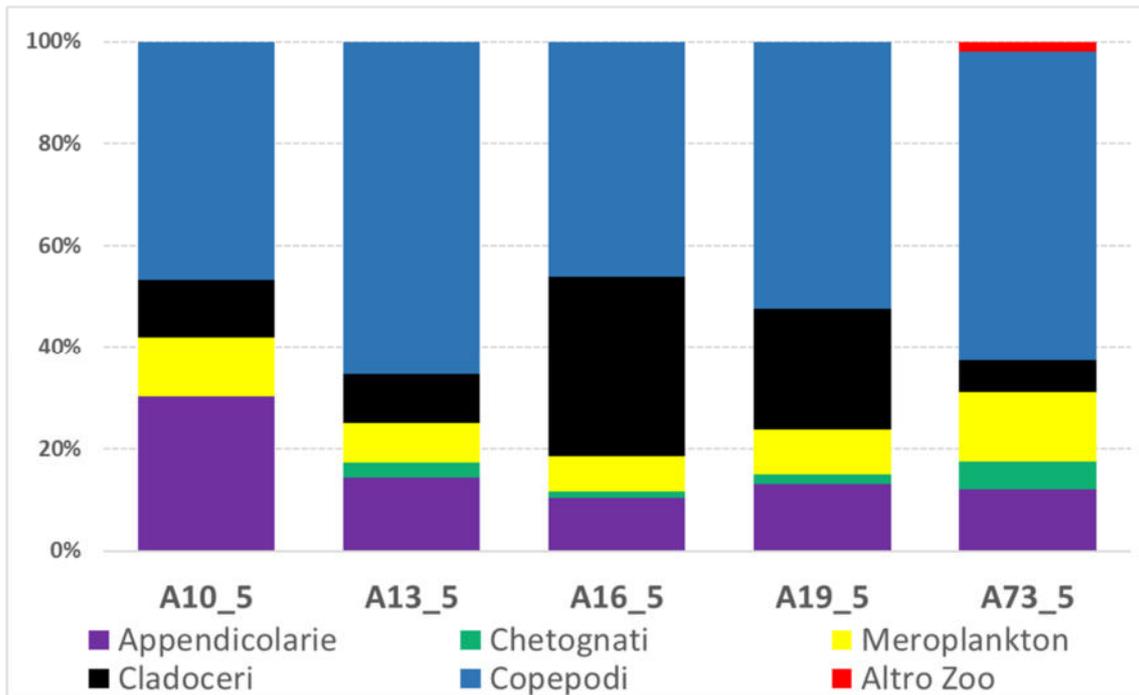


Figura 2.2.1.3.5. Composizione percentuale dei principali gruppi zooplanctonici alle stazioni potenzialmente impattate dall'operazione di dragaggio.

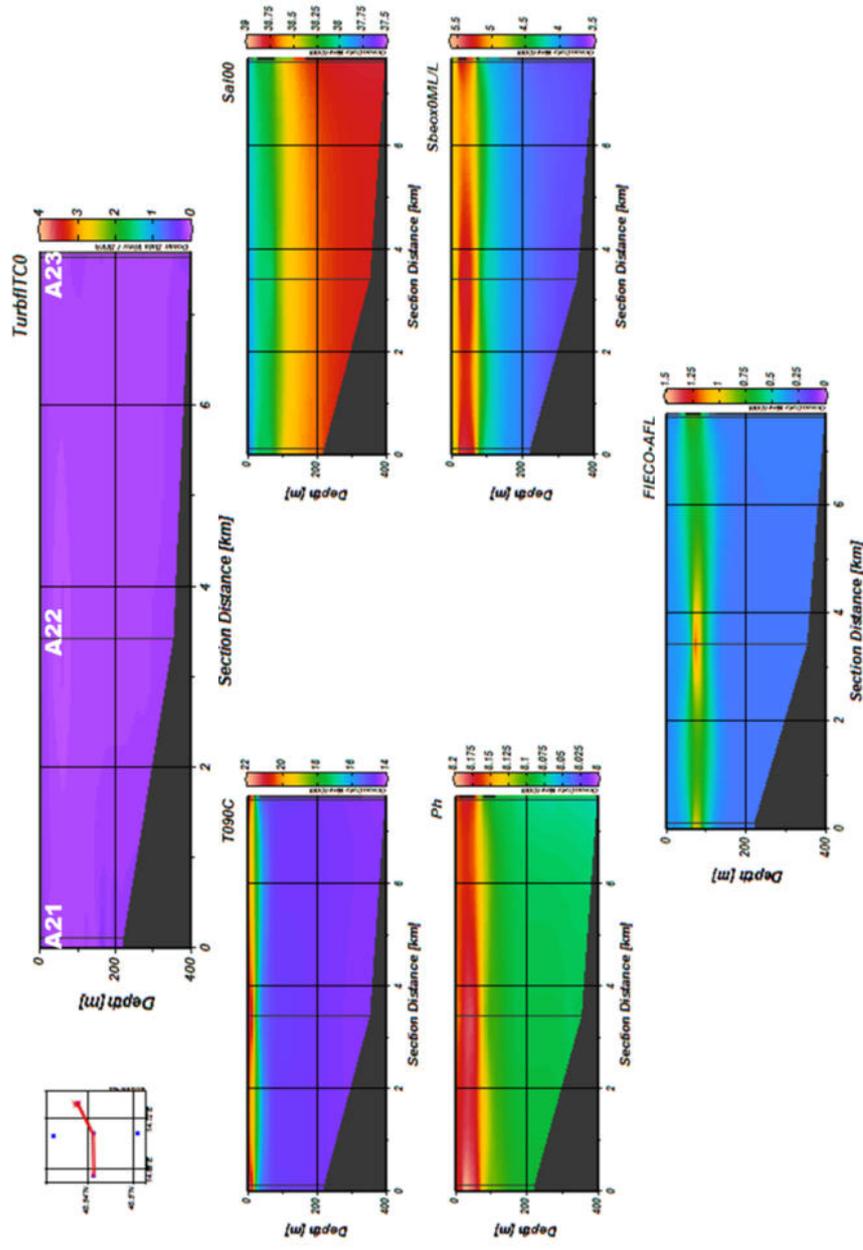


2.3 Area di immersione

2.3.1 Indagini idrologiche

2.3.1.1 Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)

Sono qui di seguito riportate per la V campagna di monitoraggio, eseguita nell' area di immersione, le sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza e le relative mappe superficiali delle stesse variabili.



V° Campagna



Figura 2.3.1.1.1. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A21, A22, A23).

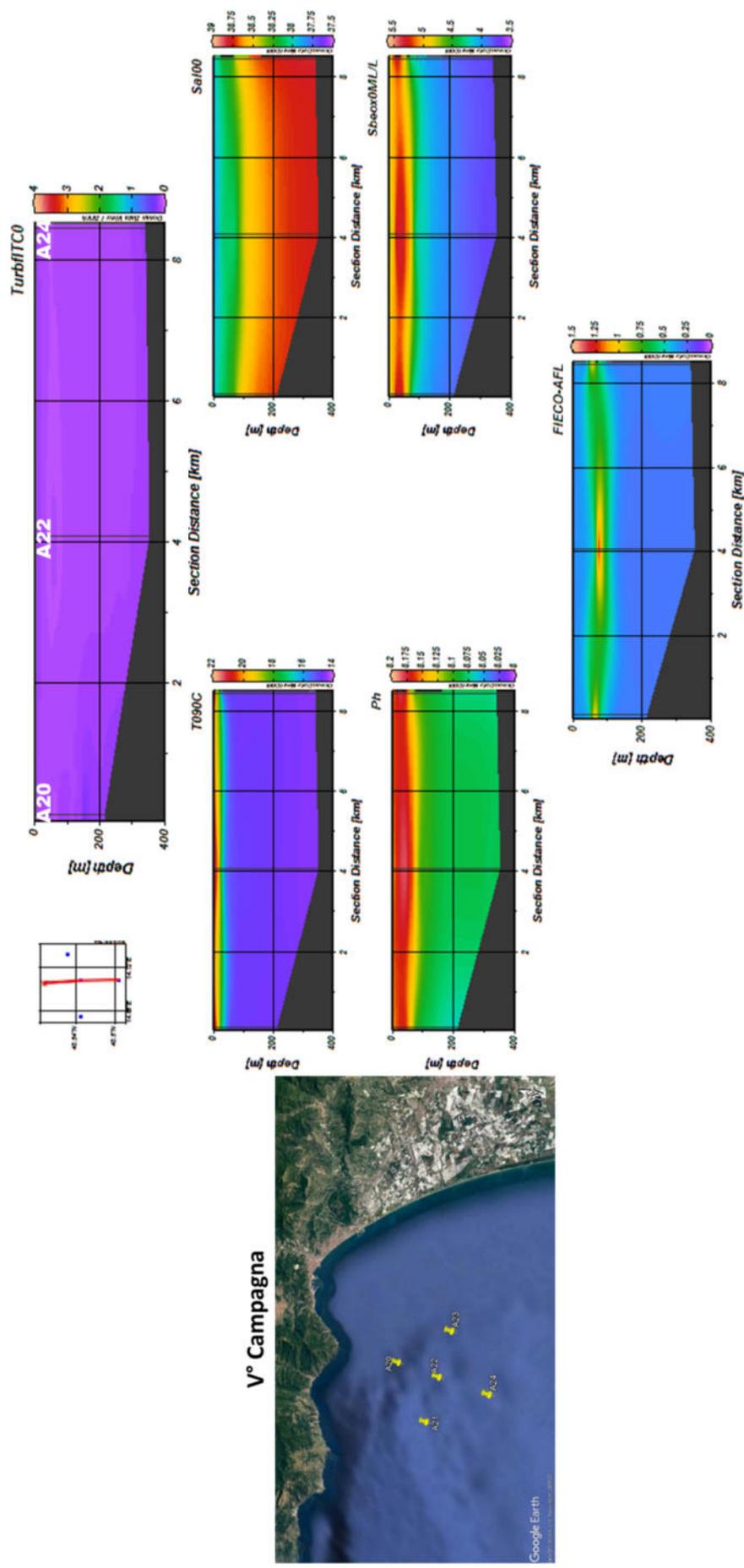


Figura 2.3.1.1.1.2 Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A20, A22, A24).

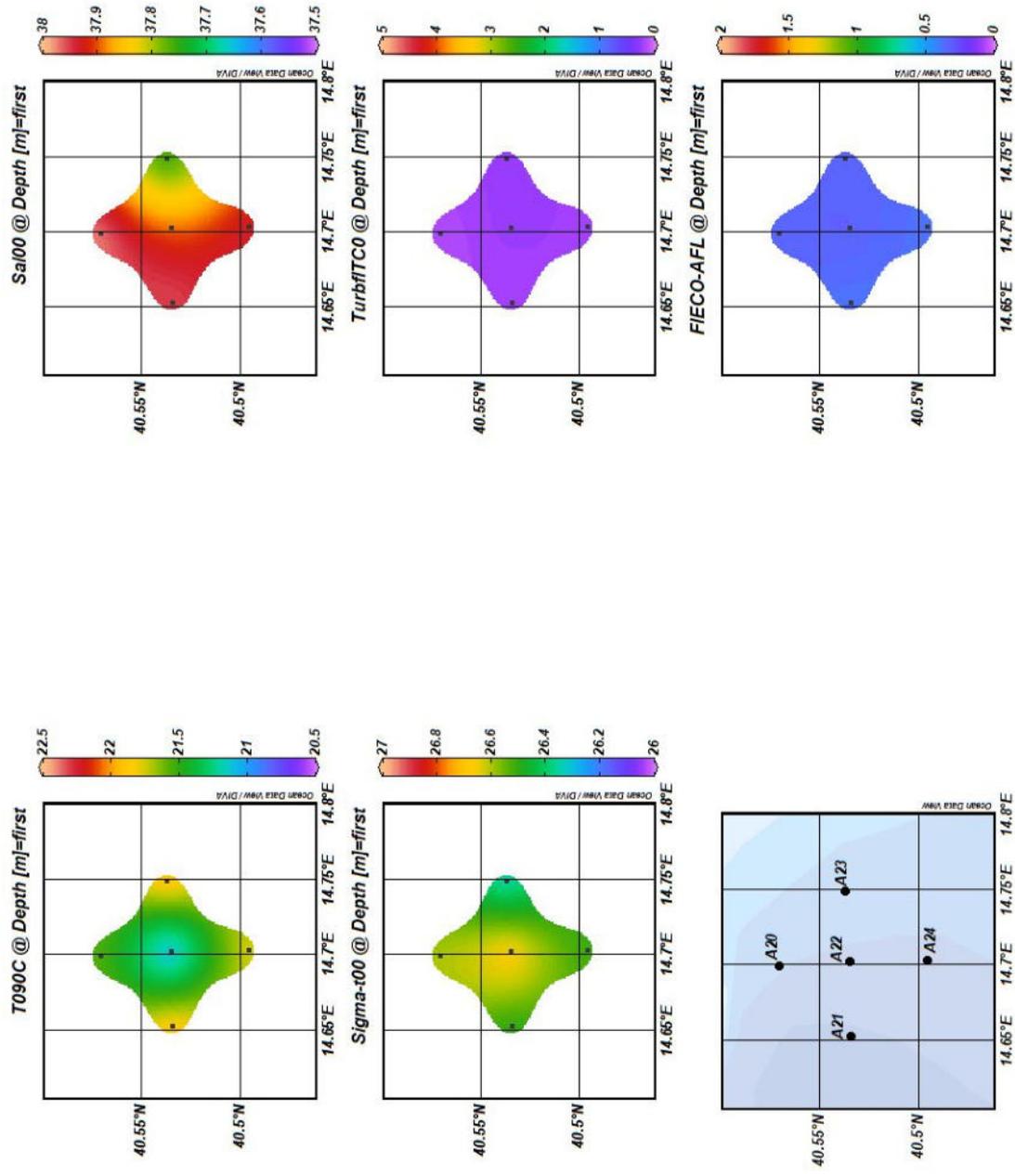


Figura 2.3.1.1.1.3 Mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza.

Le sezioni verticali dei parametri idrologici considerati per la V Campagna, (Figure 2.3.1.1.1. - 2.3.1.1.2.), mostrano una situazione di stratificazione termica della colonna d'acqua tipica del periodo di inizio estate in tutti i transetti. La fluorescenza presenta un massimo subsuperficiale in linea con l'andamento stagionale. La torbidità presenta valori inferiori a 1 NTU e una omogenea distribuzione dalla superficie al fondo in tutta l'area indagata con valori simili a quelli rilevati durante la campagna *ante operam*. Le mappe superficiali di temperatura e densità relative alla V Campagna mostrano un minimo ed un massimo in corrispondenza della stazione A22. La salinità presenta un gradiente passando dalla zona orientale a quella occidentale dove si registrano i valori superficiali più elevati. Benchè le differenze non superano i due decimi, queste potrebbero indicare la presenza di masse d'acqua superficiali di origine diversa. La torbidità e la fluorescenza presentano valori bassi ed uniformi in tutta l'area indagata tipici di un'aria oligotrofica

2.3.1.2 Caratterizzazione chimica

Nutrienti

I profili verticali di nitrati, fosfati e silicati nell'area di immersione presentano una ridotta variabilità spaziale e un forte gradiente verticale caratterizzato da concentrazioni più elevate nello strato 75-100 m (Figura 2.3.1.2.1). Anche le concentrazioni ammoniacale e nitriti sono abbastanza simili all'interno dell'area di immersione ma non presentano il marcato gradiente verticale osservato per gli altri nutrienti.

Più nel dettaglio, i valori di ammoniacale sono compresi tra valori inferiori al *detection limit* (0.05 mmol m^{-3}) e 0.71 mmol m^{-3} e presentano un valore medio di 0.22 mmol m^{-3} . I nitriti variano tra 0.03 e 0.14 mmol m^{-3} , il valore medio per l'area è 0.06 mmol m^{-3} .

Le concentrazioni dei nitrati sono comprese tra valori inferiori al *detection limit* (0.01 mmol m^{-3}) e 3.36 mmol m^{-3} , il valore medio è 0.85 mmol m^{-3} .

Le concentrazioni dei fosfati nell'area sono comprese tra valori inferiori al *detection limit* (0.01 mmol m^{-3}) e 0.14 mmol m^{-3} , il valore medio è 0.04 mmol m^{-3} .

Le concentrazioni dei silicati sono comprese nel range $1.38 - 3.05 \text{ mmol m}^{-3}$ e presentano un valore medio di 1.89 mmol m^{-3} .

Le concentrazioni dei nutrienti inorganici nell'area di immersione sono riportate nella Tabella 2.3.1.2.1.

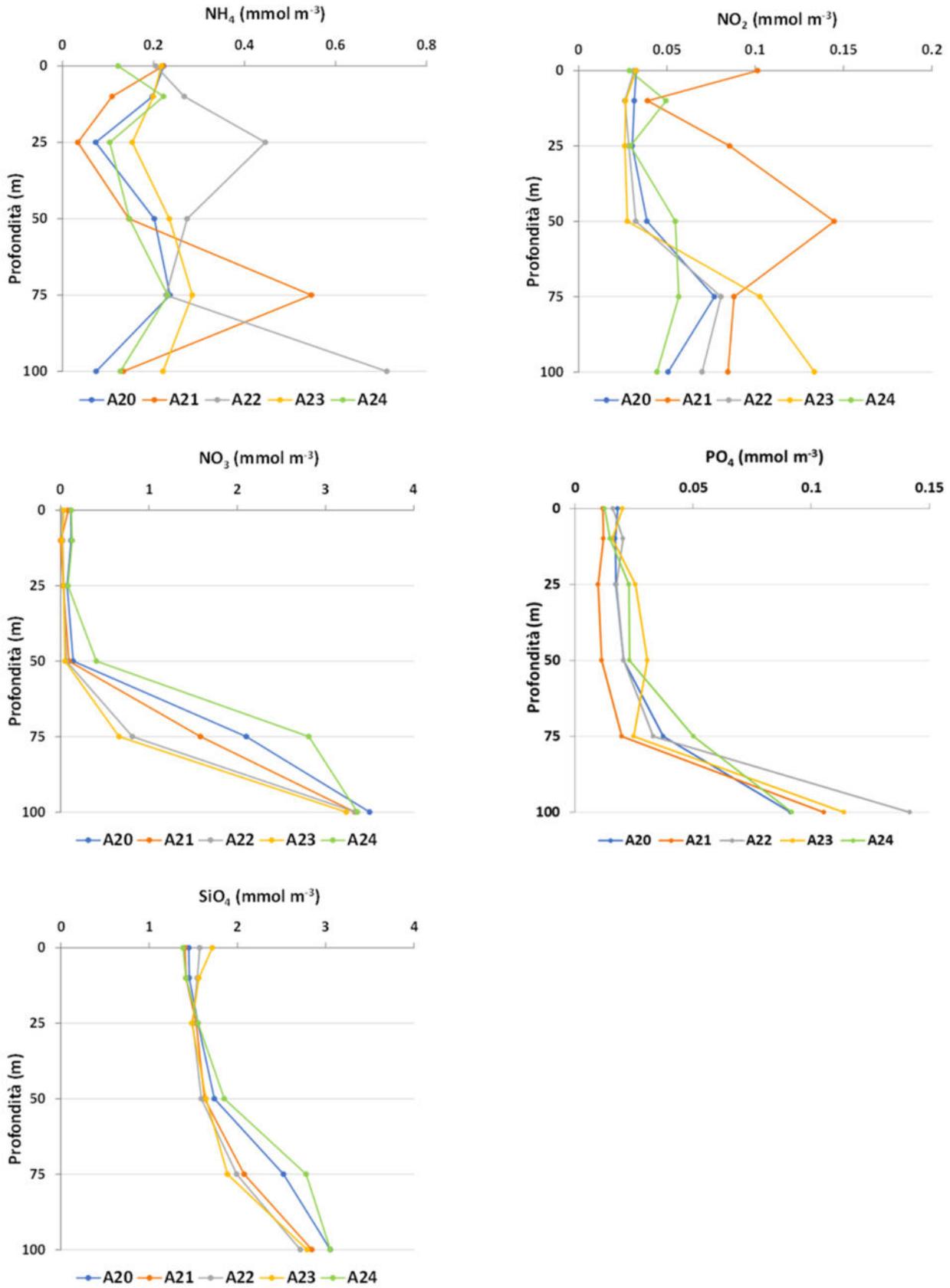


Figura 2.3.1.2.1. Concentrazione dei nutrienti inorganici nell'area di immersione (strato 0-100 m).

Tabella 2.3.1.2.1. Concentrazione dei nutrienti inorganici nell'area di immersione (strato 0-100 m).

Campio ne	Profondi tà	NH ₄ (mmoli m ⁻³)	NO ₂ (mmoli m ⁻³)	NO ₃ (mmoli m ⁻³)	PO ₄ (mmoli m ⁻³)	SiO ₄ (mmoli m ⁻³)
A20_0	0	0.22	0.03	0.12	0.02	1.45
A20_10	10	0.20	0.03	0.12	0.02	1.45
A20_25	25	0.07	0.03	0.07	0.02	1.55
A20_50	50	0.20	0.04	0.14	0.02	1.74
A20_75	75	0.24	0.08	2.10	0.04	2.52
A20_100	100	0.07	0.05	3.50	0.09	3.05
A21_0	0	0.22	0.10	0.09	0.01	1.41
A21_10	10	0.11	0.04	0.00	0.01	1.42
A21_25	25	0.03	0.09	0.03	0.01	1.53
A21_50	50	0.15	0.14	0.09	0.01	1.63
A21_75	75	0.55	0.09	1.58	0.02	2.08
A21_100	100	0.13	0.08	3.33	0.11	2.84
A22_0	0	0.20	0.03	0.01	0.02	1.57
A22_10	10	0.27	0.03	0.02	0.02	1.55
A22_25	25	0.45	0.03	0.03	0.02	1.49
A22_50	50	0.27	0.03	0.06	0.02	1.59
A22_75	75	0.23	0.08	0.81	0.03	1.99
A22_100	100	0.71	0.07	3.34	0.14	2.71
A23_0	0	0.22	0.03	0.04	0.02	1.72
A23_10	10	0.20	0.03	0.01	0.02	1.56
A23_25	25	0.15	0.03	0.03	0.03	1.49
A23_50	50	0.23	0.03	0.05	0.03	1.65
A23_75	75	0.29	0.10	0.66	0.02	1.89
A23_100	100	0.22	0.13	3.23	0.11	2.79
A24_0	0	0.12	0.03	0.12	0.01	1.38
A24_10	10	0.22	0.05	0.13	0.01	1.42
A24_25	25	0.10	0.03	0.08	0.02	1.56
A24_50	50	0.15	0.05	0.40	0.02	1.85
A24_75	75	0.23	0.06	2.81	0.05	2.78
A24_100	100	0.13	0.04	3.36	0.09	3.05

Solidi Sospesi Totali

I solidi sospesi totali (TSS) nell'area di immersione presentano concentrazioni comprese tra 0.23 e 2.03 g m⁻³ (Figura 2.3.1.2.2), il valore medio nello strato 0-100 m è 0.94 g m⁻³. I valori osservati nel monitoraggio in corso d'opera sono abbastanza simili a quelli osservati nel corso del monitoraggio *ante operam* (range di variabilità 0.19-2.13 g m⁻³ e valore medio 0.64 g m⁻³). La distribuzione e le concentrazioni dei solidi totali sospesi e nell'area di immersione sono simili a quelle relative alla torbidità misurata con sonda multiparametrica a testimoniare la coerenza delle analisi di laboratorio con le misure in campo

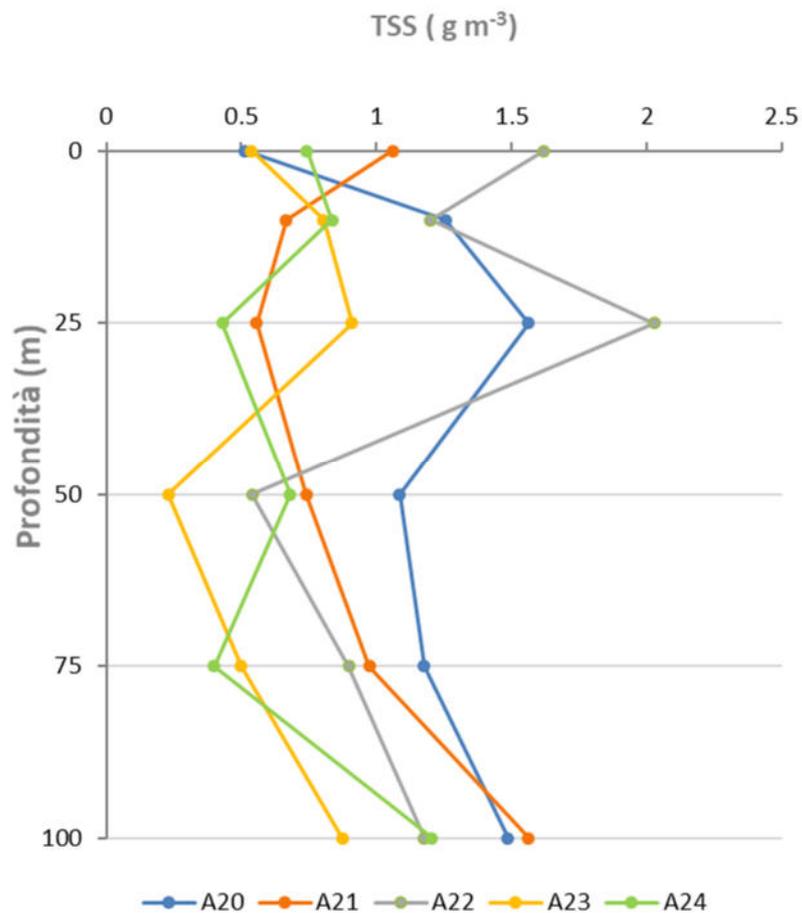


Figura 2.3.1.2.2. Concentrazione dei solidi sospesi totali (TSS) nell'area di immersione (strato 0-100 m).

Si riportano in Tabella 2.3.1.2.2. le concentrazioni dei solidi sospesi totali.

Tabella 2.3.1.2.2. Concentrazione dei solidi sospesi totali (TSS) nell'area di immersione (strato 0-100 m).

Campio ne	Profondi tà	TSS (g m⁻³)
A20_0	0	0.51
A20_10	10	1.26
A20_25	25	1.56
A20_50	50	1.09
A20_75	75	1.18
A20_100	100	1.49
A21_0	0	1.06
A21_10	10	0.67
A21_25	25	0.56
A21_50	50	0.74
A21_75	75	0.97
A21_100	100	1.56
A22_0	0	1.62
A22_10	10	1.20
A22_25	25	2.03
A22_50	50	0.54
A22_75	75	0.90
A22_100	100	1.18
A23_0	0	0.54
A23_10	10	0.81
A23_25	25	0.91
A23_50	50	0.23
A23_75	75	0.50
A23_100	100	0.88
A24_0	0	0.74
A24_10	10	0.84
A24_25	25	0.43
A24_50	50	0.68
A24_75	75	0.40
A24_100	100	1.21

2.3.1.3 Caratterizzazione biologica

Caratterizzazione delle comunità fitoplanctoniche

Contrariamente a quanto osservato nel corso del monitoraggio *ante operam*, è possibile osservare la presenza di un massimo subsuperficiale di fluorescenza (Chl *a*) in tutte le stazioni (Figura 2.3.1.3.1.), perfettamente coerente con la dinamica stagionale del fitoplancton e con la distribuzione verticale dei nutrienti riportata nel paragrafo precedente.

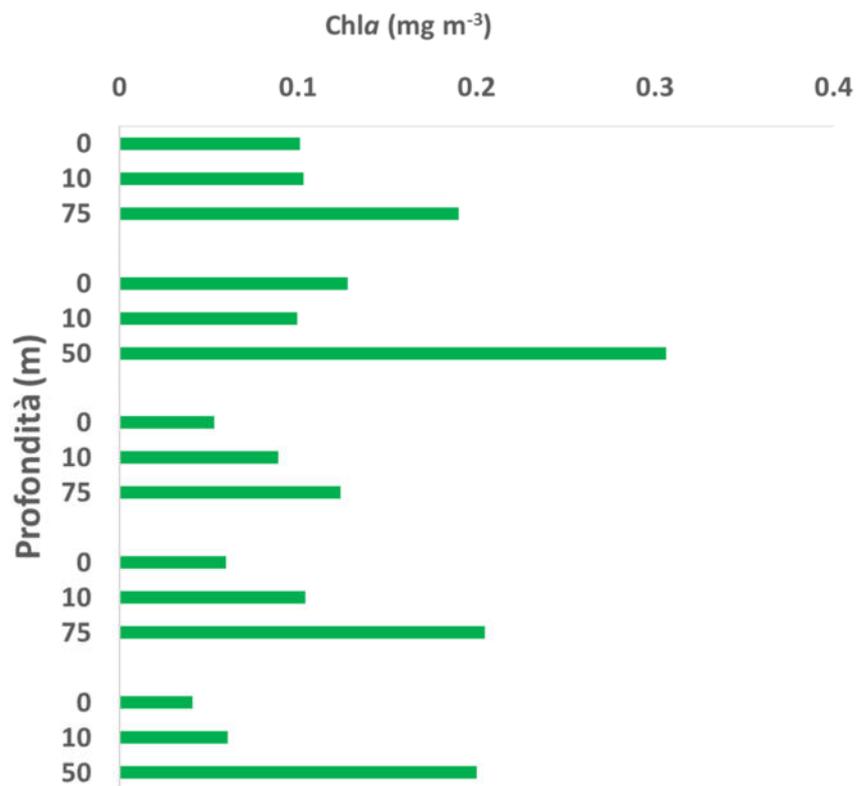


Figura 2.3.1.3.1. Concentrazioni di Chl *a* nelle stazioni ubicate nell'area di immersione.

Le concentrazioni di Chl *a* sono comprese tra 0.04 e 0.31 mg m⁻³ e il valore medio per l'area è 0.12 mg m⁻³ (Tabella 2.3.1.3.1.). Tali valori sono molto simili a quelli osservati nel corso del monitoraggio *ante operam* (intervallo di concentrazioni: 0.08- 0.47 mg m⁻³; valore medio 0.22 mg m⁻³) tipiche delle aree a caratteristiche oligotrofiche

Le concentrazioni superficiali di Chl *a* sono basse in tutta l'area di immersione e sono caratterizzate da un gradiente crescente orientato in direzione sud-est nord-ovest. Nonostante la non perfetta correlazione con la salinità, anche la distribuzione superficiale della Chl *a* conferma che l'area di immersione è caratterizzata, nello strato superficiale, da masse d'acqua di origine diversa

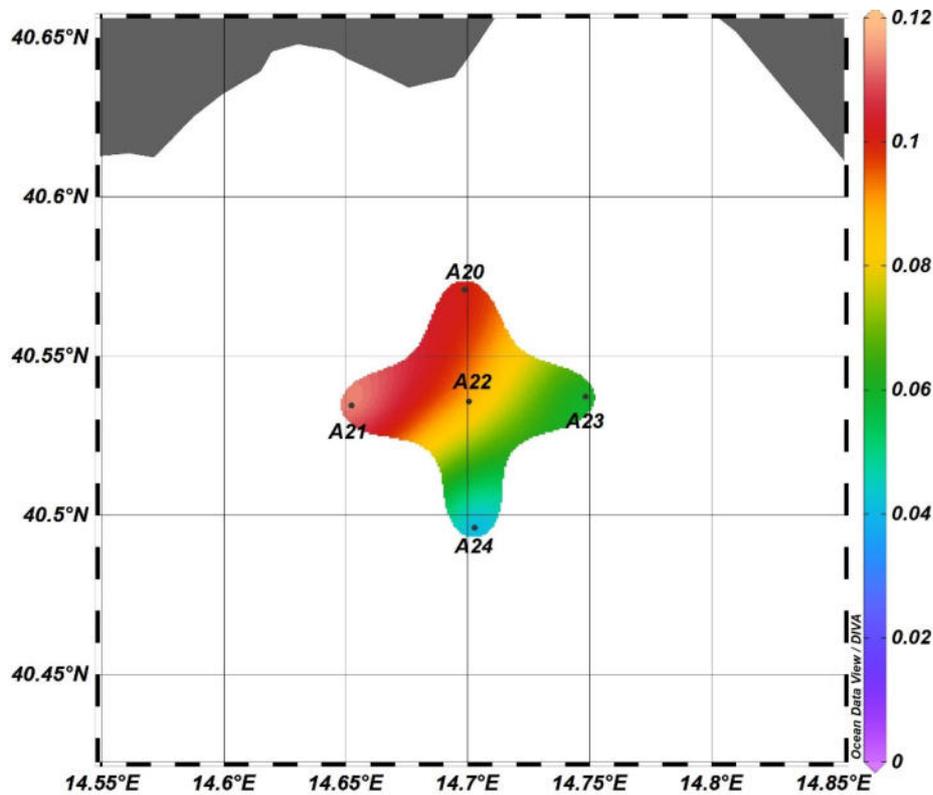


Figura 2.3.1.3.2. Distribuzione in superficie della Chl *a* (mg m^{-3}) nell'area di immersione.

Tabella 2.3.1.3.1. Concentrazioni di Chl *a* nelle stazioni ubicate nell'area di immersione.

Campione	Profondità (m)	Chl <i>a</i> (mg m^{-3})
A20_0	0	0.10
A20_10	10	0.10
A20_75	75	0.19
A21_0	0	0.13
A21_10	10	0.10
A21_50	50	0.31
A22_0	0	0.05
A22_10	10	0.09
A22_75	75	0.12
A23_0	0	0.06
A23_10	10	0.10
A23_75	75	0.20
A24_0	0	0.04
A24_10	10	0.06
A24_50	50	0.20

La comunità fitoplanctonica dell'area di immersione durante la V campagna (9-12 giugno 2020) è caratterizzata da concentrazioni cellulari relativamente variabili, con il valore minimo alla stazione A20 alla profondità dei 75 m ($9,9 \cdot 10^4$ cell. l⁻¹) e il massimo alla stazione A23, in corrispondenza della profondità di 75 m ($2,6 \cdot 10^6$ cell. l⁻¹) (Figura 2.3.1.3.1).

Il popolamento fitoplanctonico è composto prevalentemente da fitoflagellati di dimensioni comprese tra 2 e 10 μm , rappresentati soprattutto da forme indeterminate e criptoficee, (abbondanza media 82%) e in percentuale molto minore da diatomee (media 12%) e dinoflagellati (media 6%).

La distribuzione del fitoplancton, lungo la colonna d'acqua, è generalmente caratterizzata da un gradiente verticale, con valori di abbondanza più elevati in superficie. Alle stazioni A22 e A23 si registra un massimo di abbondanza alla profondità di 75 m, dovuto ad una fioritura di flagellati di dimensioni molto ridotte, circa 2 μm , che rappresentano quasi il 90% del popolamento totale. Flagellati picoplanctonici sono presenti con abbondanza inferiore anche alla stazione A24, alla profondità di 50 m. Tra le diatomee, le specie più rappresentate sono *Pseudo-nitzschia galaxiae*, *P. delicatissima*, *Leptocylindrus danicus*, *L. convexus* e *Thalassionema nitzschooides*.

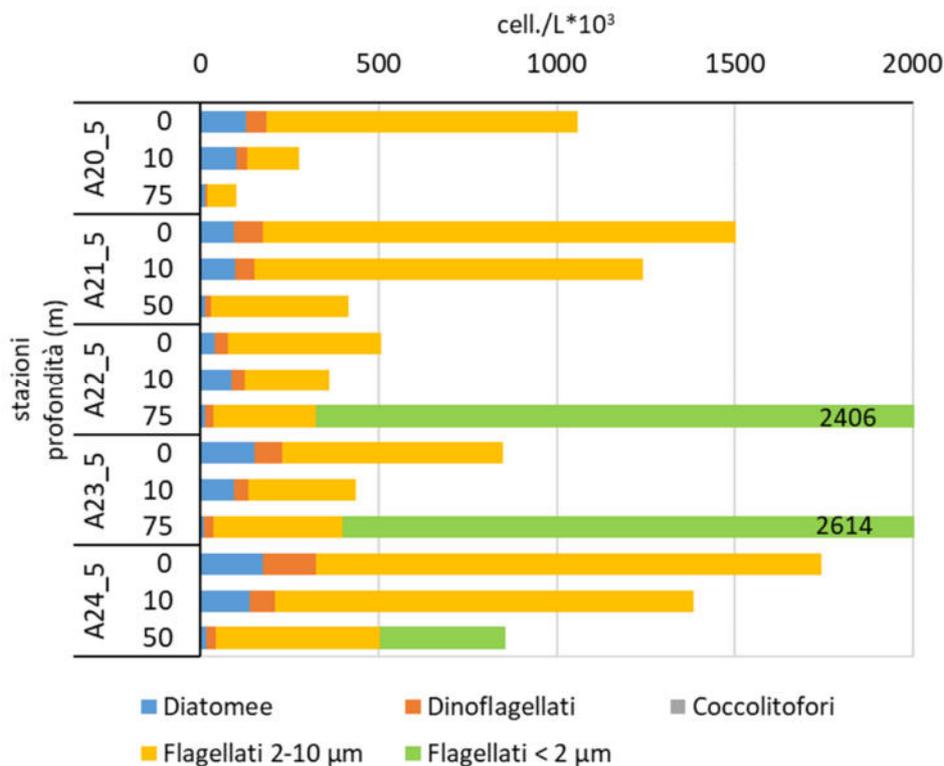


Figura 2.3.1.3.3. Abbondanze fitoplanctoniche nell'area di immersione alle tre profondità campionate.

Caratterizzazione delle comunità zooplanctoniche

La comunità zooplanctonica nelle cinque stazioni campionate (stazioni A 20-21-22-23-24) nell'area di immersione nel corso del monitoraggio condotto durante la V° campagna (9-12 giugno 2020), presenta abbondanze paragonabili e simili all'interno delle varie stazioni, con valori inferiori a 500 individui per metro cubo (Fig. 2.3.1.3.4.). I valori più alti sono stati osservati in corrispondenza delle stazioni A 20 ed A 21 (377,6 ind.m⁻³ e 470,4 ind.m⁻³, rispettivamente) mentre l'abbondanza più bassa è stata registrata nella stazione A 24 (186,40 ind.m⁻³). La comunità zooplanctonica, in tutte le stazioni ha mostrato una dominanza dei copepodi con un contributo percentuale che va dal 60% ad oltre 80% (come nella stazione A 24) (Fig. 2.3.1.3.5.). Altro gruppo zooplanctonico sempre presente è quello dei cladoceri (in particolare *Evadne spinifera*) che, insieme al meroplancton, rappresenta quasi, il 15% della restante frazione della comunità zooplanctonica (Fig. 2.3.1.3.5.).

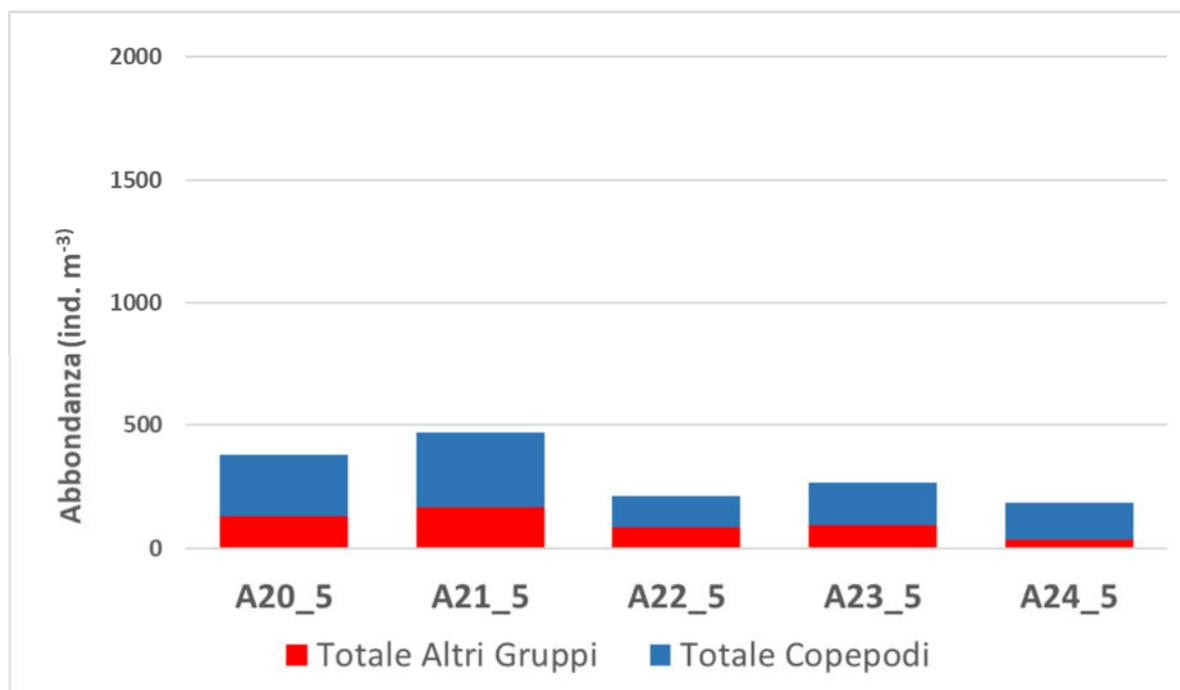


Figura 2.3.1.3.4. Abbondanze dello zooplancton nelle stazioni ubicate nell'area di immersione.

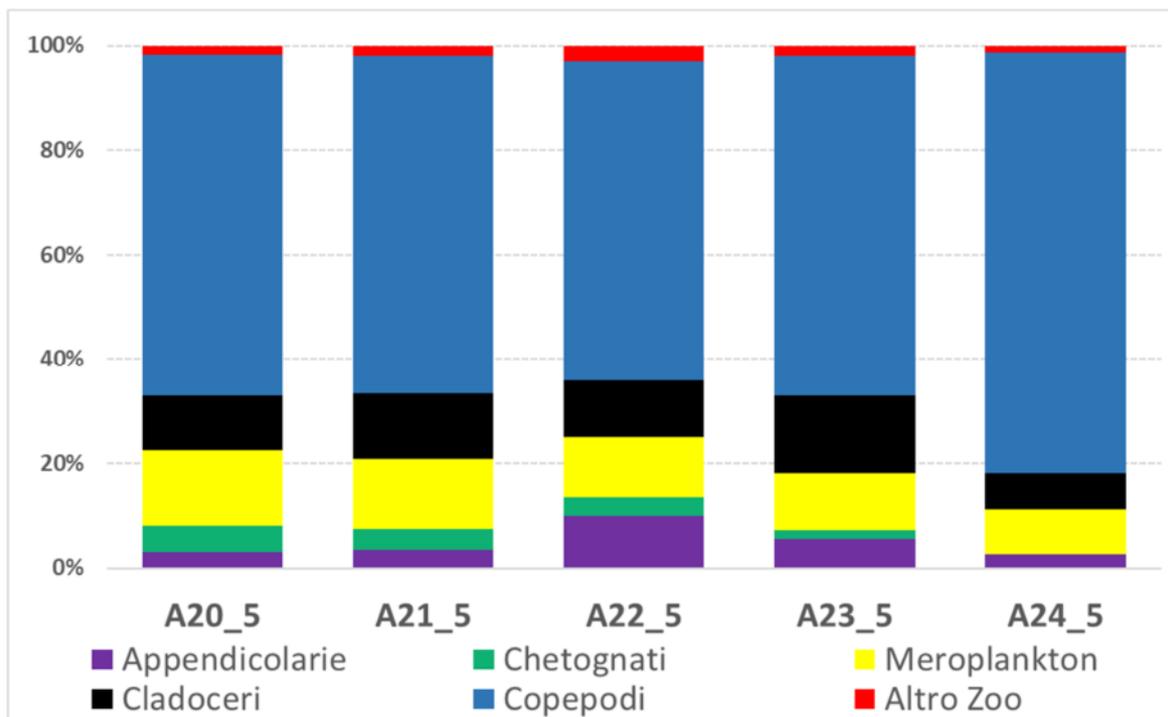


Figura 2.3.1.3.5. Composizione percentuale dei principali gruppi zooplanctonici nelle stazioni ubicate nell'area di immersione.



2.4 Contributo alla definizione dell'idrologia dell'area di immersione

2.4.1 Indagini idrologiche

2.4.1.1 Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)

Si riportano, di seguito, le sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza e le relative mappe superficiali temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza relative al monitoraggio dell'idrologia dell'area di immersione.

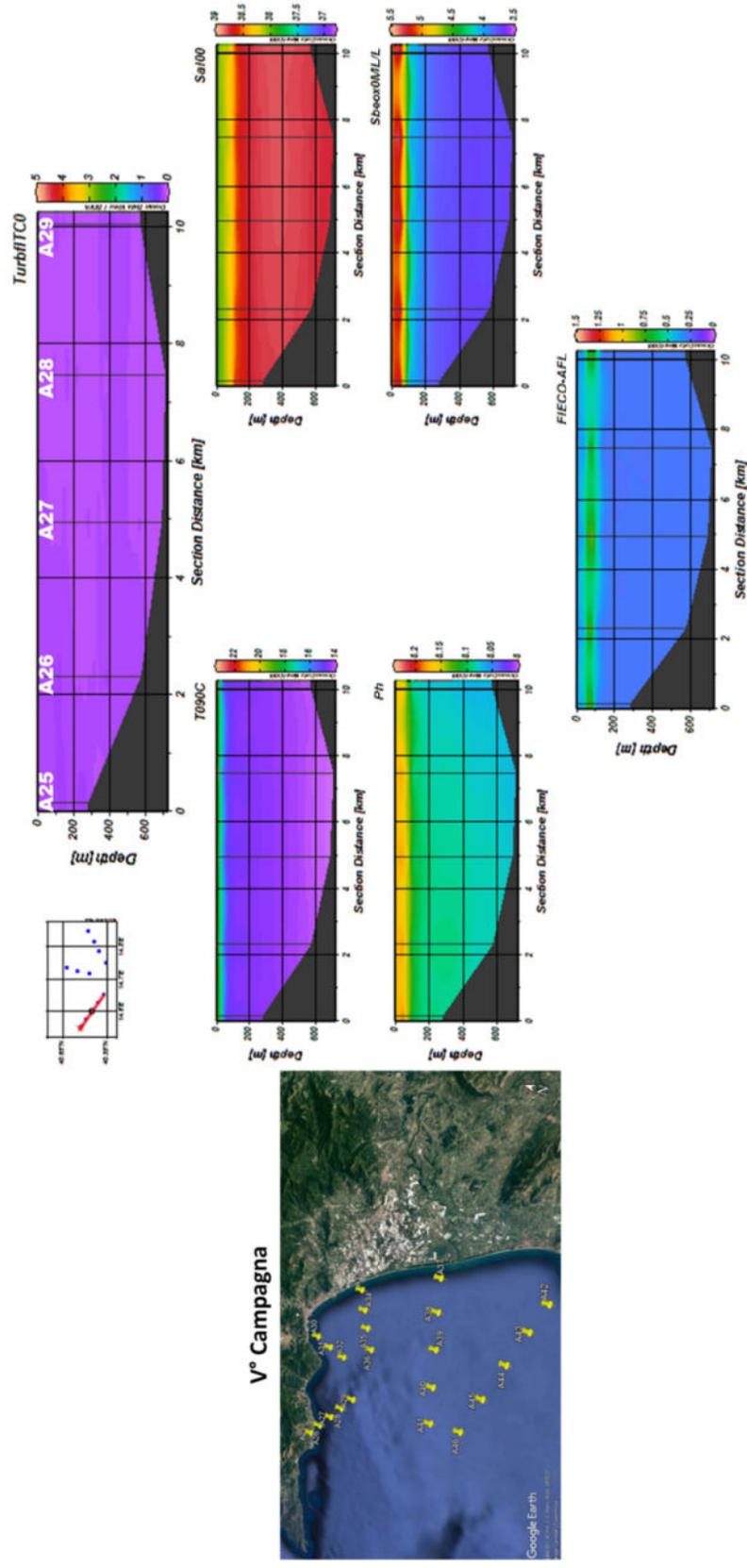
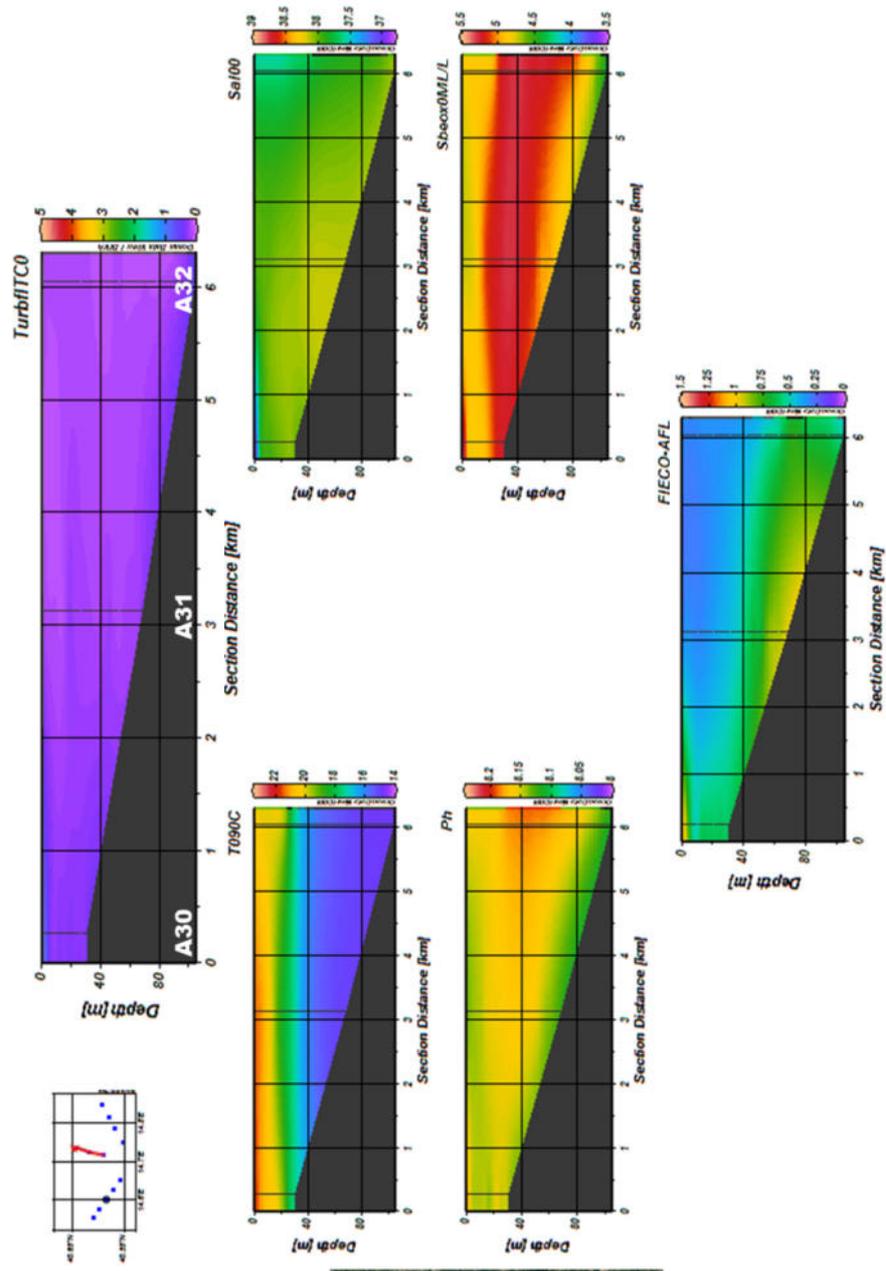


Figura 2.4.1.1.1. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A25, A26, A27, A28, A29).



V° Campagna



Figura 2.4.1.1.2. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A30, A31, A32).

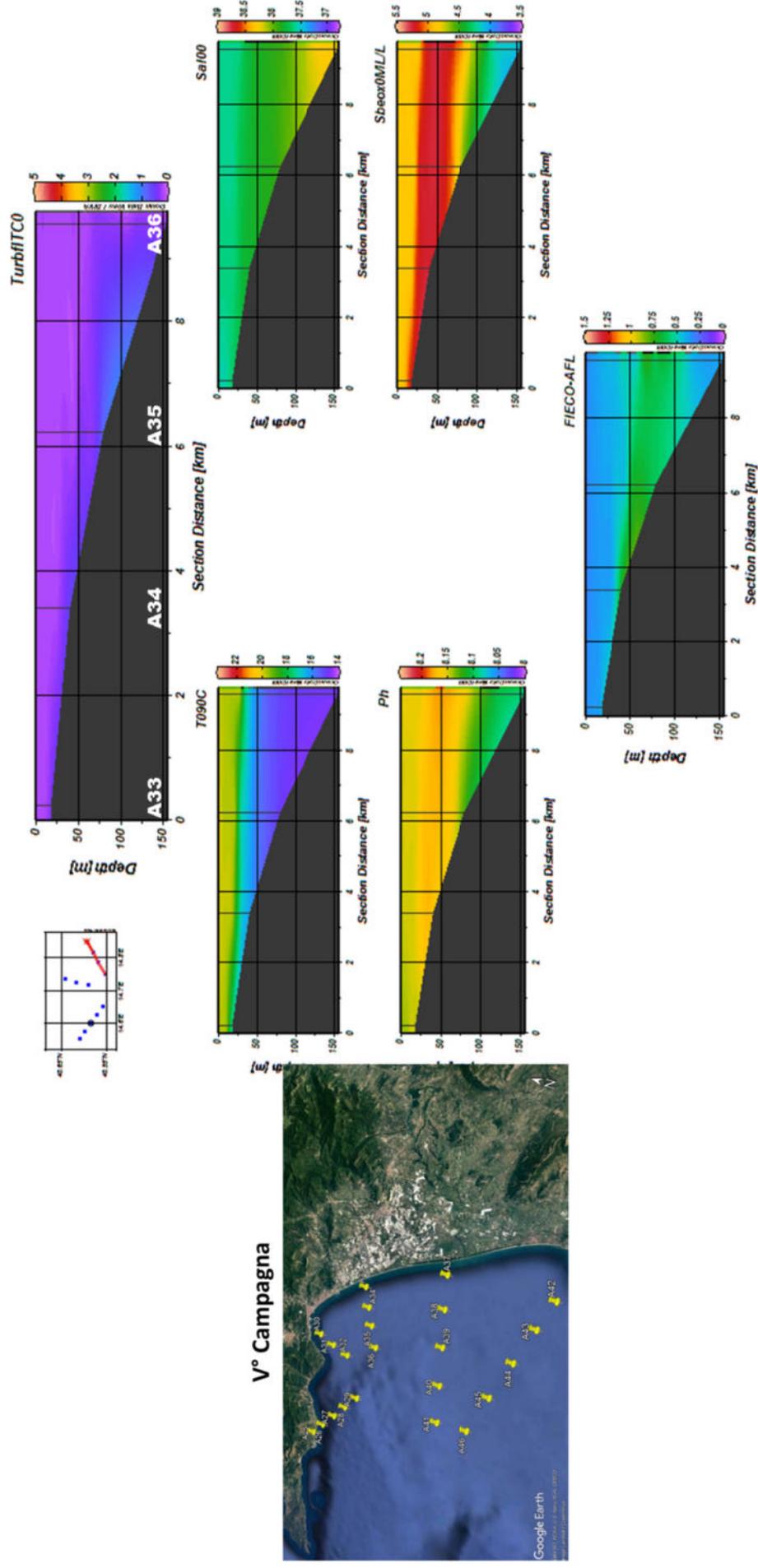
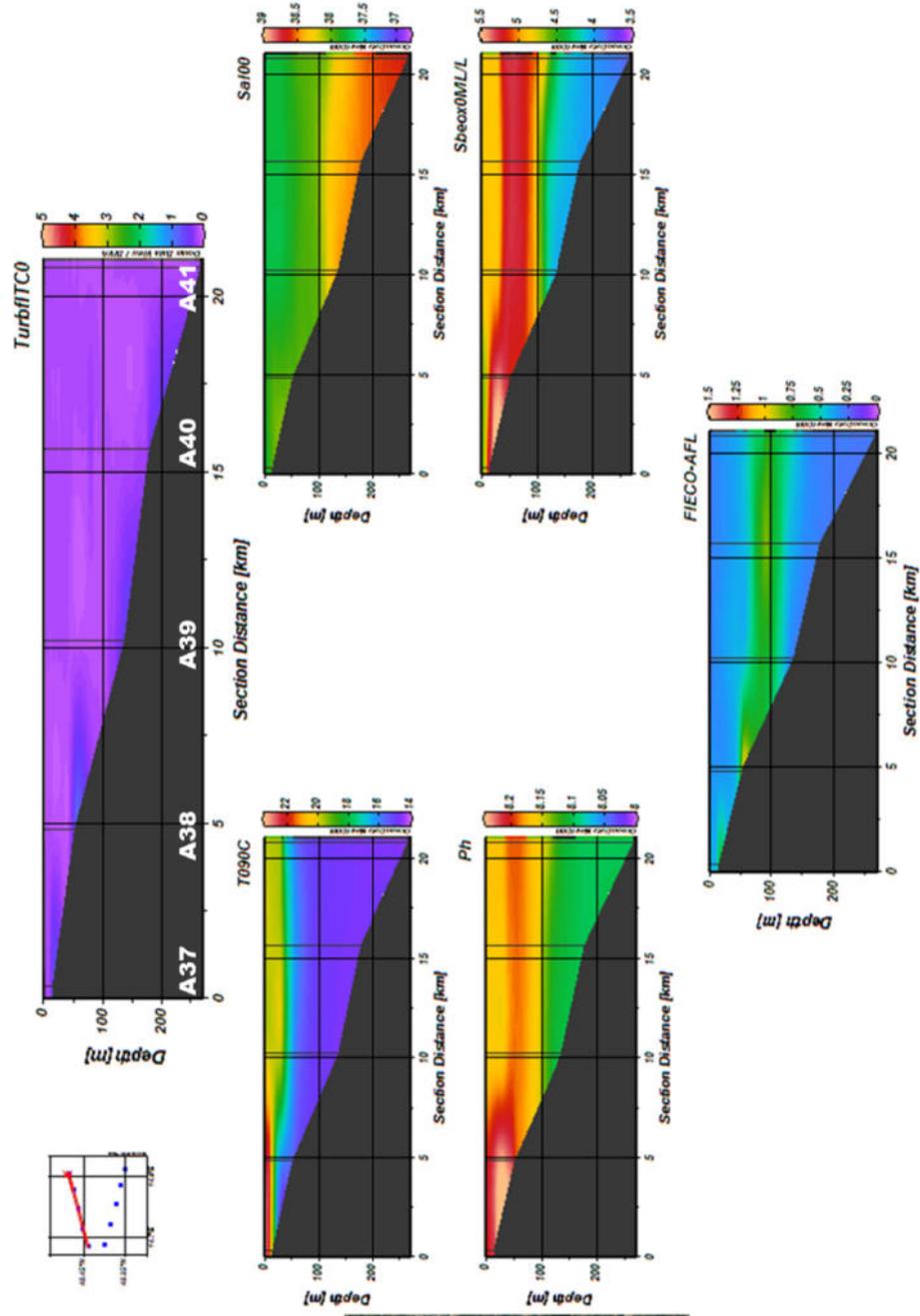


Figura 2.4.1.1.3. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A33, A34, A35, A36).



V° Campagna



Figura 2.4.1.1.4. Sezioni verticali (superficie-fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A37, A38, A39, A40, A41).

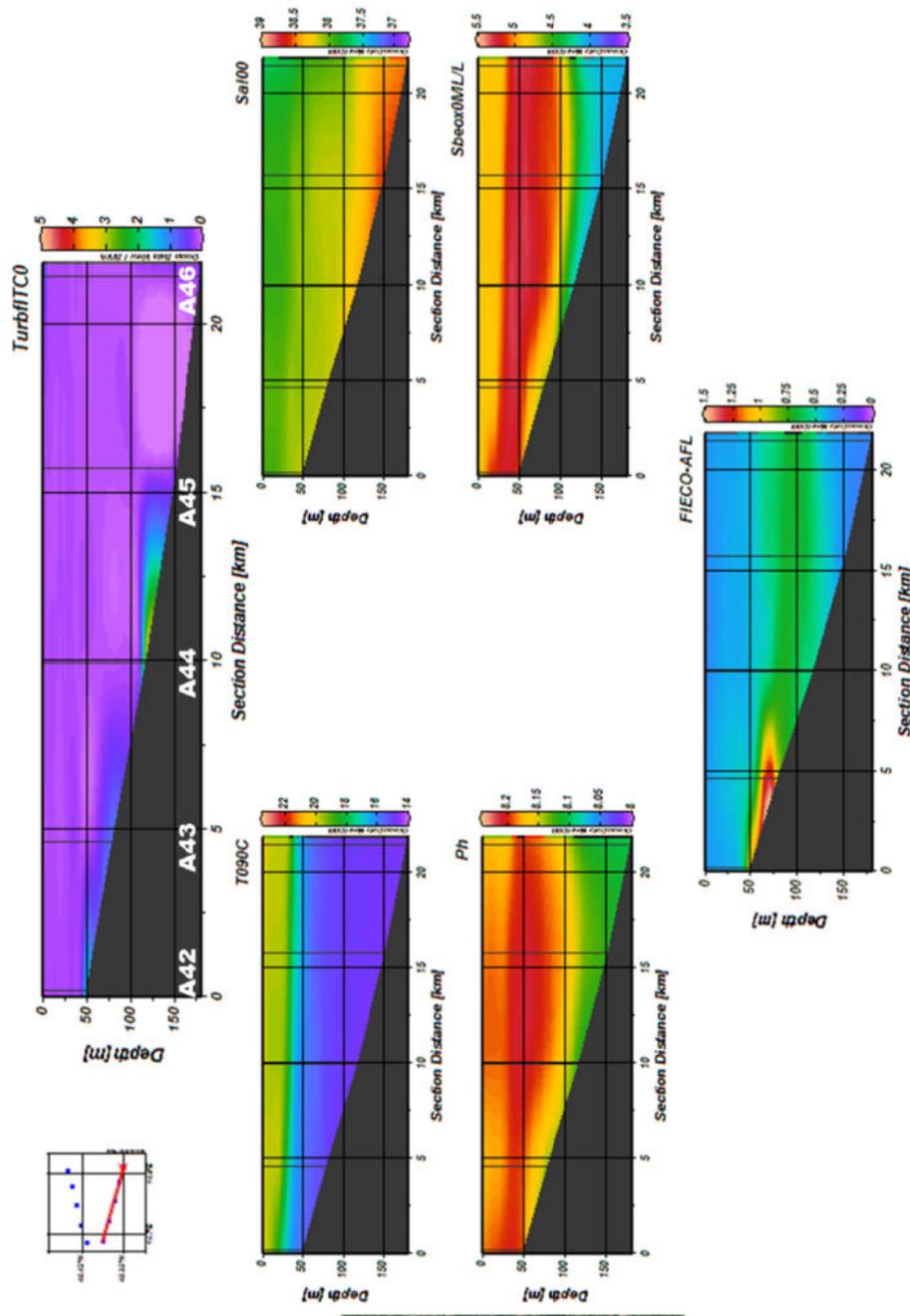


Figura 2.4.1.1.5. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A42, A43, A44, A45, A46).

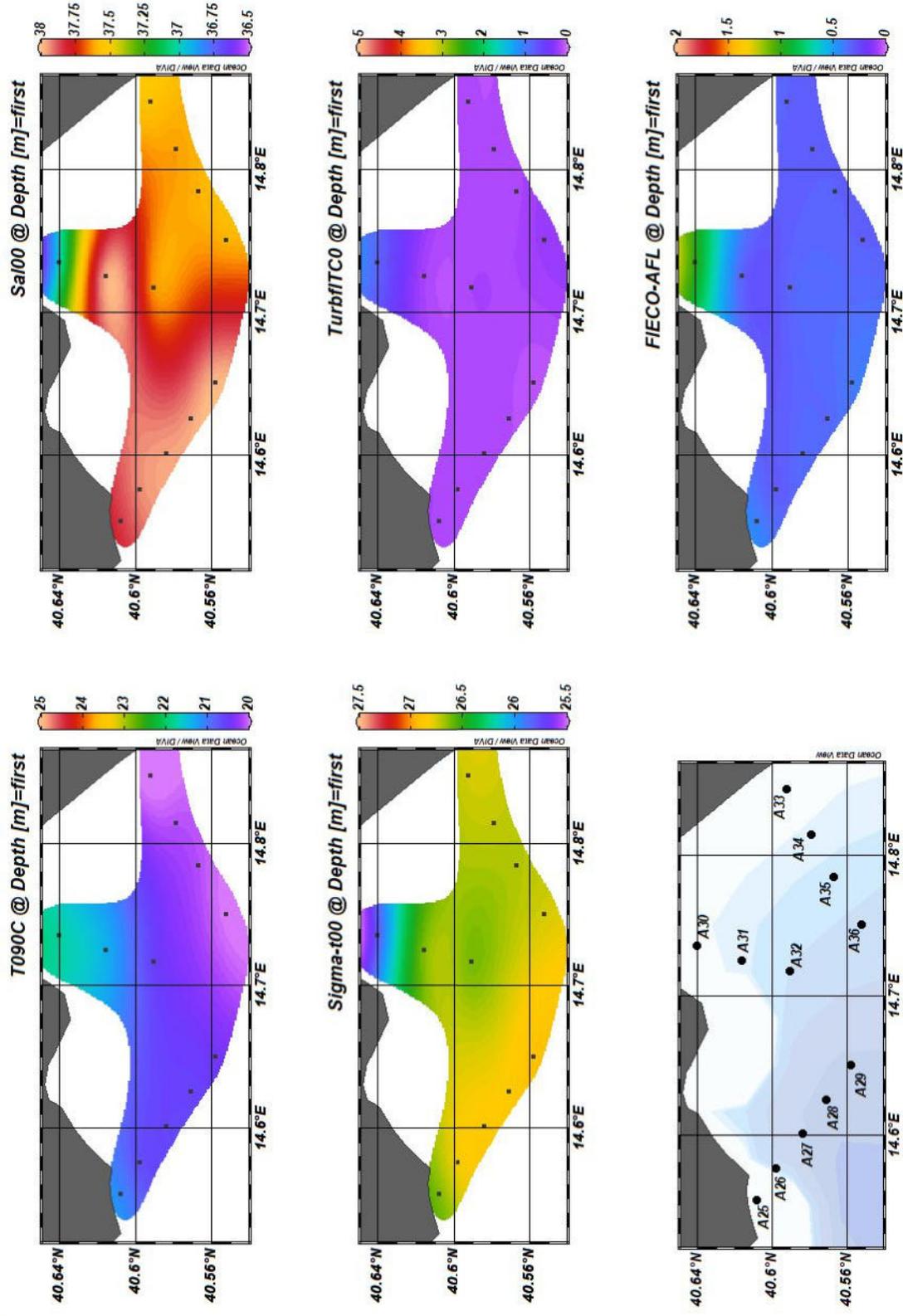


Figura 2.4.1.1.6. Mappe superficiali di Temperatura, Salinità, Densità, Torbidità e Fluorescenza delle Stazioni da A25 ad A36.

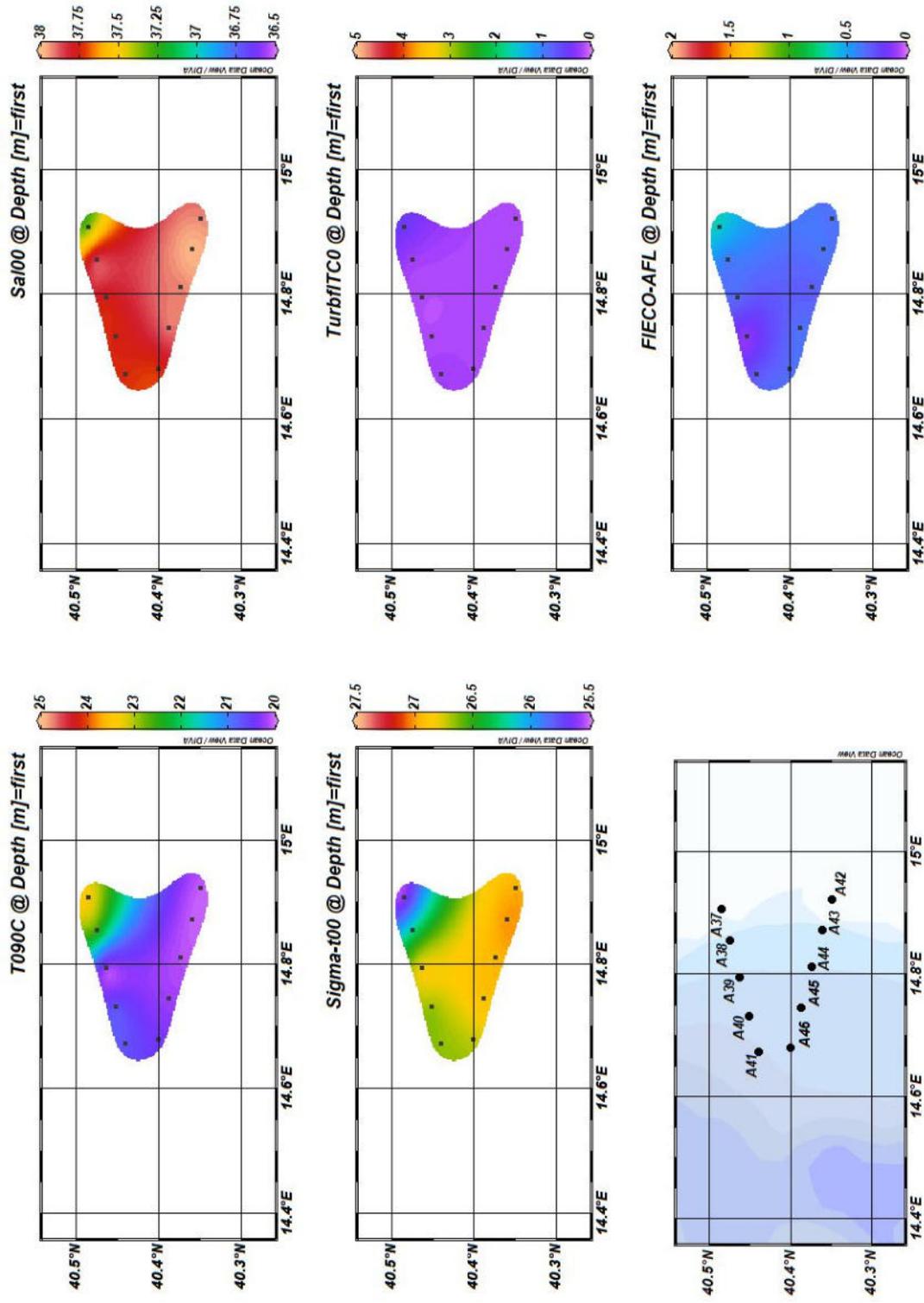


Figura 2.4.1.1.7. Mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza delle Stazioni da A37 ad A46.

Per quanto riguarda la V Campagna inerente l'idrologia dell'area di immersione, le sezioni verticali di temperatura e salinità (Figure 2.4.1.1.1- 2.4.1.1.5), mostrano una situazione tipica di inizio estate con una stratificazione termica della colonna d'acqua in quasi tutti i transetti. Fa eccezione il transetto A30-A32 in cui si osservano valori di salinità abbastanza omogenei lungo la colonna d'acqua. Le misure di fluorescenza lungo la colonna d'acqua evidenziano la presenza di massimi subsuperficiali di Chl a in quasi tutti i transetti tipici del periodo stagionale nell'intero Mediterraneo, mentre per la Torbidità si osservano valori abbastanza omogenei nella colonna d'acqua con un lieve aumento al fondo. Il pH e l'ossigeno disciolto mostrano un andamento in linea con le variazioni stagionali in quasi tutti i transetti da superficie a fondo.

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza relative alla V Campagna inerente l'idrologia dell'area di immersione mostrano un gradiente costa largo nei transetti A30-A32 e A37-A41. Si osserva in corrispondenza un analogo andamento della torbidità nel transetto A30-A32, mentre il transetto A37-A41 presenta una distribuzione superficiale più omogenea.

2.4.1.2 Caratterizzazione chimica

Nutrienti

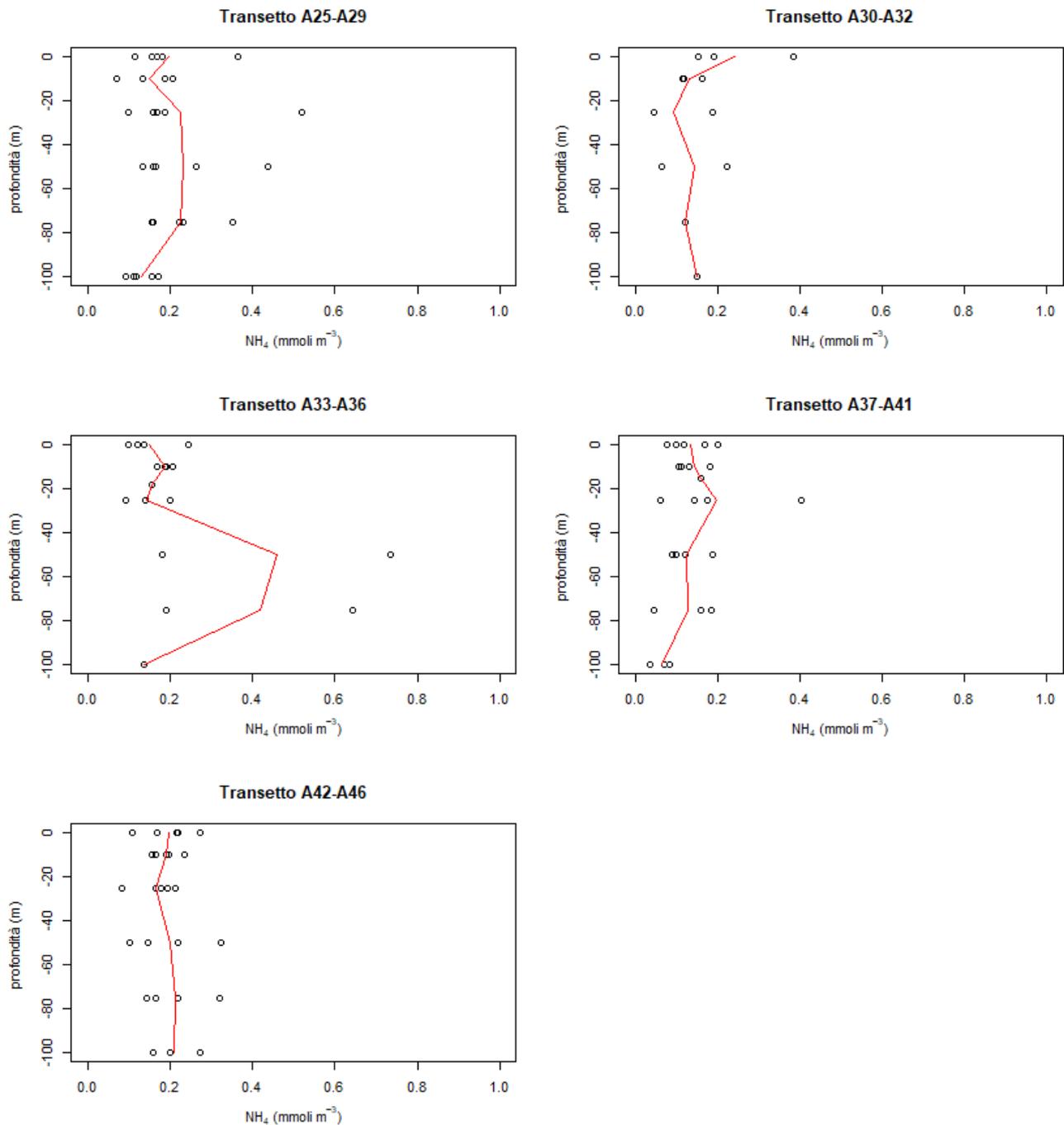


Figura 2.4.1.2.1. Concentrazioni di ammoniaca vs profondità ne34i cinque transetti campionati per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione e profilo della concentrazione media lungo il transetto (-).

I profili verticali di ammoniaca (Figura 2.4.1.2.1.) mostrano una distribuzione media abbastanza simile lungo tutti i transetti, caratterizzata da valori medi prossimi a 0.2 mmol m^{-3} . L'unica eccezione è rappresentata dal transetto A33-A36 (Foce Picentino) dove si osserva un leggero aumento della concentrazione ($0.6\text{-}0.8 \text{ mmol m}^{-3}$) nello strato intermedio della colonna d'acqua (50-75 m)

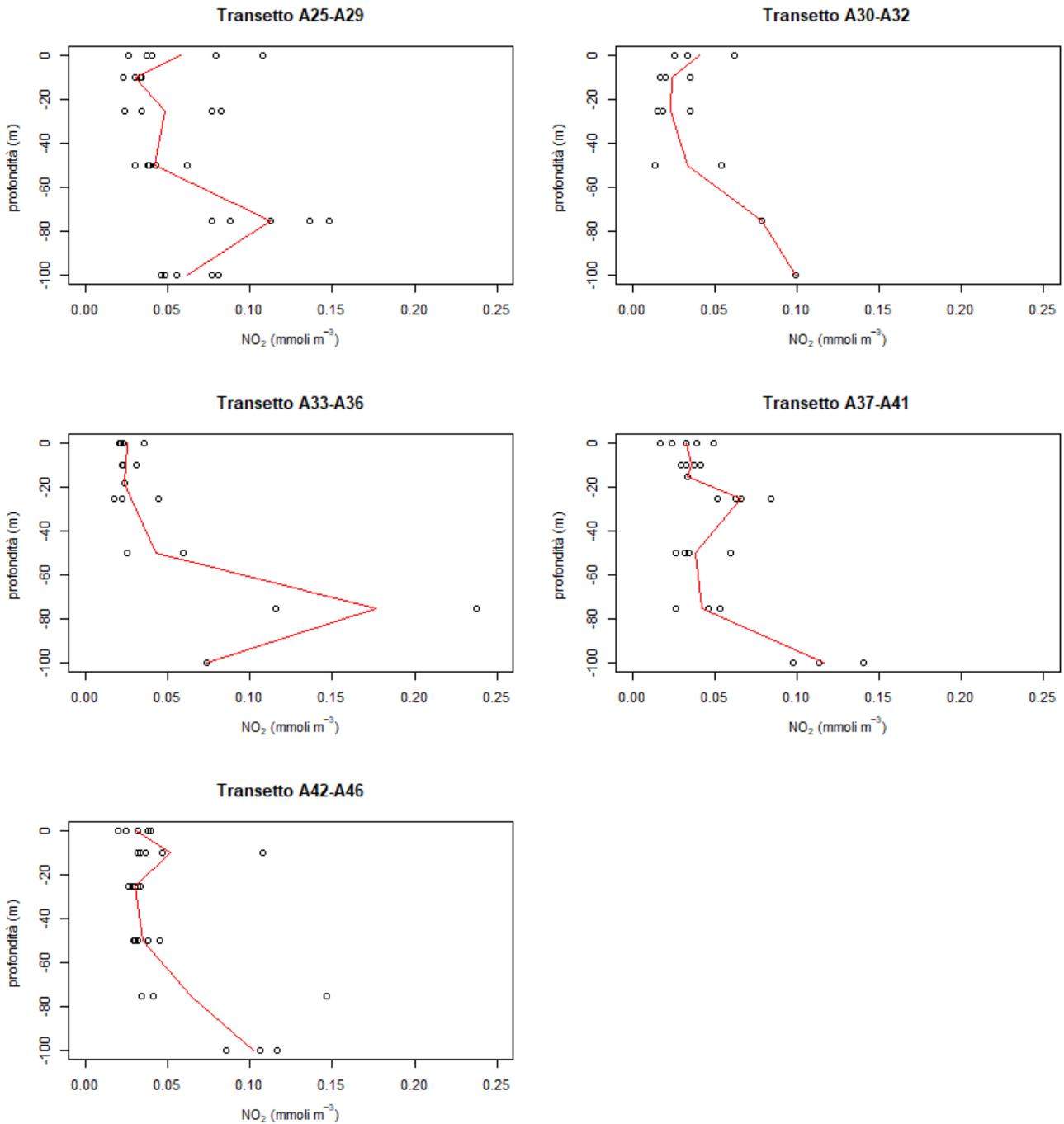


Figura 2.4.1.2.2. Concentrazioni di nitriti vs profondità nei cinque transetti campionati per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione e profilo della concentrazione media lungo i transetti.

La distribuzione verticale dei nitrati (Figura 2.4.1.2.2.) presenta una ridotta variabilità spaziale. Il valore più elevato (0.24 mmol m^{-3}) si osserva sempre nel transetto di Foce Picentino (stazione A36) alla profondità 75 m.

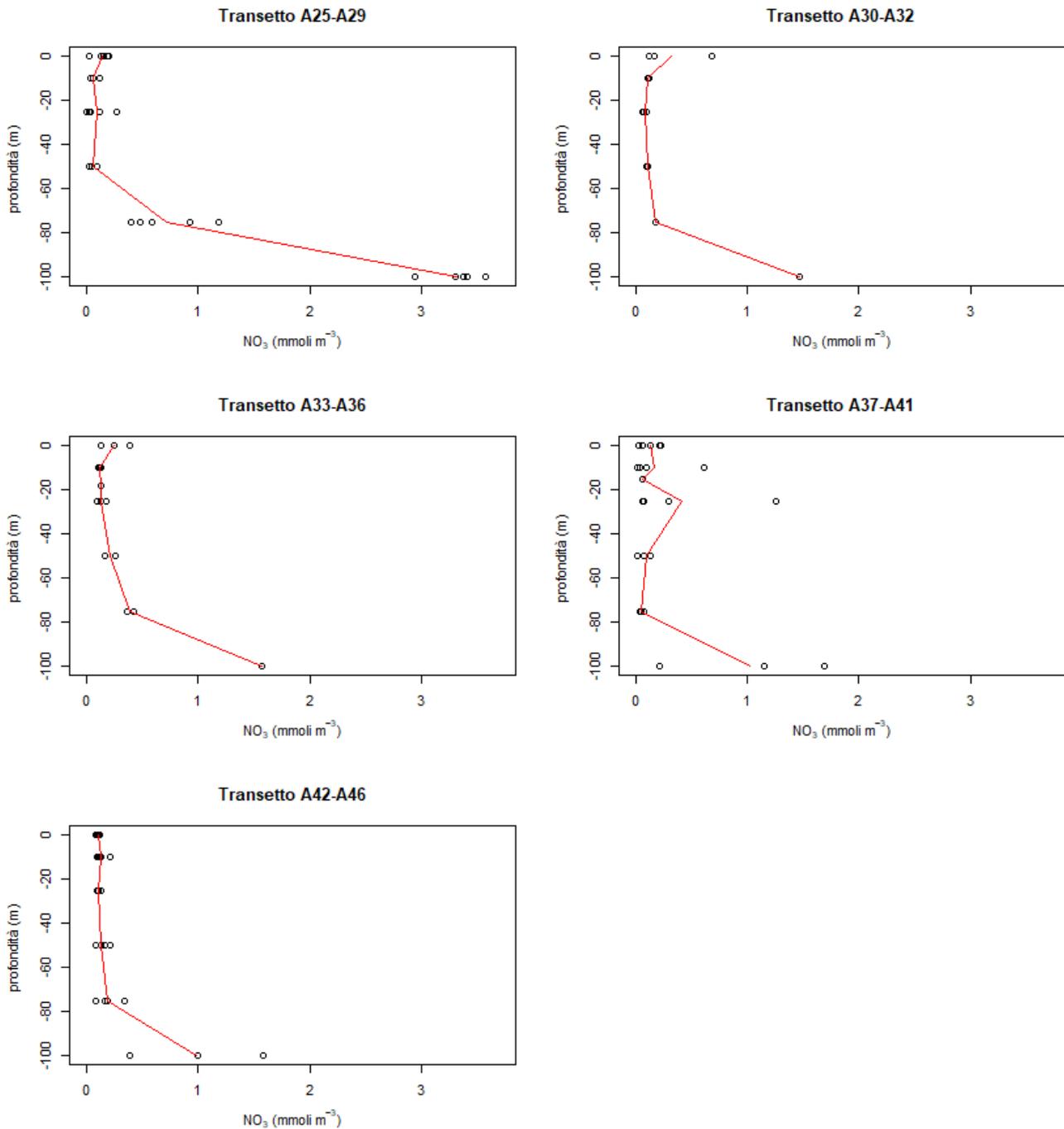


Figura 2.4.1.2.3. Concentrazioni di nitrati vs profondità nei cinque transetti campionati per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione e profilo della concentrazione media lungo i transetti.

Le concentrazioni dei nitrati, riportate in Figura 2.4.1.2.3., presentano un marcato gradiente verticale caratterizzato da valori bassi in superficie ($<0.24 \text{ mmol m}^{-3}$) e concentrazioni più elevate nello strato di fondo (75-100 m). I valori massimi si osservano lungo il transetto A25-A29 ($2.94\text{-}3.57 \text{ mmol m}^{-3}$).

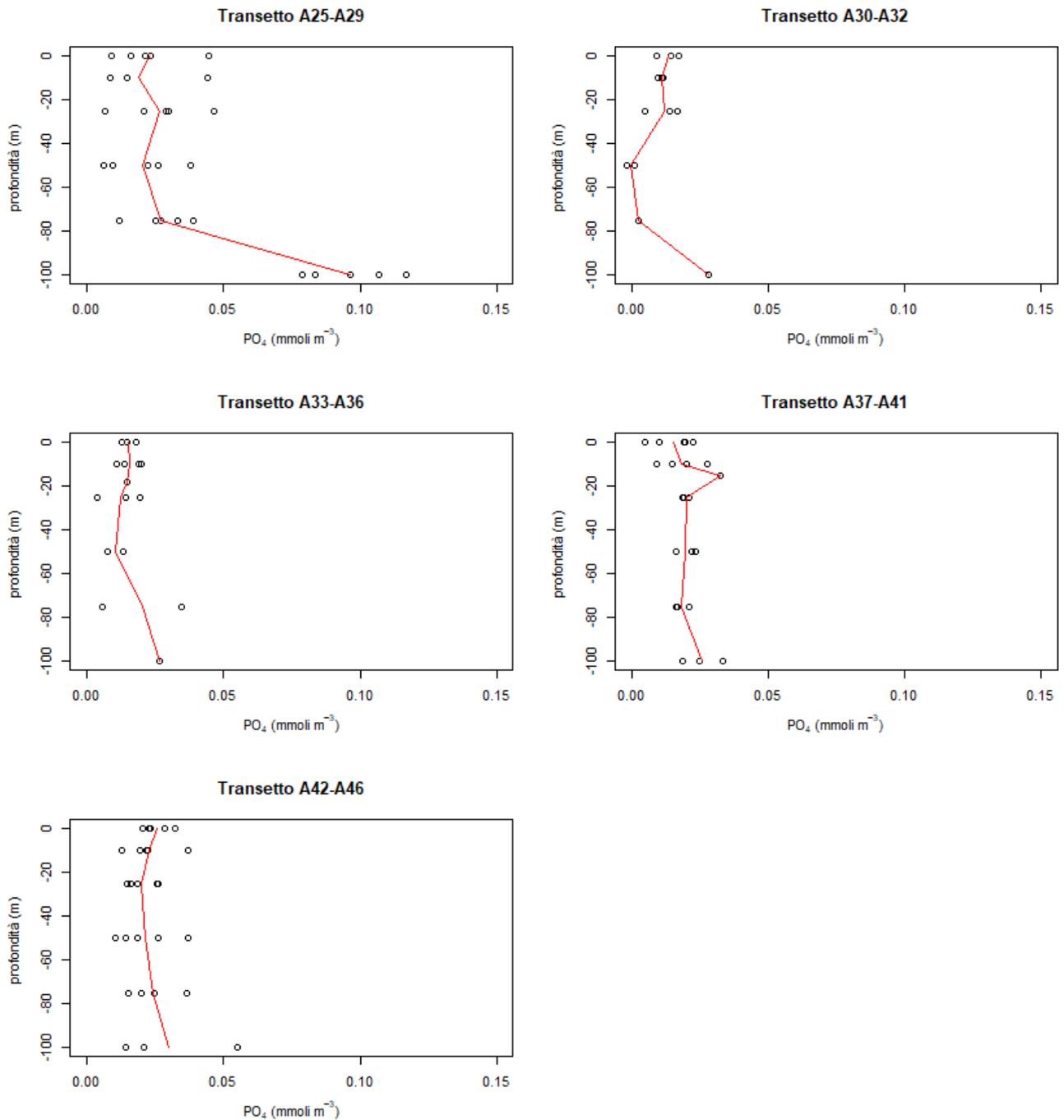


Figura 2.4.1.2.4. Concentrazioni di fosfati vs profondità nei cinque transetti campionati per la definizione dell'idrologia nell'area di immersione e profilo della concentrazione media lungo i transetti..

Le concentrazioni dei fosfati, riportate in Figura 2.4.1.2.4., mostrano valori molto bassi (quasi sempre <0.05 mmol m⁻³) in tutti i transetti sia in superficie sia in profondità, ad eccezione del transetto A25-A29, che mostra un evidente incremento in profondità (~0.10mmol m⁻³).

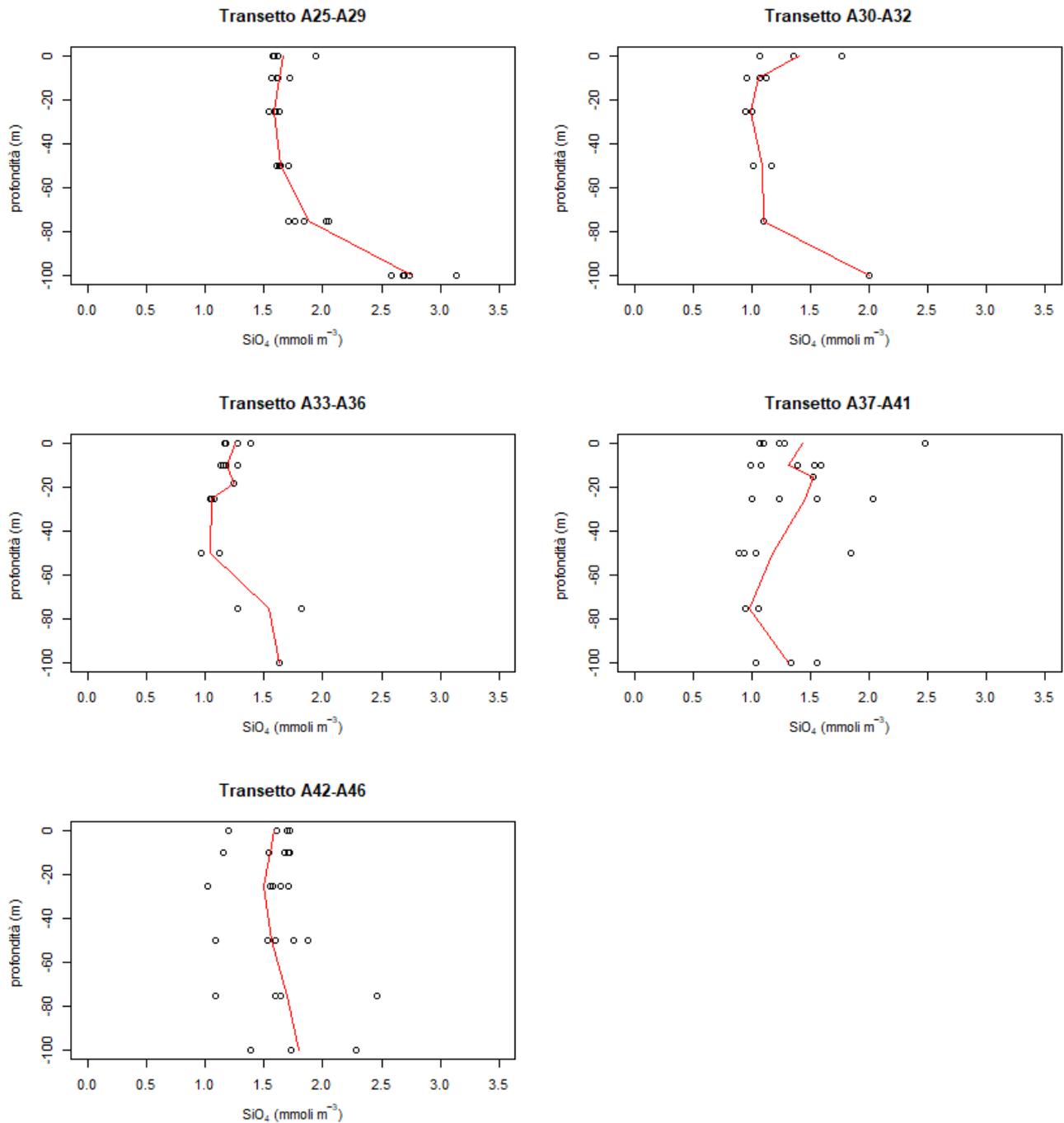


Figura 2.4.1.2.5. Concentrazioni di silicati vs profondità nei cinque transetti campionati per la definizione dell'idrologia nell'area di immersione e profilo della concentrazione media lungo i transetti.

Le concentrazioni dei silicati (Figura 2.4.1.2.5.) presentano valori quasi sempre superiori a 1 mmol m⁻³. È possibile osservare un aumento delle concentrazioni in superficie lungo il transetto A37-A41 e negli strati più profondi (75-100 m). L'aumento al fondo è particolarmente pronunciato lungo il transetto A25-A29.

Tabella 2.4.1.2.1. Concentrazione dei nutrienti inorganici nelle stazioni campionate per la definizione dell'idrologia nell'area di immersione.

Sigla campione	Profondità (m)	NH ₄ (mmoli m ⁻³)	NO ₂ (mmoli m ⁻³)	NO ₃ (mmoli m ⁻³)	PO ₄ (mmoli m ⁻³)	SiO ₄ (mmoli m ⁻³)
A25_0	0	0.36	0.04	0.19	0.02	1.94
A25_10	10	0.07	0.02	0.11	0.01	1.72
A25_25	25	0.17	0.02	0.00	0.02	1.58
A25_50	50	0.13	0.04	0.09	0.01	1.63
A25_75	75	0.16	0.11	0.92	0.03	2.05
A25_100	100	0.17	0.05	3.57	0.11	3.14
A26_0	0	0.16	0.04	0.15	0.04	1.58
A26_10	10	0.13	0.03	0.03	0.04	1.61
A26_25	25	0.19	0.03	0.03	0.05	1.59
A26_50	50	0.44	0.06	0.09	0.04	1.60
A26_75	75	0.23	0.15	1.18	0.04	2.03
A26_100	100	0.12	0.08	3.37	0.12	2.68
A27_0	0	0.17	0.08	0.20	0.01	1.61
A27_10	10	0.21	0.03	0.05	0.01	1.61
A27_25	25	0.16	0.08	0.12	0.03	1.63
A27_50	50	0.26	0.04	0.05	0.02	1.71
A27_75	75	0.35	0.08	0.39	0.03	1.71
A27_100	100	0.09	0.08	3.41	0.10	2.69
A28_0	0	0.11	0.03	0.02	0.02	1.59
A28_10	10	0.19	0.03	0.05	0.01	1.56
A28_25	25	0.10	0.02	0.02	0.01	1.53
A28_50	50	0.16	0.03	0.02	0.01	1.64
A28_75	75	0.16	0.14	0.48	0.01	1.77
A28_100	100	0.11	0.05	3.30	0.08	2.73
A29_0	0	0.18	0.11	0.13	0.02	1.57
A29_25	25	0.52	0.08	0.26	0.03	1.59
A29_50	50	0.17	0.04	0.05	0.03	1.63
A29_75	75	0.22	0.09	0.59	0.03	1.84
A29_100	100	0.16	0.06	2.94	0.08	2.58
A30_0	0	0.19	0.03	0.12	0.02	1.36
A30_10	10	0.16	0.04	0.12	0.01	1.07
A30_25	25	0.05	0.02	0.10	0.01	1.01
A31_0	0	0.15	0.06	0.17	0.01	1.07
A31_10	10	0.12	0.02	0.11	0.01	0.96
A31_25	25	0.19	0.03	0.07	0.02	0.95
A31_50	50	0.06	0.05	0.11	0.00	1.17
A32_0	0	0.38	0.03	0.68	0.01	1.77
A32_10	10	0.11	0.02	0.11	0.01	1.12
A32_25	25	0.04	0.02	0.07	0.01	1.00
A32_50	50	0.22	0.01	0.10	0.00	1.01
A32_75	75	0.12	0.08	0.18	0.00	1.10
A32_100	100	0.15	0.10	1.48	0.03	2.00
A33_0	0	0.12	0.04	0.13	0.02	1.38
A33_10	10	0.21	0.03	0.12	0.02	1.27
A33_18	18	0.16	0.02	0.12	0.01	1.24
A34_0	0	0.24	0.02	0.39	0.01	1.18
A34_10	10	0.19	0.02	0.13	0.01	1.13
A34_25	25	0.09	0.02	0.10	0.01	1.05
A35_0	0	0.10	0.02	0.24	0.01	1.16
A35_10	10	0.17	0.02	0.11	0.02	1.15



A35_25	25	0.14	0.02	0.13	0.02	1.04
A35_50	50	0.18	0.03	0.16	0.01	1.11
A35_75	75	0.19	0.24	0.42	0.03	1.82
A36_0	0	0.14	0.02	0.24	0.01	1.27
A36_10	10	0.19	0.02	0.11	0.01	1.18
A36_25	25	0.20	0.04	0.17	0.00	1.07
A36_50	50	0.74	0.06	0.26	0.01	0.96
A36_75	75	0.64	0.12	0.36	0.01	1.27
A36_100	100	0.14	0.07	1.58	0.03	1.63
A37_0	0	0.17	0.03	0.23	0.01	2.48
A37_10	10	0.18	0.03	0.10	0.03	1.59
A37_14	15	0.16	0.03	0.07	0.03	1.52
A38_0	0	0.08	0.02	0.03	0.02	1.28
A38_10	10	0.13	0.04	0.02	0.02	1.39
A38_25	25	0.14	0.08	0.06	0.02	1.56
A38_51	50	0.19	0.03	0.14	0.02	1.84
A39_0	0	0.10	0.02	0.22	0.01	1.24
A39_10	10	0.11	0.04	0.62	0.01	1.53
A39_25	25	0.40	0.07	0.29	0.02	1.23
A39_50	50	0.09	0.06	0.14	0.02	1.04
A39_75	75	0.18	0.05	0.07	0.02	0.95
A39_100	100	0.07	0.10	1.69	0.03	1.56
A40_0	0	0.12	0.05	0.13	0.02	1.07
A40_10	10	0.11	0.03	0.04	0.02	1.00
A40_25	25	0.06	0.06	0.07	0.02	1.01
A40_50	50	0.12	0.03	0.08	0.02	0.93
A40_75	75	0.04	0.03	0.05	0.02	1.06
A40_100	100	0.04	0.11	1.15	0.03	1.34
A41_0	0	0.20	0.04	0.07	0.02	1.10
A41_10	10	0.18	0.04	0.04	0.02	1.08
A41_25	25	0.18	0.05	1.25	0.02	2.03
A41_50	50	0.10	0.03	0.02	0.02	0.90
A41_75	75	0.16	0.05	0.05	0.02	0.94
A41_100	100	0.08	0.14	0.22	0.02	1.03
A42_0	0	0.17	0.02	0.08	0.03	1.72
A42_10	10	0.19	0.04	0.13	0.04	1.67
A42_25	25	0.08	0.03	0.09	0.02	1.55
A42_25	50	0.10	0.04	0.08	0.04	1.88
A43_0	0	0.27	0.03	0.09	0.02	1.60
A43_10	10	0.15	0.03	0.09	0.02	1.54
A43_25	25	0.19	0.03	0.09	0.03	1.58
A43_50	50	0.22	0.04	0.21	0.02	1.75
A43_75	75	0.32	0.15	0.34	0.04	2.46
A44_0	0	0.11	0.04	0.12	0.02	1.70
A44_10	10	0.17	0.03	0.11	0.02	1.71
A44_25	25	0.16	0.03	0.11	0.03	1.71
A44_50	50	0.14	0.03	0.12	0.03	1.59
A44_75	75	0.14	0.04	0.18	0.02	1.64
A44_100	100	0.16	0.09	1.58	0.05	2.28
A45_0	0	0.22	0.04	0.10	0.02	1.70
A45_10	10	0.20	0.05	0.11	0.01	1.71
A45_25	25	0.21	0.03	0.13	0.02	1.64
A45_50	50	0.32	0.03	0.08	0.01	1.53
A45_75	75	0.16	0.03	0.08	0.02	1.59



A45_100	100	0.27	0.12	0.38	0.02	1.73
A46_0	0	0.22	0.02	0.11	0.03	1.20
A46_10	10	0.23	0.11	0.21	0.02	1.15
A46_25	25	0.18	0.03	0.10	0.01	1.02
A46_50	50	0.22	0.03	0.17	0.01	1.09
A46_75	75	0.22	0.03	0.16	0.02	1.08
A46_100	100	0.20	0.11	1.00	0.01	1.38

Solidi Sospesi Totali

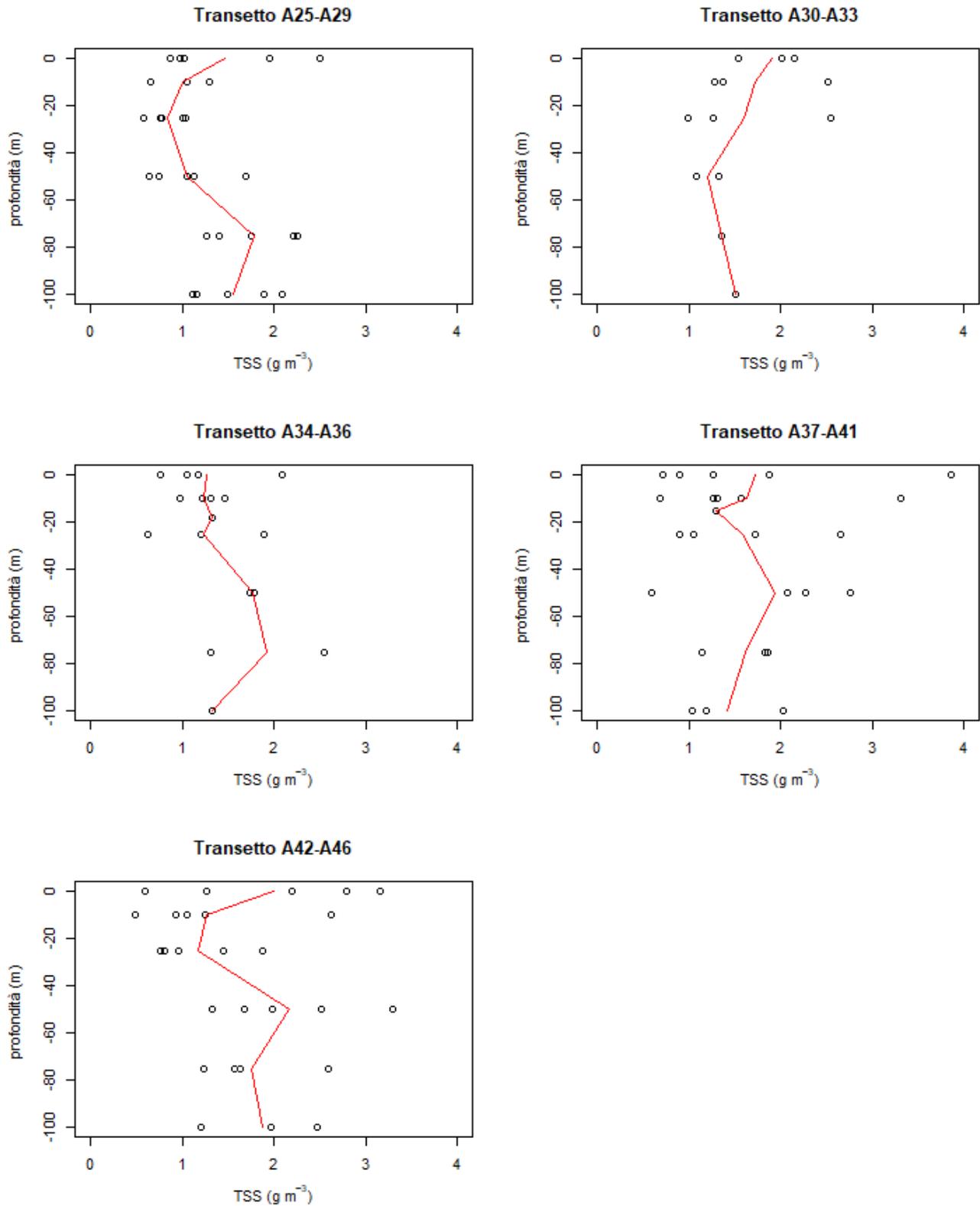


Figura 2.4.1.2.6. Concentrazioni dei Solidi Sospesi Totali (TSS) vs profondità nei cinque transetti campionati per la definizione dell'idrologia nell'area di immersione e profilo della concentrazione media lungo i transetti.

Le concentrazioni dei solidi sospesi totali nell'area di indagine sono comprese tra 0.49-3.85 g m⁻³ (Tabella 2.4.1.2.2, Figura 2.4.1.2.6) e la concentrazione media è 1.50 gm⁻³. Nel corso del monitoraggio *ante operam* il range di concentrazione per l'intera area era 0.15-3.94 g m⁻³ e la concentrazione media 0.75 g m⁻³.

Tabella 2.4.1.2.2. Concentrazioni dei Solidi Sospesi Totali (TSS) nelle stazioni campionate per la definizione dell'idrologia nell'area di immersione.

Sigla campione	Profondità (m)	TSS (g m ⁻³)
A25_0	0	1.02
A25_10	10	0.66
A25_25	25	0.77
A25_50	50	0.75
A25_75	75	2.22
A25_100	100	1.50
A26_0	0	2.50
A26_10	10	1.05
A26_25	25	1.04
A26_50	50	0.64
A26_75	75	1.40
A26_100	100	2.09
A27_0	0	0.87
A27_10	10	1.05
A27_25	25	0.77
A27_50	50	1.12
A27_75	75	2.25
A27_100	100	1.16
A28_0	0	1.95
A28_10	10	1.29
A28_25	25	0.58
A28_50	50	1.69
A28_75	75	1.75
A28_100	100	1.12
A29_0	0	0.98
A29_25	25	1.01
A29_50	50	1.06
A29_75	75	1.26
A29_100	100	1.89
A30_0	0	1.55
A30_10	10	1.38
A30_25	25	1.27
A31_0	0	2.16
A31_10	10	2.52
A31_25	25	2.55

A31_50	50	1.09
A32_0	0	2.02
A32_10	10	1.29
A32_25	25	1.00
A32_50	50	1.33
A32_75	75	1.35
A32_100	100	1.52
A33_0	0	1.17
A33_10	10	1.22
A33_18	18	1.33
A34_0	0	1.05
A34_10	10	1.31
A34_25	25	1.21
A35_0	0	0.76
A35_10	10	1.46
A35_25	25	0.63
A35_50	50	1.79
A35_75	75	2.54
A36_0	0	2.09
A36_10	10	0.98
A36_25	25	1.89
A36_50	50	1.73
A36_75	75	1.31
A36_100	100	1.33
A37_0	0	1.87
A37_10	10	1.31
A37_14	15	1.30
A38_0	0	0.72
A38_10	10	1.27
A38_25	25	1.06
A38_51	50	2.27
A39_0	0	0.90
A39_10	10	1.57
A39_25	25	0.89
A39_50	50	0.60
A39_75	75	1.15
A39_100	100	2.03
A40_0	0	1.27
A40_10	10	0.69
A40_25	25	2.65
A40_50	50	2.08
A40_75	75	1.85
A40_100	100	1.19
A41_0	0	3.85

A41_10	10	3.31
A41_25	25	1.72
A41_50	50	2.76
A41_75	75	1.83
A41_100	100	1.04
A42_0	0	2.79
A42_10	10	1.06
A42_25	25	0.96
A42_50	50	3.30
A43_0	0	1.27
A43_10	10	1.24
A43_25	25	0.81
A43_50	50	2.52
A43_75	75	1.56
A44_0	0	3.15
A44_10	10	0.93
A44_25	25	1.45
A44_50	50	1.33
A44_75	75	2.59
A44_100	100	2.46
A45_0	0	0.59
A45_10	10	0.49
A45_25	25	0.76
A45_50	50	1.98
A45_75	75	1.63
A45_100	100	1.96
A46_0	0	2.20
A46_10	10	2.62
A46_25	25	1.88
A46_50	50	1.68
A46_75	75	1.23
A46_100	100	1.21

2.4.1.3 Caratterizzazione biologica

Caratterizzazione delle comunità fitoplanctoniche

Le concentrazioni di biomassa fitoplanctonica (Chl *a*) nell'area identificata per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione sono comprese tra 0.01 e 0.26 mg m⁻³, la concentrazione media è 0.07 mg m⁻³.

I valori più elevati, superiori a 0.25 mg m⁻³, sono stati osservati in superficie in corrispondenza della stazione A33, ubicata in prossimità della Foce del Picentino.

Dal confronto con i valori acquisiti nel corso del monitoraggio *ante operam* (intervallo di concentrazione 0.04 - 0.37 mg m⁻³, valore medio 0.19 mg m⁻³) non si osservano variazioni rilevanti.

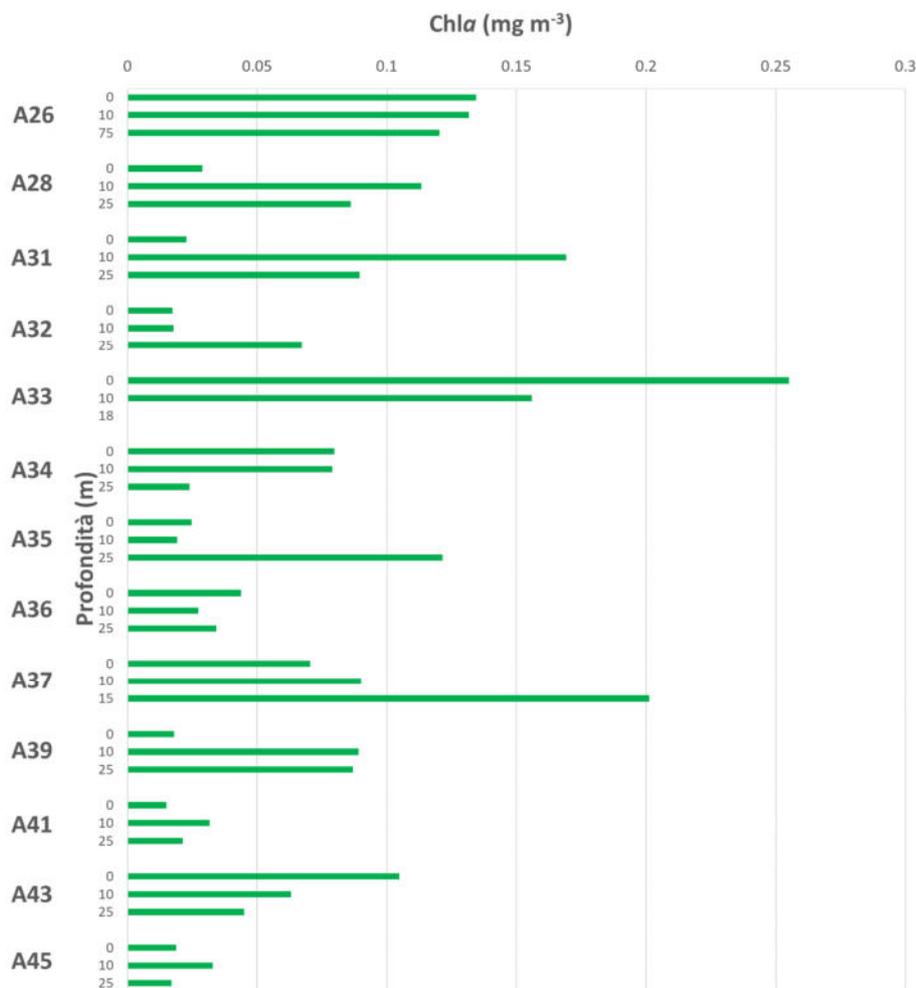


Figura 2.4.1.3.1. Distribuzione verticale della Chl *a* nelle stazioni campionate per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione.

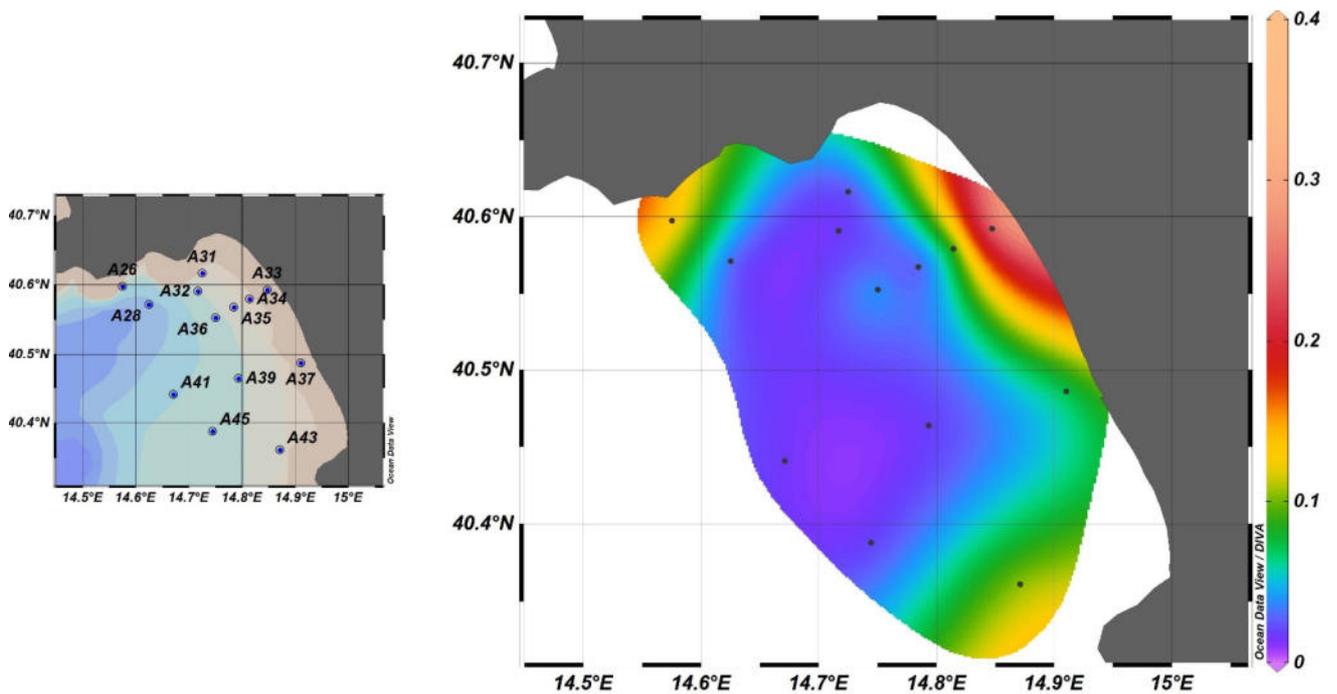


Figura 2.4.1.3.2. Distribuzione in superficie della Chl a (mg m^{-3}) nelle stazioni campionate per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione.

La Chl a in superficie (Figura 2.4.1.3.2) è caratterizzata da valori più elevati in prossimità della costa e da valori bassi nelle stazioni di largo.

Tabella 2.4.1.3.2. Concentrazioni di Chl a (mg m^{-3}) nelle stazioni campionate per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione.

Sigla campione	Profondità (m)	Chl a (mg m^{-3})
A26_0	0	0.13
A26_10	10	0.13
A26_75	25	0.12
A28_0	50	0.03
A28_10	75	0.11
A28_25	100	0.09
A31_0	0	0.02
A31_10	10	0.17
A31_25	25	0.09
A32_0	50	0.02
A32_10	75	0.02
A32_25	100	0.07
A33_0	0	0.26
A33_10	10	0.16
A34_0	25	0.08
A34_10	50	0.08

A34_25	75	0.02
A35_0	100	0.02
A35_10	0	0.02
A35_25	10	0.12
A36_0	25	0.04
A36_10	50	0.03
A36_25	75	0.03
A37_0	100	0.07
A37_10	0	0.09
A37_15	25	0.20
A39_0	50	0.02
A39_10	75	0.09
A39_25	100	0.09
A41_0	0	0.01
A41_10	10	0.03
A41_25	25	0.02
A43_0	0	0.10
A43_10	10	0.06
A43_25	25	0.05
A45_0	50	0.02
A45_10	0	0.03
A45_25	10	0.02

La comunità fitoplanctonica osservata durante la V campagna (28 maggio-19 giugno 2020) alle stazioni campionate per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione (Figura 2.4.1.3.3) è caratterizzata da valori di abbondanza relativamente bassi, compresi tra $1,9 \cdot 10^5$ cell. l⁻¹ alla stazione A26 alla profondità dei 75 m, e $1,4 \cdot 10^6$ cell. l⁻¹ alla stazione A35, alla profondità dei 10 m. In generale, le concentrazioni superficiali risultano paragonabili tra tutte le stazioni. Non si osservano netti gradienti costa-largo lungo i transetti esaminati, abbondanze leggermente inferiori caratterizzano le stazioni posizionate al largo della costa cilentana.

I popolamenti fitoplanctonici sono composti prevalentemente da flagellati di taglia tra 2 e 10 μm , rappresentati soprattutto forme indeterminate e criptoficee, (abbondanza media 84%) e in percentuale molto minore dai dinoflagellati (abbondanza media 8%, soprattutto forme atecate <15 μm). Risultano meno abbondanti le diatomee (con una media del 4%), rappresentate principalmente dalle specie *Pseudo-nitzschia galaxiae*, *P. delicatissima*, *Leptocylindrus danicus* e *L. convexus*, e quasi del tutto assenti i coccolitofori.

La distribuzione verticale è piuttosto variabile tra stazioni e non si osservano gradienti netti. I valori sono generalmente omogenei nei primi 10-25 m della colonna d'acqua, ma alle stazioni A28 e A35 si osserva un

massimo alla profondità dei 10 m. In alcuni casi i valori sono inferiori negli strati più profondi, ma alle stazioni A31 e A41 si osserva un gradiente inverso con il massimo di abbondanza fitoplanctonica in profondità.

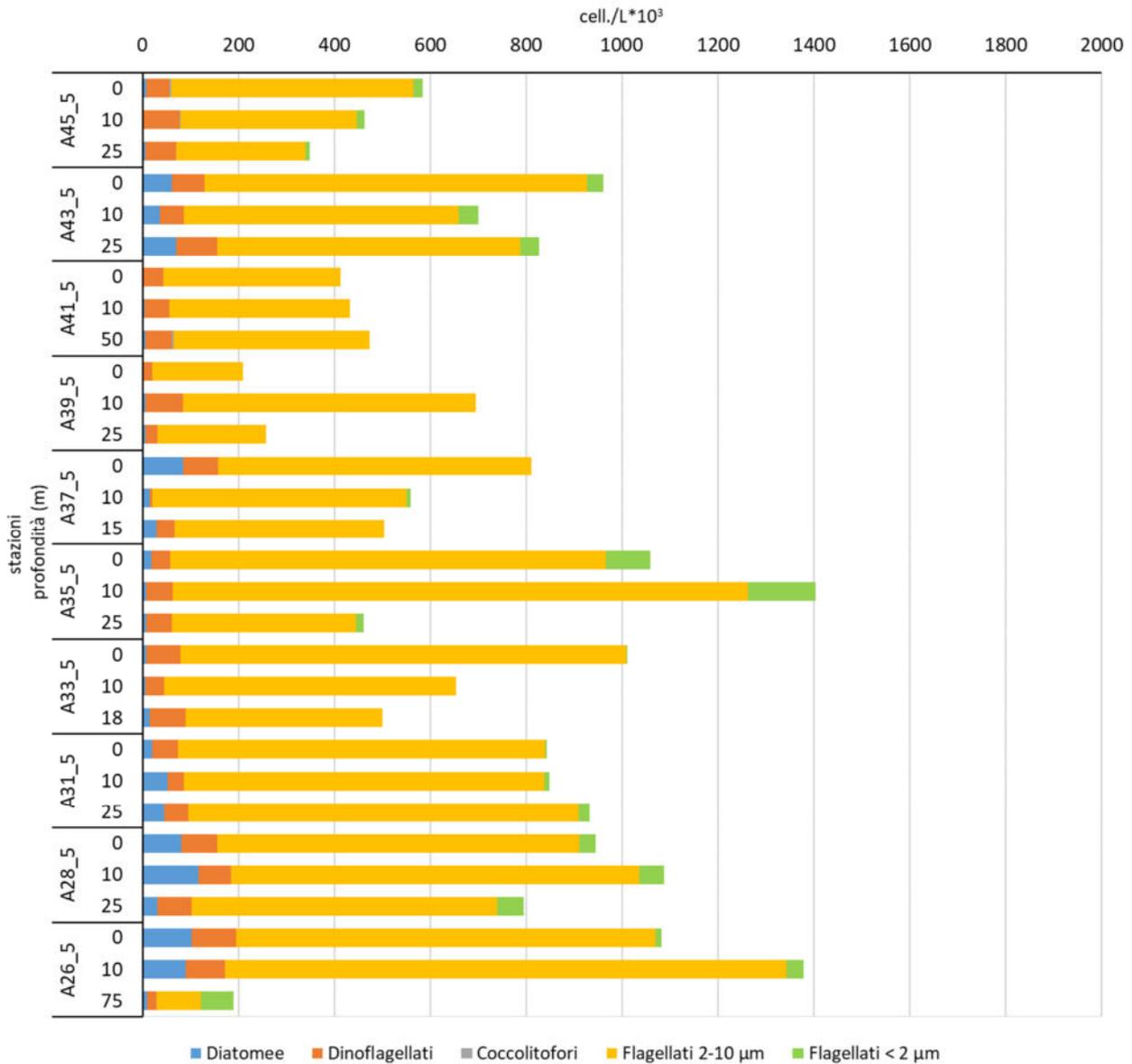


Figura 2.4.1.3.3. Abbondanze fitoplanctoniche nelle stazioni dell'idrologia alle tre profondità campionate.

Caratterizzazione delle comunità zooplanctoniche

L'analisi quali-quantitativa della comunità zooplanctonica, nelle stazioni campionate per la definizione dell'idrologia durante la V° campagna (28 maggio - 9 giugno 2020), ha evidenziato valori di abbondanza che tendono ad aumentare lungo i transetti costa-largo nella costiera amalfitana (A 26-28-31), fino ad un massimo valore di abbondanza (2644,4 ind.m⁻³) nella stazione A 33 in prossimità della foce del fiume Picentino (Fig. 2.4.1.3.4.). Nelle stazioni alla foce del fiume Sele (A 35-37-39) è stata invece osservata una diminuzione di abbondanza nelle stazioni costiere rispetto a quelle di largo con un valore minimo di 633,6 ind. m⁻³ (Fig. 2.4.1.3.4.). Lungo la costa cilentana (A 41-43-45) i valori di abbondanza sono paragonabili tra loro e superano i 1000 individui per metro cubo (ind.m⁻³) (Fig. 2.4.1.3.4.). In tutte le stazioni, la comunità zooplanctonica è risultata dominata da copepodi, che costituiscono circa 70% del totale e sono maggiormente rappresentati da tra specie *Acartia clausi*, *Centropages typicus* e *Paracalanus parvus* complex (Fig. 2.4.1.3.5.). Tuttavia, nella stazione A28 e A37, la percentuale di copepodi è stata poco più del 50% e del 40%, rispettivamente. La frazione restante è risultata formata da appendicolarie, cladoceri (l'unica specie osservata è stata *Evadne spinifera*) e larve meroplanctoniche (Fig. 2.4.1.3.5.).

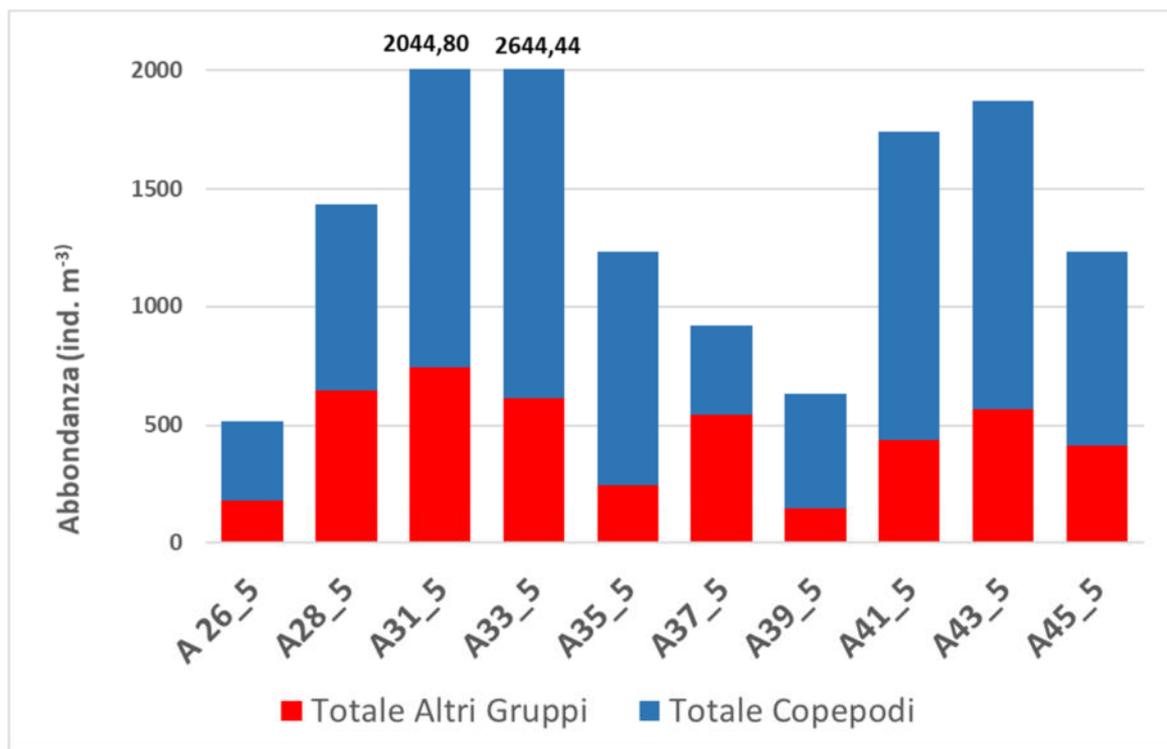


Figura 2.4.1.3.4. Abbondanza e composizione dello zooplancton alle stazioni considerate per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione.

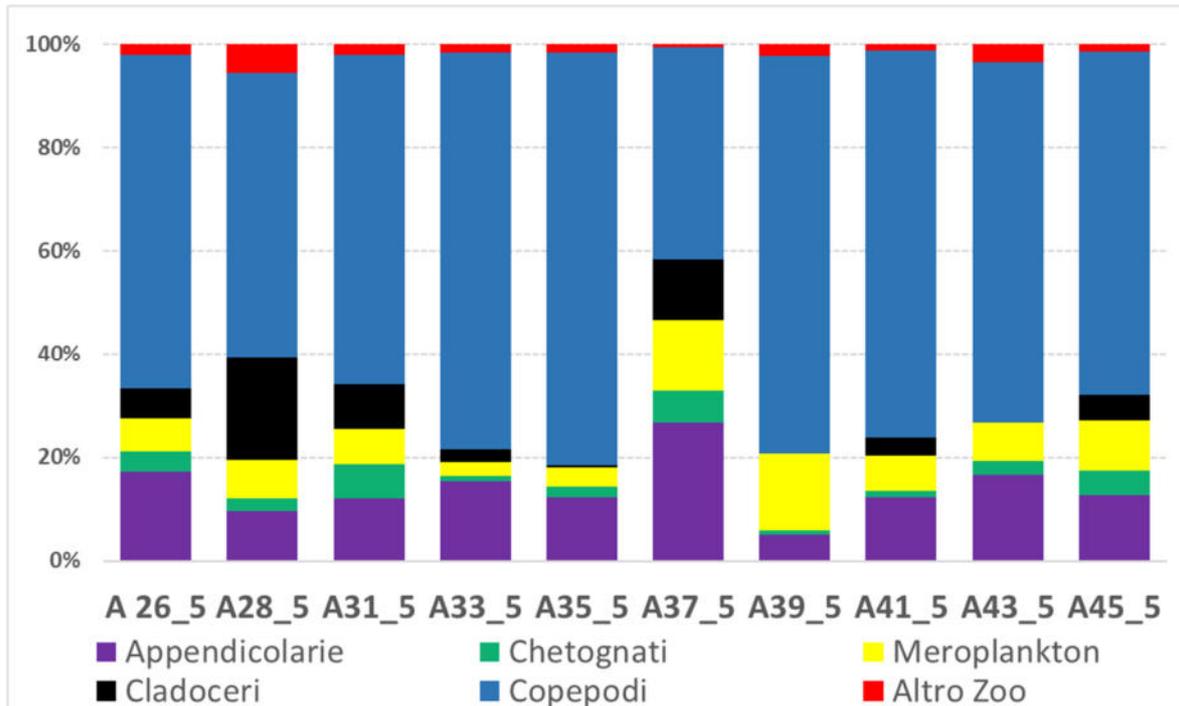


Figura 2.4.1.3.5. Composizione percentuale dei principali gruppi zooplanctonici alle stazioni considerate per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione.

2.5 Aree potenzialmente impattate dall'operazione di immersione

2.5.1 Indagini idrologiche

2.5.1.1 Parametri fisico-chimici (sonda multiparametrica)

Sono di seguito riportate, per la V campagna di monitoraggio, le aree potenzialmente impattate dall'operazione di trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati nel Porto commerciale di Salerno e nel Canale d'Ingresso, le sezioni verticali (superficie-fondo) di torbidità, temperatura, salinità, ph, ossigeno disciolto e fluorescenza e le relative mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza.

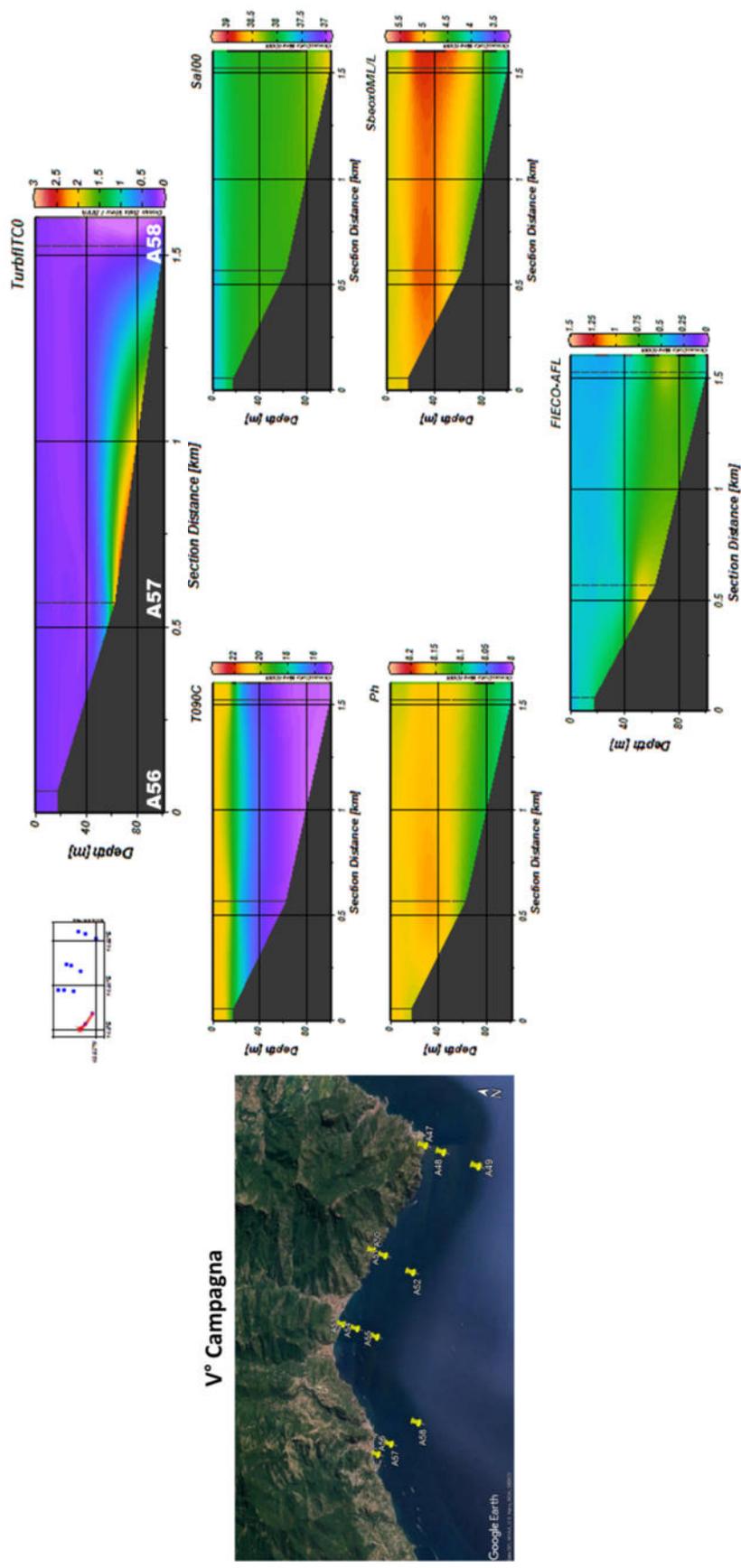


Figura 2.5.1.1.1.1. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A56, A57, A58).

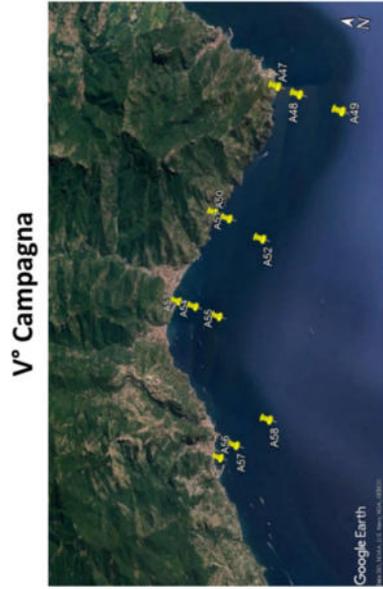
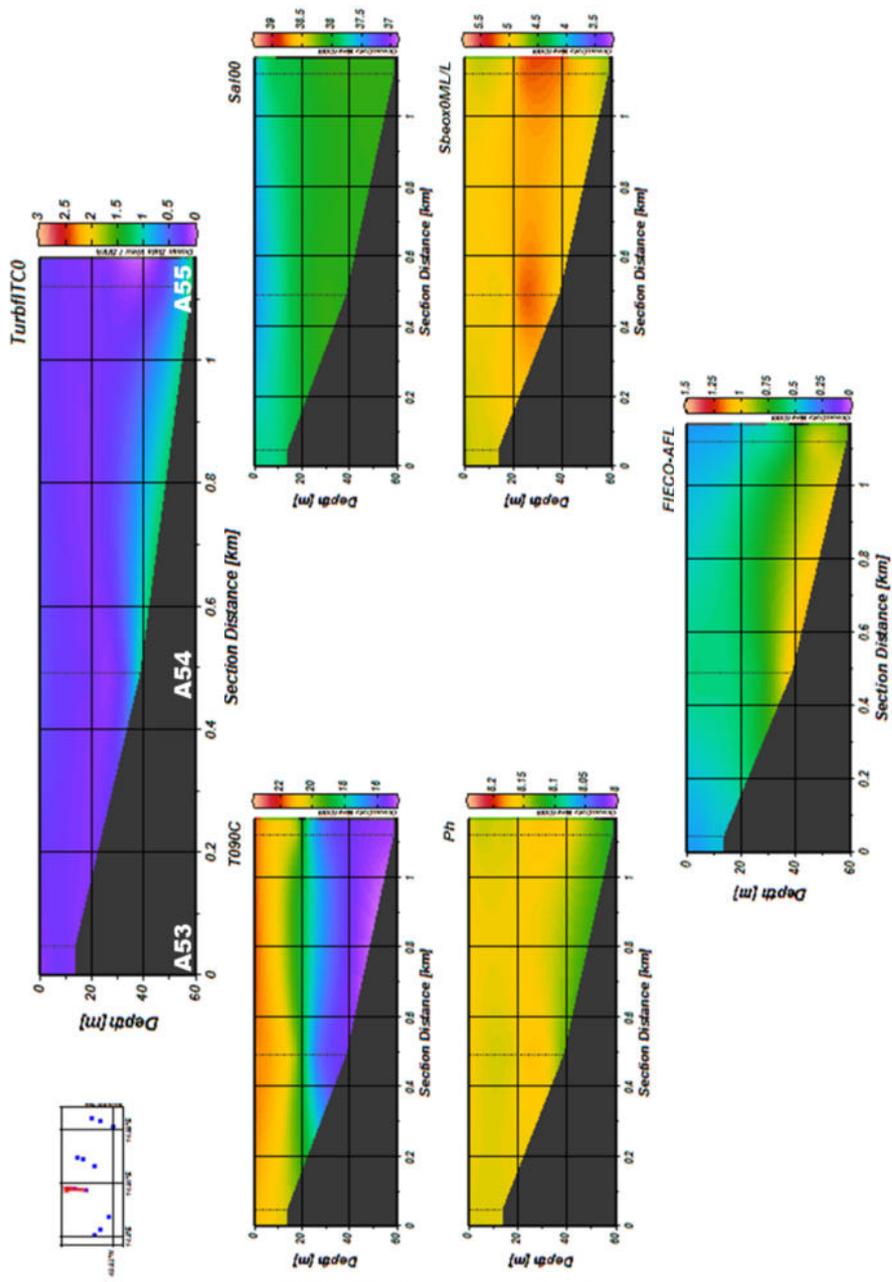


Figura 2.5.1.1.2. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A53, A54, A55).

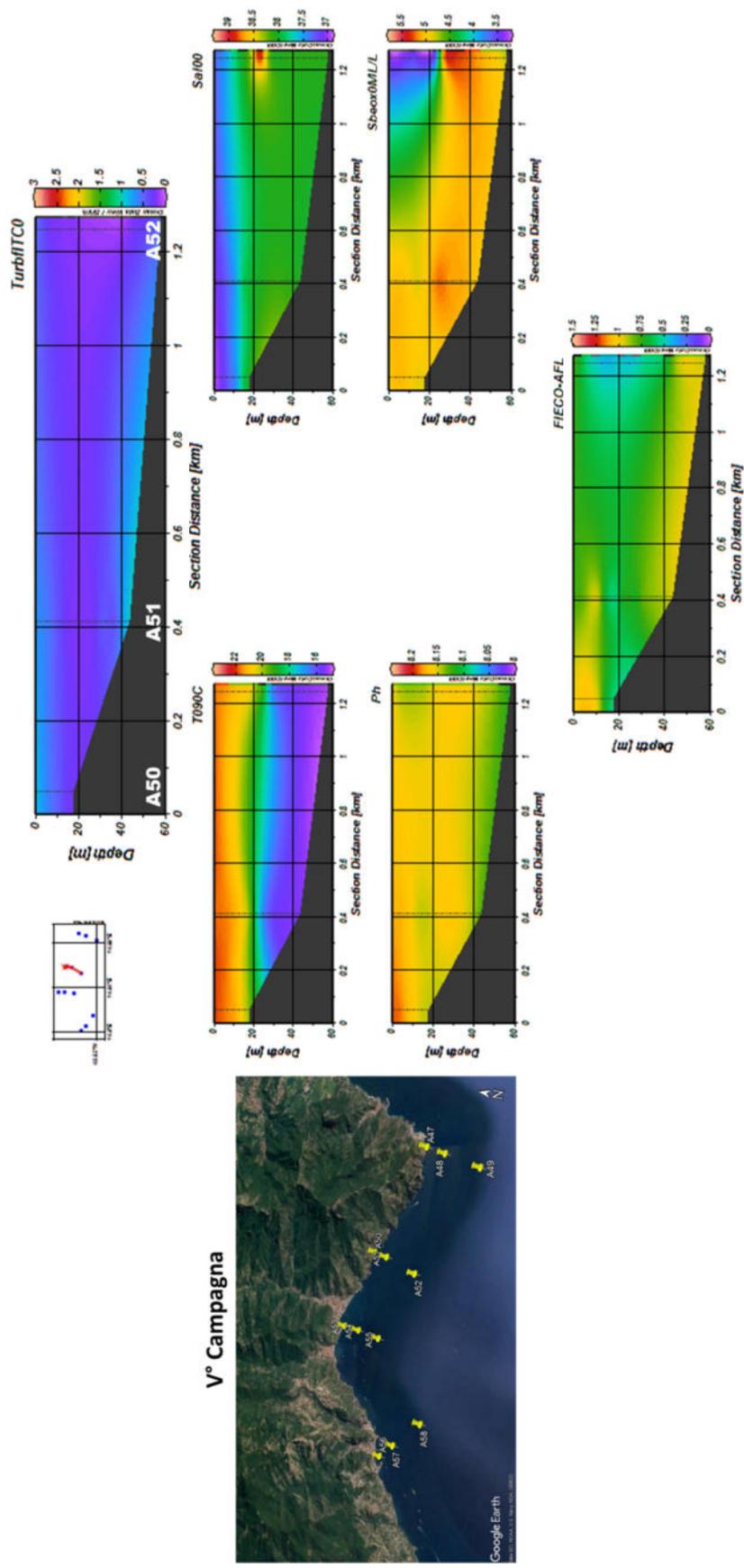


Figura 2.5.1.1.3. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A50, A51, A52).

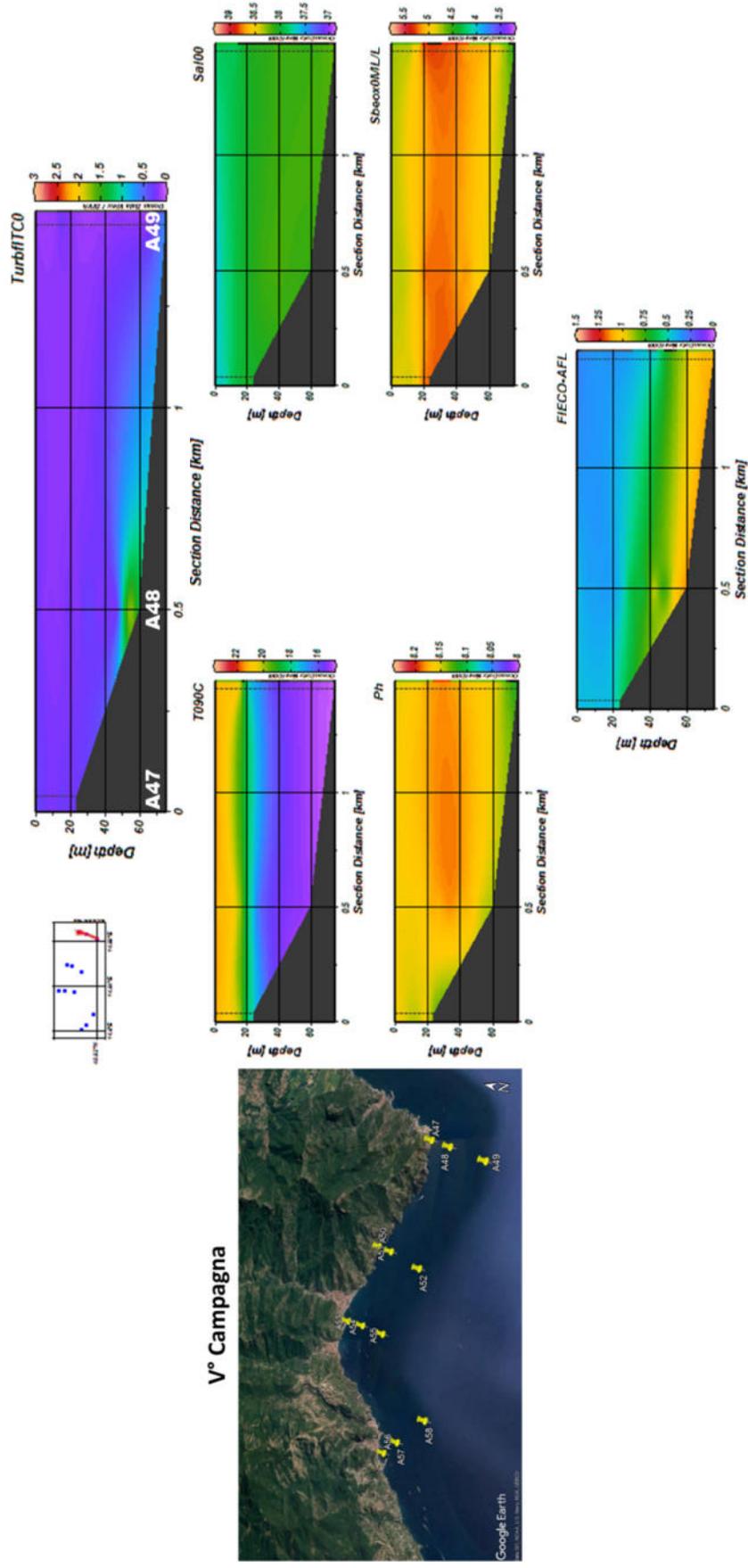


Figura 2.5.1.1.4. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A47, A48, A49).

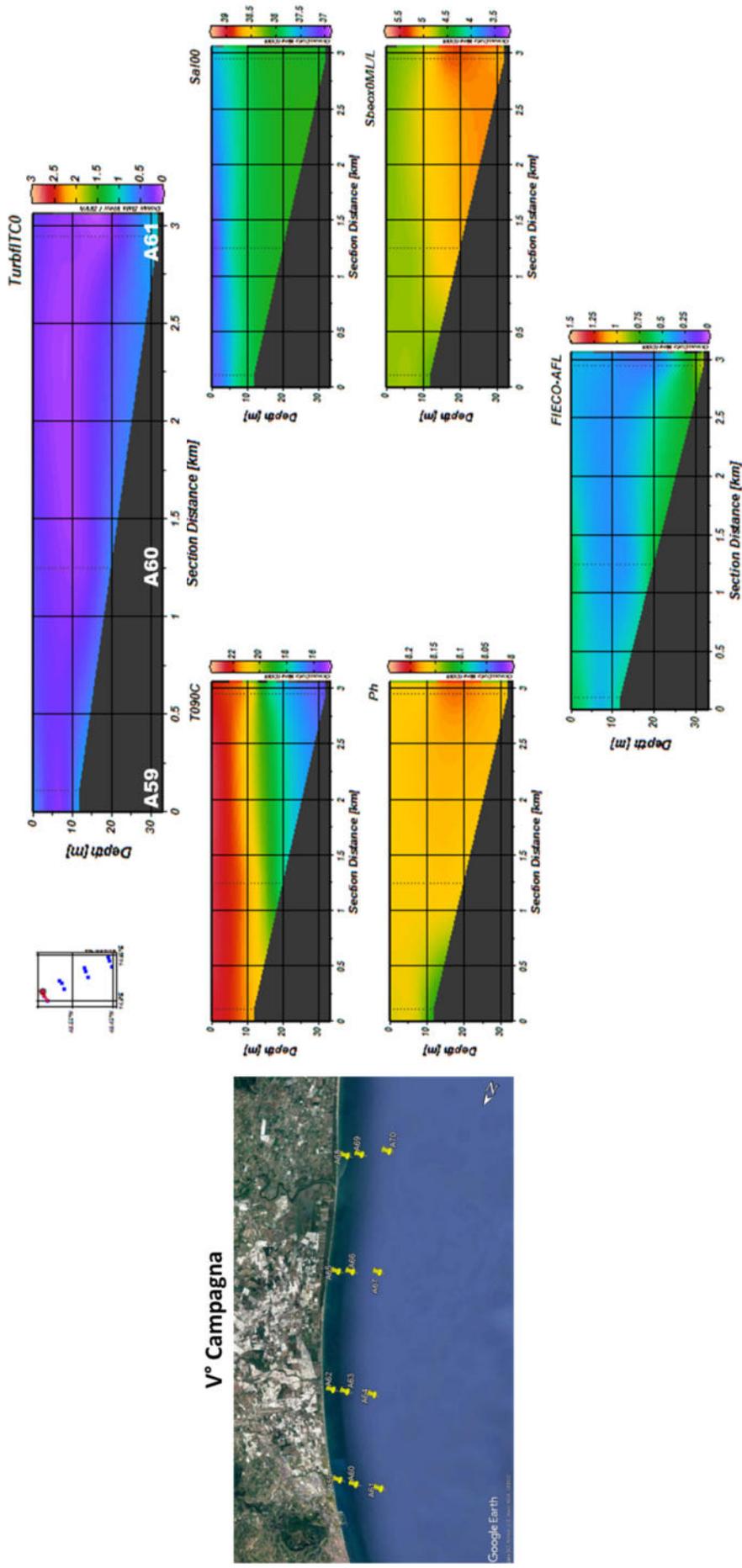


Figura 2.5.1.1.5. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A59, A60, A61).

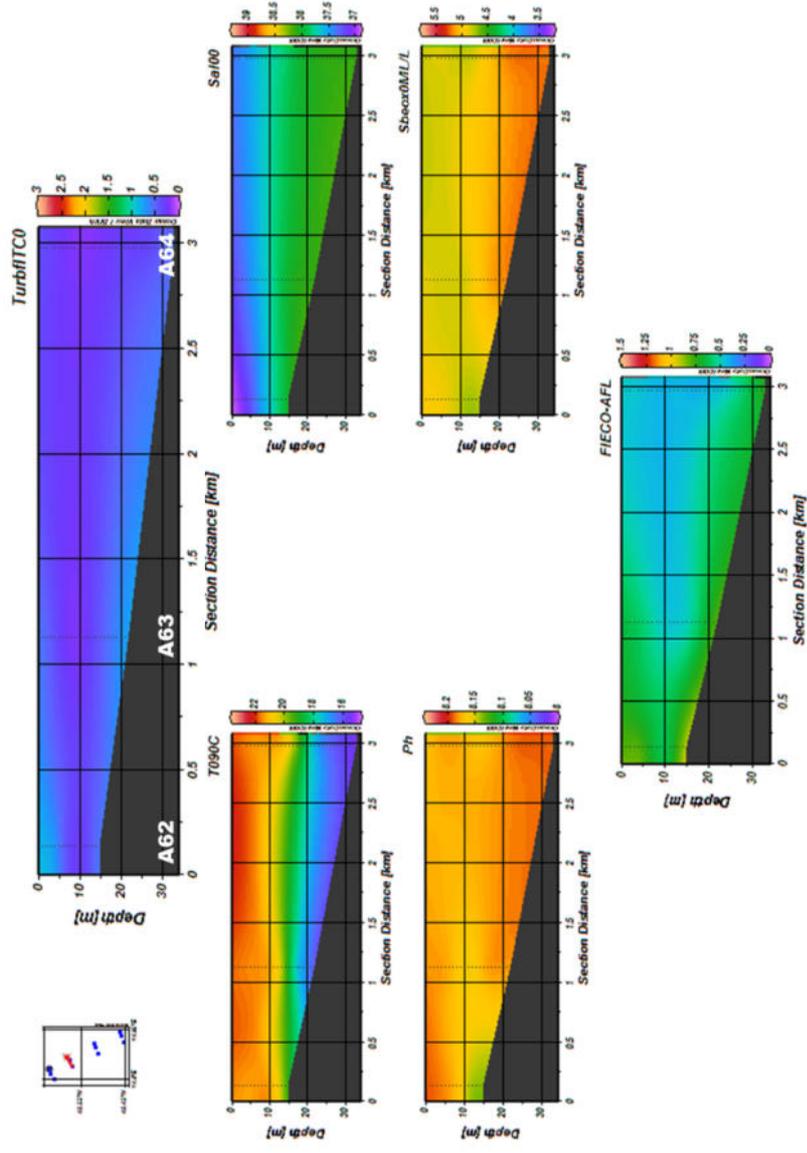


Figura 2.5.1.1.6. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A62, A63, A64).

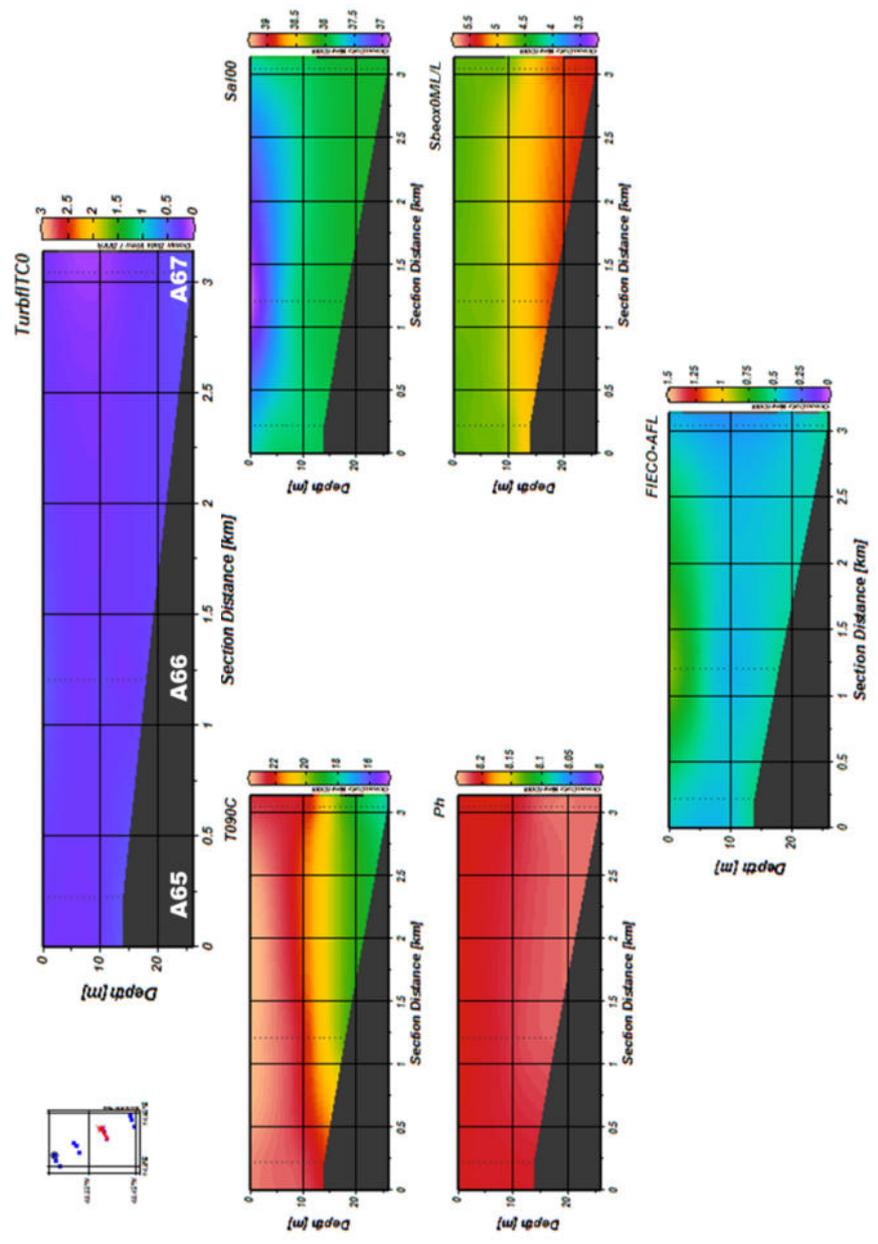


Figura 2.5.1.1.7. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A65, A66, A67).

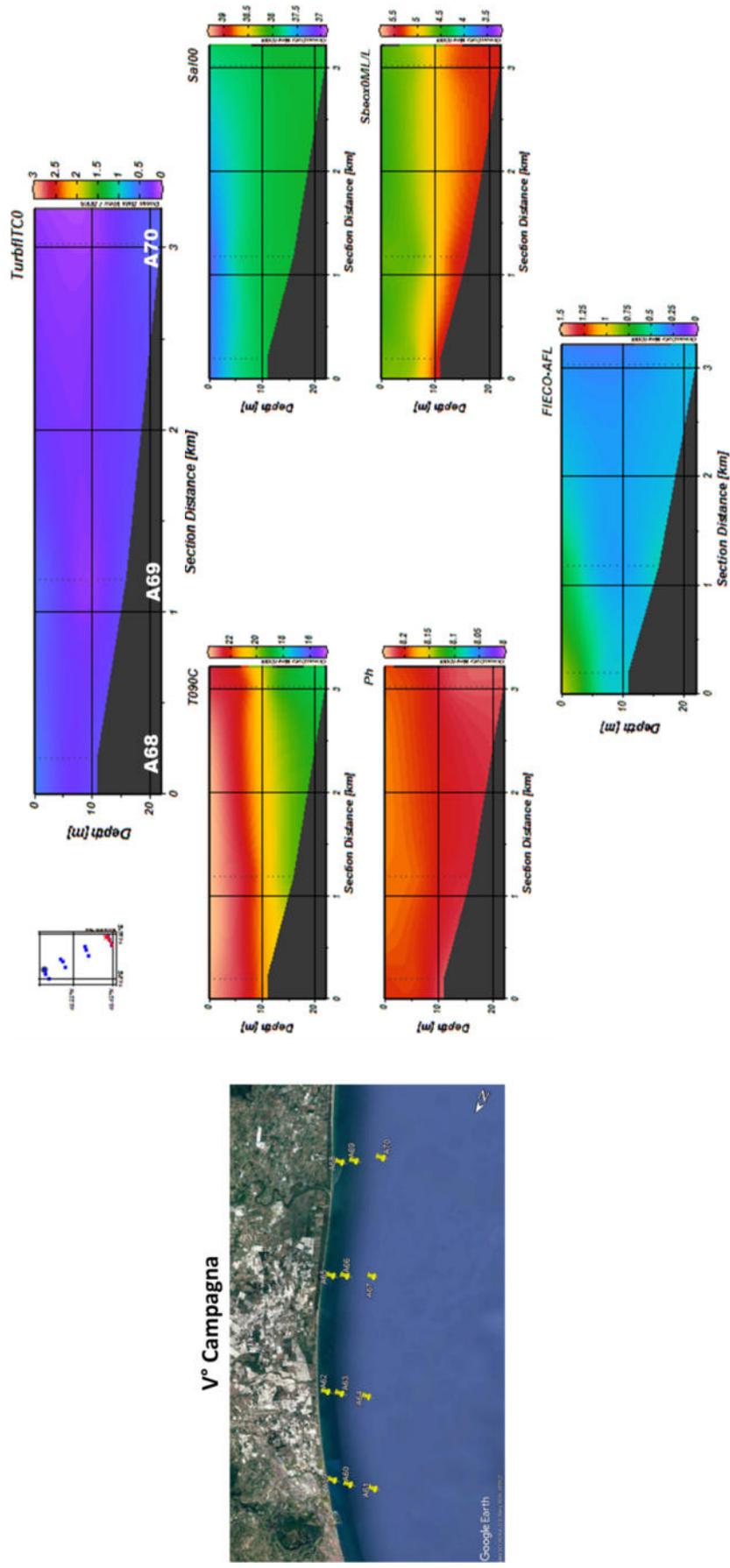


Figura 2.5.1.1.8. Sezioni verticali (superficie–fondo) di torbidità, temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza (stazioni A68, A69, A70).

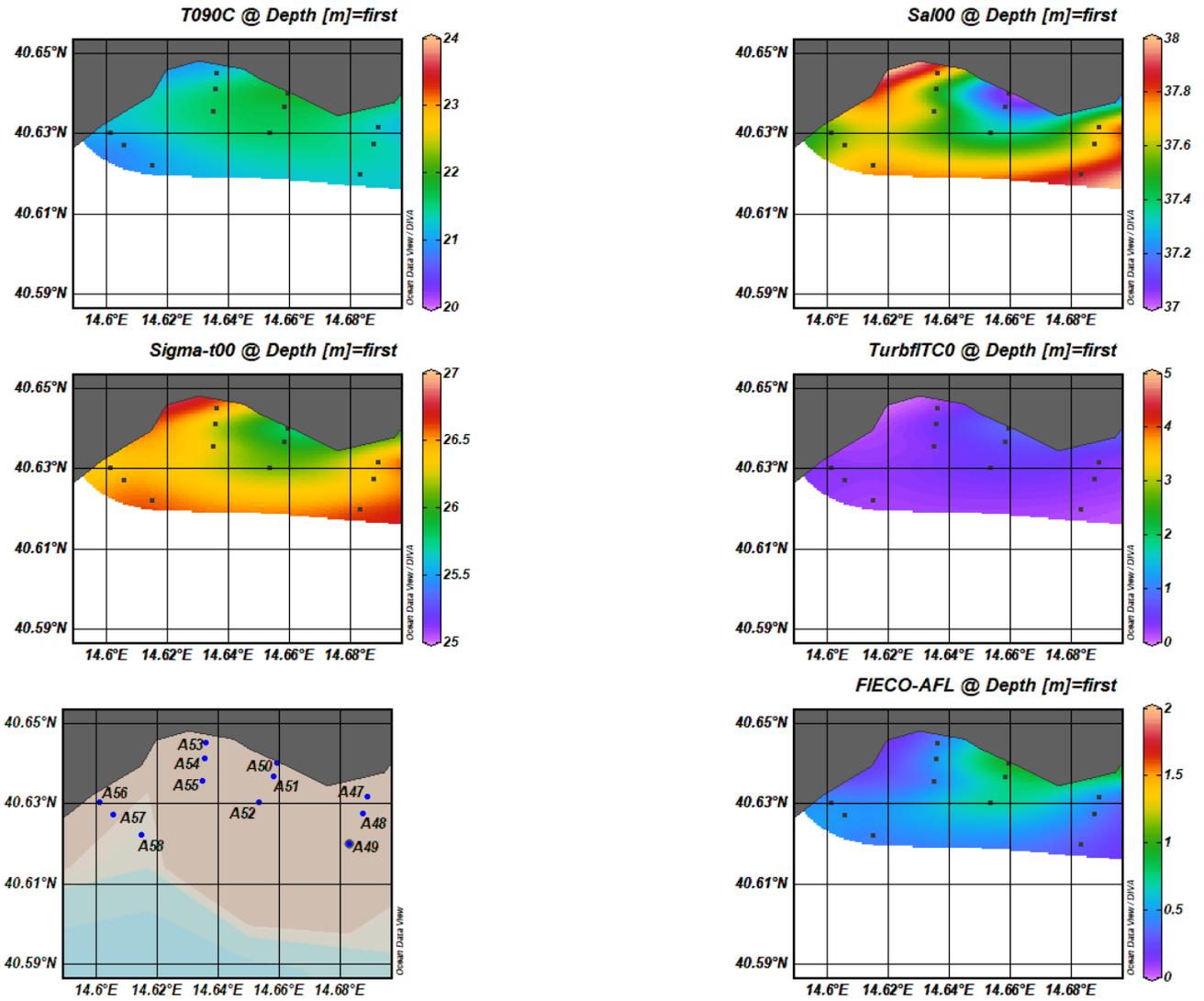


Figura 2.5.1.1.9. Mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza dalle stazioni A47 ad A58.

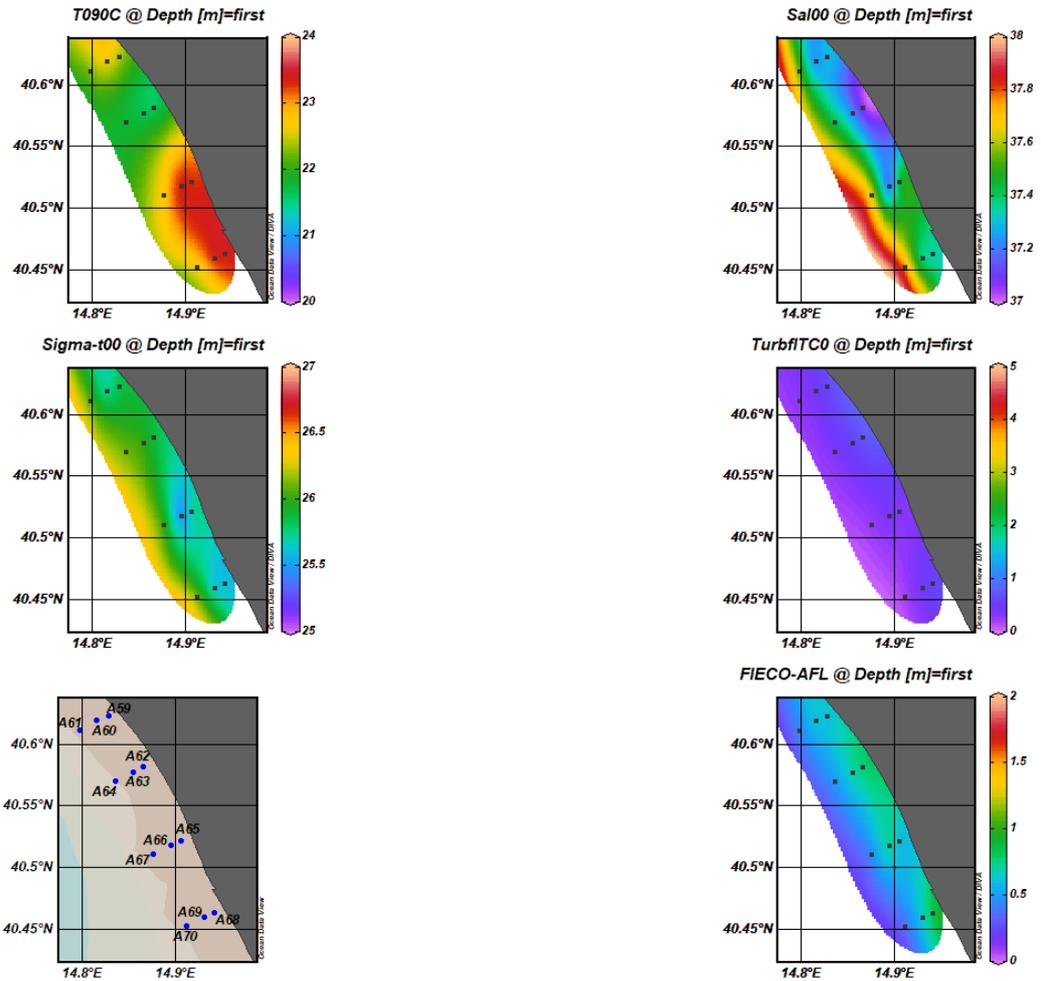


Figura 2.5.1.1.10. Mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza dalle stazioni A59 ad A70.

Per quanto riguarda la V Campagna inerente le aree potenzialmente impattate dall'operazione di trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati nel Porto commerciale di Salerno e nel Canale d'Ingresso, le sezioni verticali di temperatura (Figure 2.5.1.1.1 - 2.5.1.1.8), mostrano una situazione tipica di inizio estate con una stratificazione termica della colonna d'acqua in quasi tutti i transetti. In particolare, si osservano i valori superficiali più elevati in corrispondenza dei transetti A65-A67 e A68-A70. Andamento analogo si riscontra nel parametro Salinità, ad eccezione del transetto A47-A49 dove i valori di Salinità sono abbastanza omogenei lungo la colonna d'acqua. La Fluorescenza presenta valori superficiali più elevati nei transetti A52-A54, A62-A64, A65-A67, A68-A70 con un lieve gradiente costa largo; nei restanti transetti i valori massimi si registrano negli strati più profondi. Per la Torbidità si osservano valori abbastanza omogenei nella colonna d'acqua, nei transetti A47-A49, A53-A55 e A56-A58 si osserva un aumento dei valori negli strati più profondi. Il pH mostra un andamento in linea con le variazioni stagionali in quasi tutti i transetti, ad eccezione dei transetti A65-A67 e A68-A70 in cui si registrano i valori più elevati ed una distribuzione del parametro molto uniforme nella colonna d'acqua.

Le mappe superficiali di temperatura, salinità, densità, torbidità e fluorescenza relative alla V Campagna inerente le aree

potenzialmente impattate dall'operazione dal trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati nel Porto commerciale di Salerno e nel Canale d'Ingresso, mostrano un gradiente costa largo nelle stazioni da A47 ad A55. Nelle stazioni A59-A70 si osserva una distribuzione variabile per i parametri temperatura, salinità, densità, e fluorescenza, mentre la torbidità presenta valori poco elevati con un leggero gradiente costa largo in tutte le stazioni.

2.5.1.2 Caratterizzazione chimica

Nutrienti

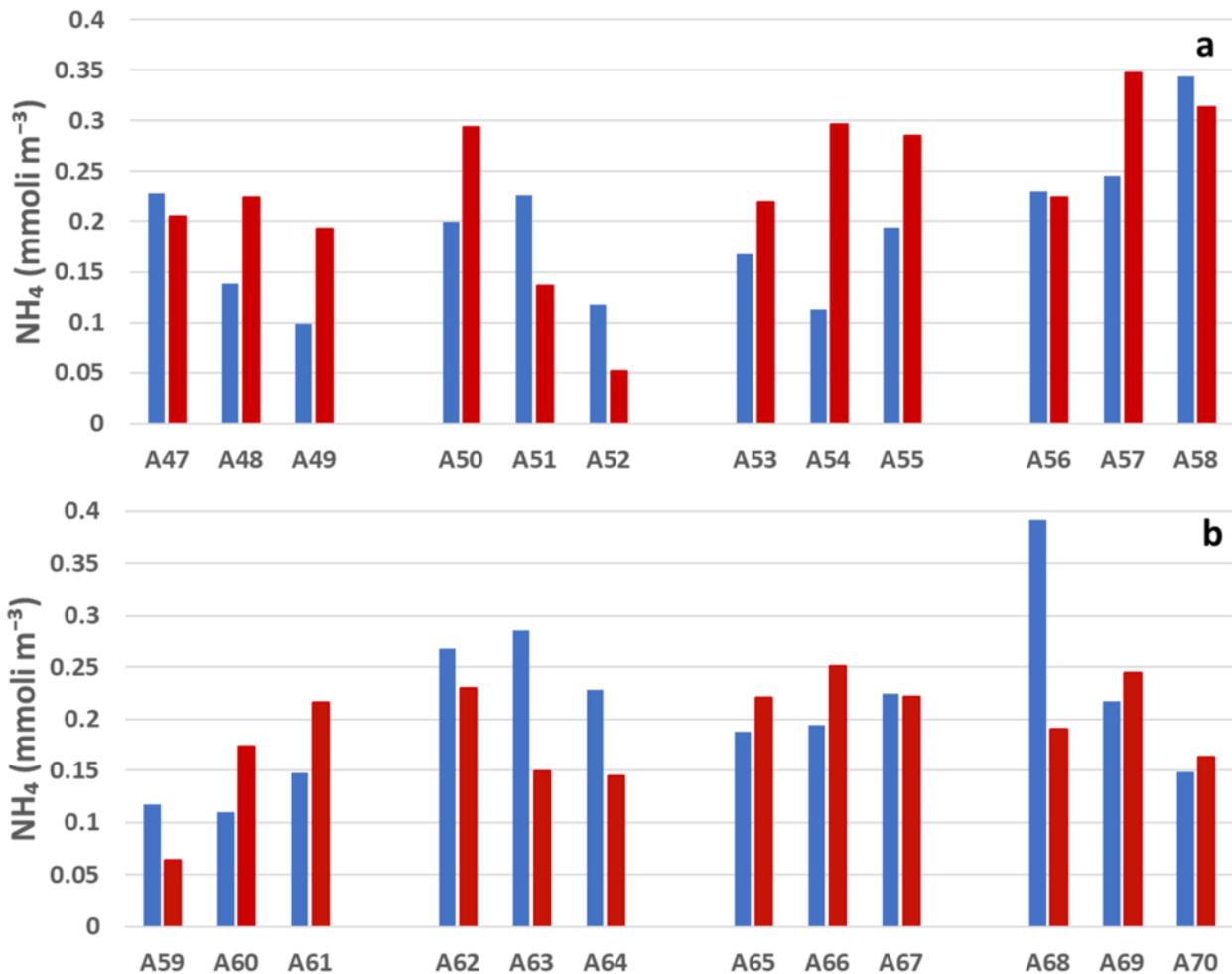


Figura 2.5.1.2.1. Concentrazioni di ammoniaca nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (■superficie e ■fondo) nelle stazioni a) A47-A58 e b) A59-A70).

La concentrazione di ammoniaca (Figura 2.5.1.2.1.) ha un *range* compreso tra 0.05 e 0.39 mmol m⁻³, il minimo è stato osservato in profondità alla stazione A52, situata nell'area ubicata in prossimità della Costiera Amalfitana e il massimo in superficie nella stazione A68, situata in prossimità della foce del Sele. Le concentrazioni medie nelle due sub-aree sono molto simili e sono rispettivamente 0.2 e 0.21 mmol m⁻³.

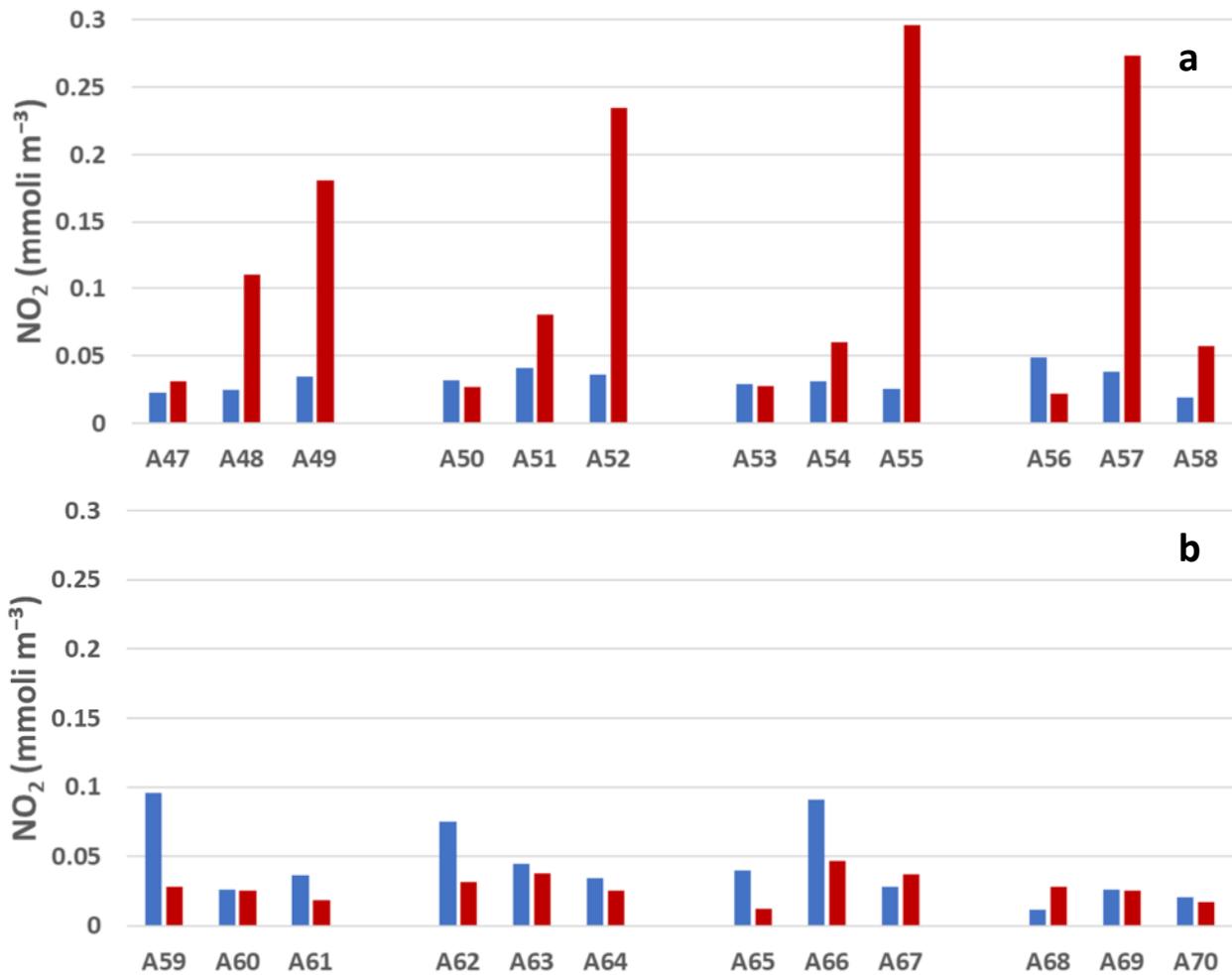


Figura 2.5.1.2.2. Concentrazioni di nitriti nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (*superficie e *fondo) nelle stazioni **a)** A47-A58 e **b)** A59-A70).

Le concentrazioni di nitriti (Figura 2.5.1.2.2.) variano nel *range* 0.01 e 0.30 mmol m⁻³. I valori più alti (>0.25 mmol m⁻³) si osservano in profondità nelle stazioni dell'area della Costiera Amalfitana. Nell'area antistante la piana alluvionale del Sele i valori più alti (~0.1 mmol m⁻³) si osservano in superficie. Le concentrazioni medie nelle due sub-aree sono rispettivamente 0.07 e 0.04 mmol m⁻³.

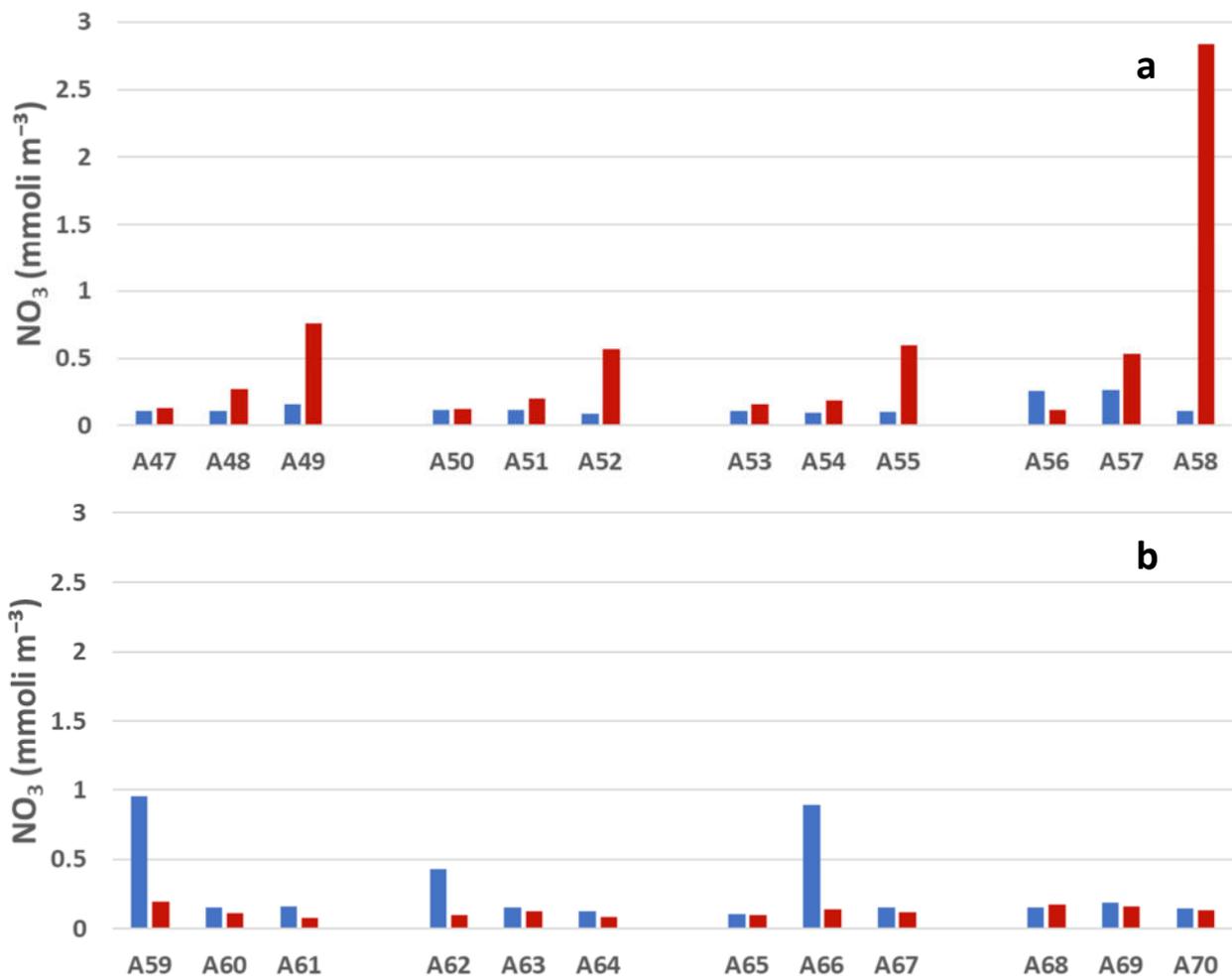


Figura 2.5.1.2.3. Concentrazioni di nitrati nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (*superficie e *fondo) nelle stazioni **a)** A47-A58 e **b)** A59-A70).

Le concentrazioni dei nitrati (Figura 2.5.1.2.3.) variano tra 0.07 e 2.84 mmol m⁻³ (0.07 - 2.84 mmol m⁻³ nell'area della Costiera Amalfitana e 0.08 - 0.95 mmol m⁻³ nell'area antistante la piana alluvionale del Sele).

La distribuzione verticale presenta differenza sostanziali: in profondità i valori più elevati si osservano nell'area della Costiera Amalfitana mentre in superficie le concentrazioni maggiori si registrano alle stazioni costiere dei transetti ubicati nell'area del Sele. Le concentrazioni medie nelle due sub-aree sono simili (0.31 e 0.20 mmol m⁻³) e risultano inferiori a quelle osservate nel monitoraggio *ante operam*.

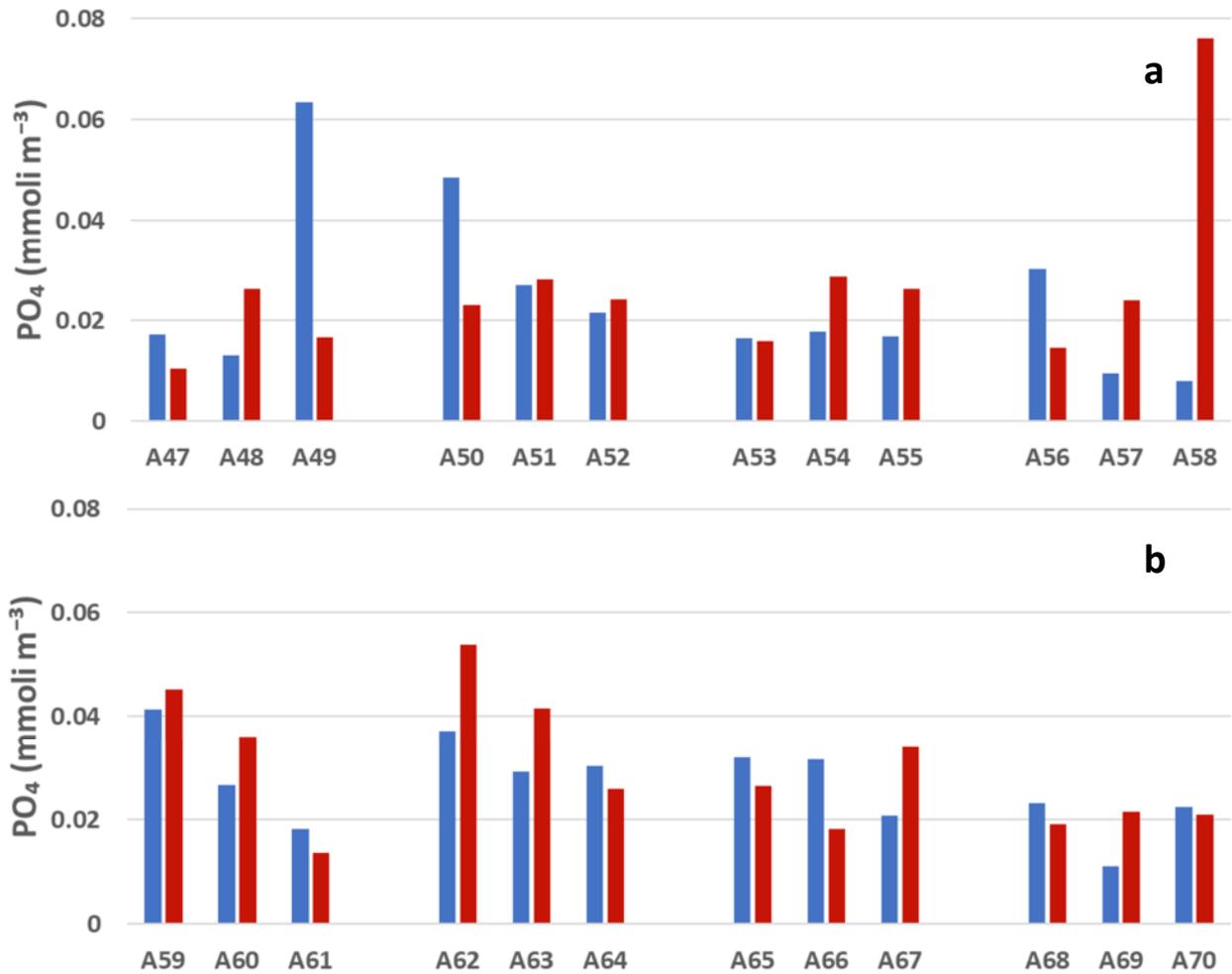


Figura 2.5.1.2.4. Concentrazioni dei fosfati nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (*superficie e ■fondo) nelle stazioni **a)** A47-A58 e **b)** A59-A70.)

Le concentrazioni dei fosfati (Figura 2.5.1.2.4.) sono comprese tra 0.01 e 0.08 mmol m⁻³. I valori più alti si osservano, sia in superficie sia in profondità, nelle stazioni dell'area della Costiera Amalfitana. Le concentrazioni medie nelle due sub-aree sono rispettivamente di 0.02 e 0.03 mmol m⁻³ e risultano uguali o inferiori a quelle del monitoraggio *ante operam* (rispettivamente 0.02 e 0.08 mmol m⁻³).

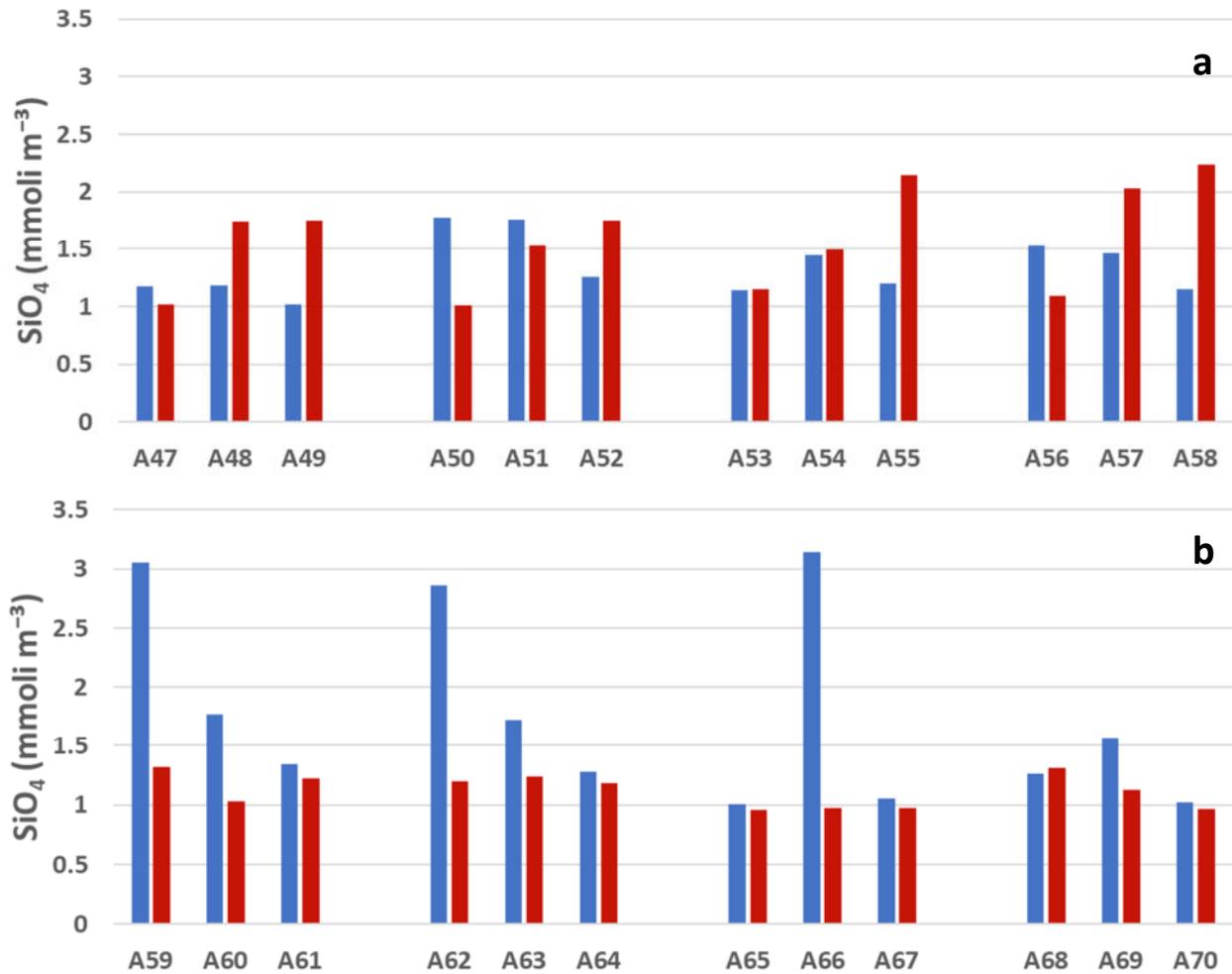


Figura 2.5.1.2.5. Concentrazioni dei silicati nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dall'operazione di immersione. (■superficie e ■fondo) nelle stazioni **a**) A47-A58 e **b**) A59-A70).

Le concentrazioni dei silicati (Figura 2.5.1.2.5.) sono comprese nell'intervallo 0.96 - 3.14 mmol m⁻³. Nell'area antistante la piana alluvionale del Sele in tre stazioni (A59, A62, A66) si osservano concentrazioni superficiali superiori a 2.8 mmol m⁻³, corrispondenti alle stazioni in cui si osservavano i massimi in superficie di nitriti e nitrati nella stessa area. Le concentrazioni medie risultano essere entrambe pari a 1.4 mmol m⁻³ (1.33 e 3.37 mmoli m⁻³ le concentrazioni medie osservate nelle due sub-aree nel corso del monitoraggio *ante operam*).

Tabella 2.5.1.2.1. Concentrazioni dei nutrienti inorganici nelle aree potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione.

Campione	Profondità (m)	NH ₄ (mmoli m ⁻³)	NO ₂ (mmoli m ⁻³)	NO ₃ (mmoli m ⁻³)	PO ₄ (mmoli m ⁻³)	SiO ₄ (mmoli m ⁻³)
A47_S	0	0.23	0.02	0.11	0.02	1.18
A47_F	2	0.21	0.03	0.13	0.01	1.02
A48_S	0	0.14	0.02	0.11	0.01	1.18
A48_10	10	0.26	0.03	0.10	0.01	1.01
A48_F	59.5	0.22	0.11	0.27	0.03	1.74
A49_S	0	0.10	0.03	0.16	0.06	1.01
A49_F	74,2	0.19	0.18	0.76	0.02	1.75
A50_S	0	0.20	0.03	0.12	0.05	1.77
A50_F	18	0.29	0.03	0.12	0.02	1.01
A51_S	0	0.23	0.04	0.11	0.03	1.76
A51_10	10	0.12	0.03	0.07	0.02	1.28
A51_F	43	0.14	0.08	0.20	0.03	1.53
A52_S	0	0.12	0.04	0.09	0.02	1.25
A52_F	57.6	0.05	0.23	0.57	0.02	1.75
A53_S	0	0.17	0.03	0.11	0.02	1.14
A53_F	13.3	0.22	0.03	0.16	0.02	1.15
A54_S	0	0.11	0.03	0.09	0.02	1.45
A54_10	10	0.18	0.03	0.18	0.02	1.37
A54_F	35.4	0.30	0.06	0.19	0.03	1.49
A55_S	0	0.19	0.03	0.10	0.02	1.20
A55_F	59	0.29	0.30	0.60	0.03	2.15
A56_S	0	0.23	0.05	0.26	0.03	1.53
A56_F	18	0.23	0.02	0.11	0.01	1.09
A57_S	0	0.25	0.04	0.26	0.01	1.47
A57_10	10	0.23	0.02	0.09	0.02	1.06
A57_F	61.8	0.35	0.27	0.53	0.02	2.03
A58_S	0	0.34	0.02	0.11	0.01	1.15
A58_F	100	0.31	0.06	2.84	0.08	2.23
A59_S	0	0.12	0.10	0.95	0.04	3.06
A59_F	10.4	0.06	0.03	0.19	0.05	1.32
A60_S	0	0.11	0.03	0.15	0.03	1.77
A60_10	10	0.18	0.03	0.30	0.04	1.03
A60_F	19.3	0.17	0.03	0.11	0.04	1.03
A61_S	0	0.15	0.04	0.16	0.02	1.34
A61_F	30	0.22	0.02	0.08	0.01	1.22
A62_S	0	0.27	0.08	0.43	0.04	2.86
A62_F	14	0.23	0.03	0.09	0.05	1.19
A63_S	0	0.29	0.04	0.15	0.03	1.72
A63_10	10	0.27	0.03	0.09	0.06	1.05
A63_F	21	0.15	0.04	0.12	0.04	1.24
A64_S	0	0.23	0.03	0.12	0.03	1.28
A64_F	32	0.14	0.03	0.09	0.03	1.18
A65_S	0	0.19	0.04	0.11	0.03	1.01
A65_F	12.5	0.22	0.01	0.10	0.03	0.96
A66_S	0	0.19	0.09	0.89	0.03	3.14
A66_10	10	0.26	0.02	0.10	0.03	0.99
A66_F	16	0.25	0.05	0.14	0.02	0.97

Solidi sospesi totali

Nell'area della Costiera Amalfitana (Stazioni A47-A58, Figura 2.5.1.2.10 a) le concentrazioni variano tra 0.67 e 3.00 g m^{-3} , la concentrazione media dell'area è 1.47 g m^{-3} . Nell'area in prossimità della piana alluvionale del Sele (Stazioni A59-A70, Figura 2.5.1.2.10 b) il TSS varia tra 0.67 e 3.47 g m^{-3} , con un valore medio pari a 1.63 g m^{-3} . In entrambe le aree non si osserva un chiaro gradiente costa largo.

Le concentrazioni medie osservate nel monitoraggio *ante operam* erano 0.53 g m^{-3} nell'area della Costiera Amalfitana e 4.82 g m^{-3} nell'area della piana alluvionale del Sele.

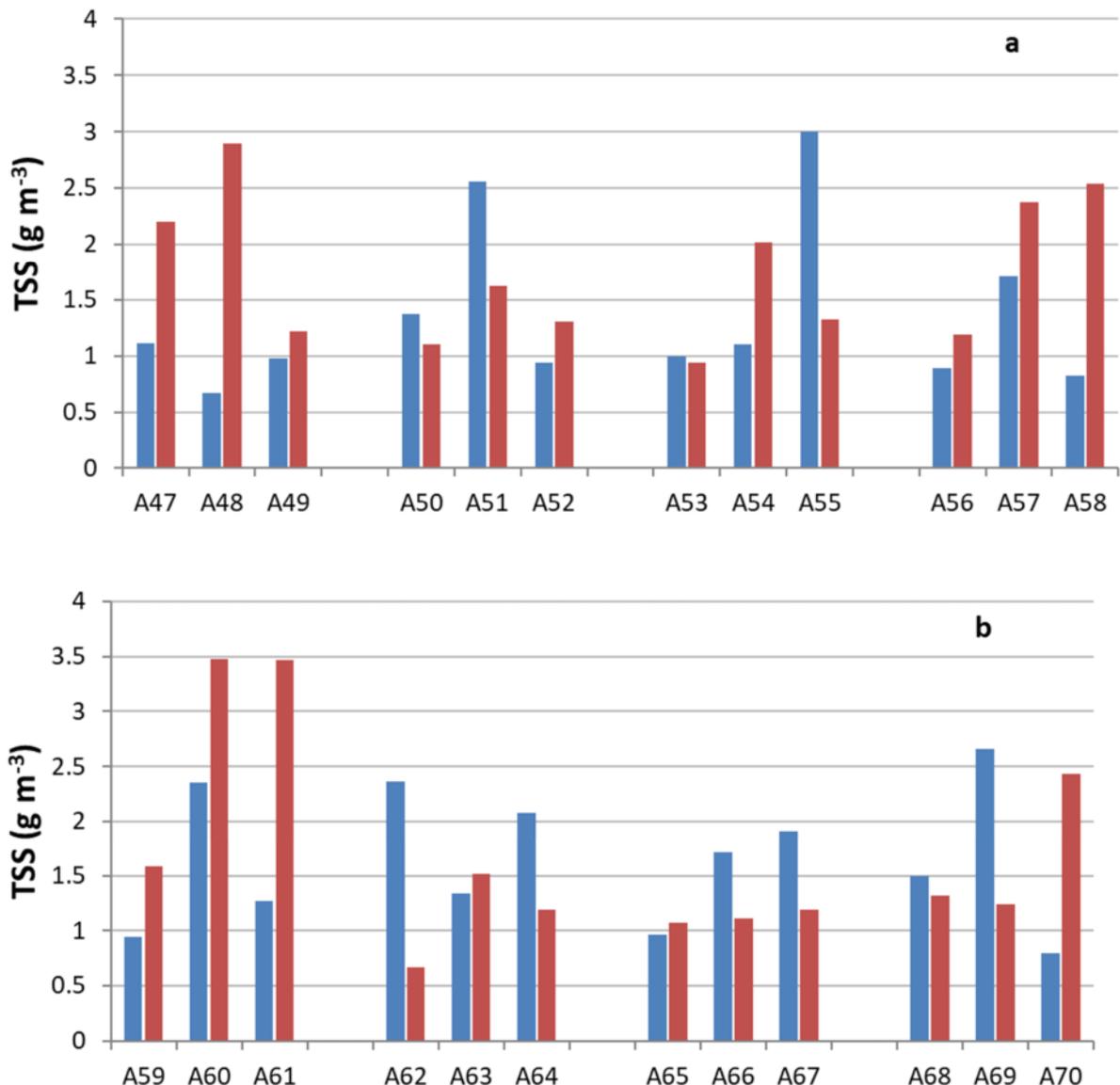


Figura 2.5.1.2.10. Concentrazioni dei solidi sospesi totali (TSS) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni dall'operazione di immersione. (*superficie e ■fondo) nelle stazioni **a)** A47-A58 e **b)** A59-A70).

Tabella 2.5.1.2.3. Concentrazioni dei solidi sospesi Totali (TSS) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni dall'operazione di immersione.

Campione	Profondità (m)	TSS (g m ⁻³)
A47_0	0	1.11
A47_F	2	2.20
A48_0	0	0.67
A48_10	10	0.69
A48_F	59.5	2.89
A49_0	0	0.97
A49_F	74.2	1.22
A50_0	0	1.37
A50_F	18	1.10
A51_0	0	2.56
A51_10	10	1.21
A51_F	43	1.62
A52_0	0	0.94
A52_F	57.6	1.31
A53_0	0	0.99
A53_F	13.3	0.94
A54_0	0	1.10
A54_10	10	1.75
A54_F	35.4	2.02
A55_0	0	3.00
A55_F	59	1.33
A56_0	0	0.89
A56_F	18	1.19
A57_0	0	1.71
A57_10	10	0.74
A57_F	61.8	2.38
A58_0	0	0.83
A58_100	100	2.54
A59_0	0	0.94
A59_F	10.4	1.59
A60_0	0	2.36
A60_10	10	2.44
A60_F	19.3	3.47
A61_0	0	1.27
A61_F	30	3.47
A62_0	0	2.36
A62_F	14	0.67
A63_0	0	1.34
A63_10	10	0.68
A63_F	21	1.51

A64_0	0	2.07
A64_F	32	1.19
A65_0	0	0.96
A65_F	12.5	1.08
A66_0	0	1.71
A66_10	10	0.86
A66_F	16	1.11
A67_0	0	1.91
A67_F	24	1.19
A68_0	0	1.50
A68_F	9.8	1.32
A69_0	0	2.66
A69_10	10	1.46
A69_F	14.8	1.24
A70_0	0	0.79
A70_F	20	2.43

2.5.1.3 Caratterizzazione biologica

Caratterizzazione delle comunità fitoplanctoniche

Le concentrazioni di biomassa fitoplanctonica (Chl *a*) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati nel Porto commerciale di Salerno e nel Canale d'Ingresso sono comprese tra 0.05 e 0.65 mg m⁻³. La concentrazione media nell'area è pari a 0.27 mg m⁻³, praticamente identica alla media osservata nel corso del monitoraggio *ante operam* (0.29 mg m⁻³). Non è possibile osservare un *pattern* di distribuzione verticale: in alcune stazioni è presente un massimo sub-superficiale mentre in altre il massimo si osserva in superficie (Figura 2.5.1.3.1). La distribuzione superficiale di Chl *a*, riportata in figura 2.5.1.3.2, non evidenzia le differenze significative tra le due aree.

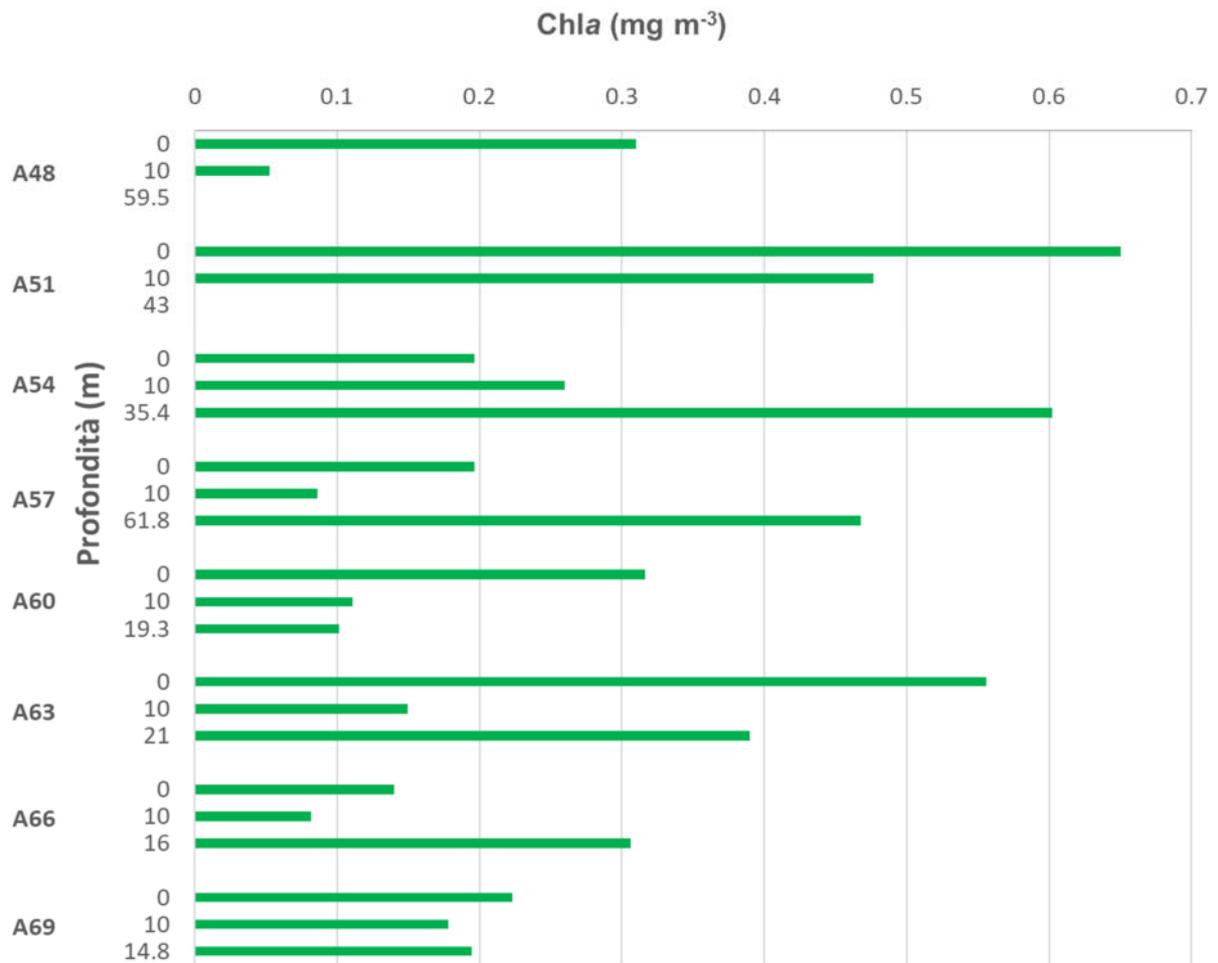


Figura 2.5.1.3.1. Distribuzione verticale della Chl *a* nelle aree potenzialmente impattate dall'operazione di immersione.

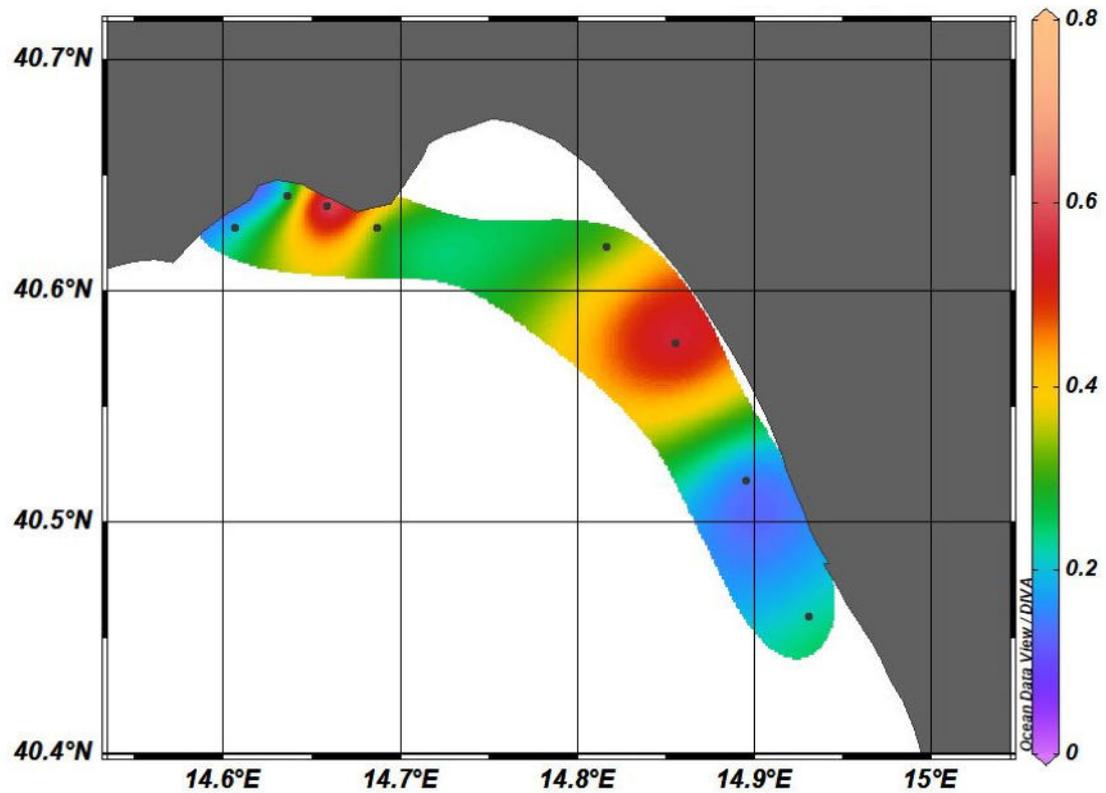


Figura 2.5.1.3.2. Distribuzione in superficie della Chl a (mg m^{-3}) nelle aree potenzialmente impattate dall'operazione di immersione.

Tabella 2.5.1.3.1. Concentrazioni di Chl a nell'area potenzialmente impattata dalle dall'operazione di immersione.

Campione	Profondità (m)	Chl a (mg m^{-3})
A48_S	0	0.31
A48_10	10	0.05
A51_S	0	0.65
A51_10	10	0.48
A54_0	0	0.20
A54_10	10	0.26
A54_F	35.4	0.60
A57_0	0	0.20
A57_10	10	0.09
A57_F	61.8	0.47
A60_0	0	0.32
A60_10	10	0.11
A60_F	19.3	0.10
A63_0	0	0.56
A63_10	10	0.15
A63_F	21	0.39
A66_0	0	0.14
A66_10	10	0.08
A66_F	16	0.31
A69_0	0	0.22
A69_10	10	0.18

A69_F	14.8	0.19
-------	------	------

La comunità fitoplanctonica osservata nel corso del monitoraggio in corso d'opera (V campagna, 28 maggio-19 giugno 2020) nell'area potenzialmente impattata dall'operazione di trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati nel Porto commerciale di Salerno e nel Canale d'Ingresso è caratterizzata da concentrazioni superficiali paragonabili in tutte le stazioni (abbondanza media sull'area: $3,3 \cdot 10^6$ cell. l⁻¹), con il valore massimo di abbondanza alla stazione A51 ($7,8 \cdot 10^6$ cell. l⁻¹) (Figura 2.5.1.3.1).

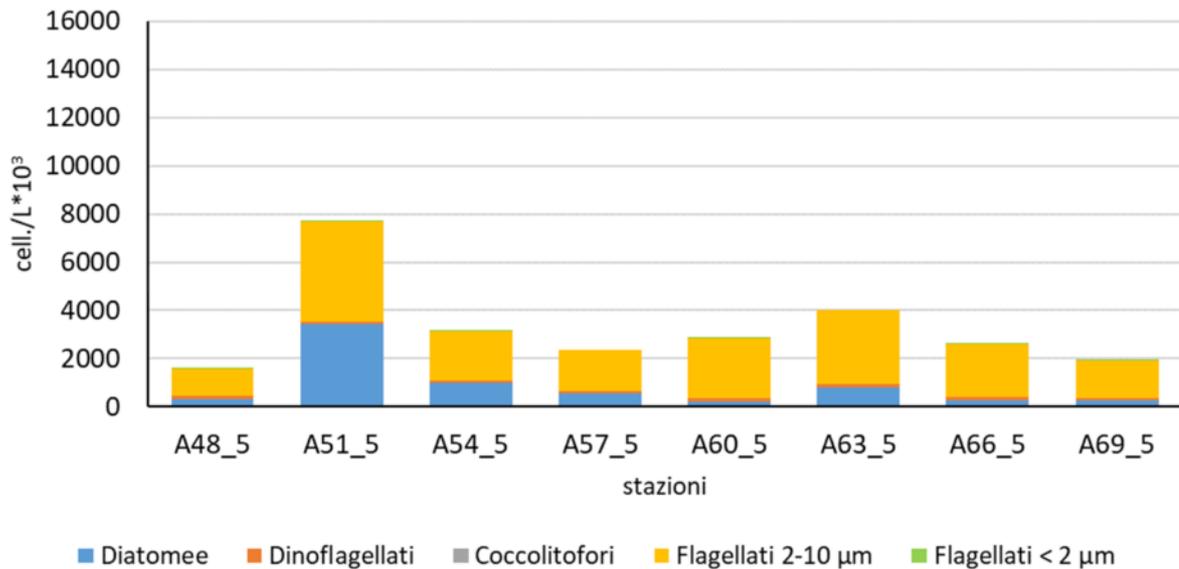


Figura 2.5.1.3.3. Abbondanze fitoplanctoniche nell'area potenzialmente impattata dalle dall'operazione di immersione. alla profondità di 0 m.

Anche in questa area la comunità fitoplanctonica è dominata da flagellati di piccole dimensioni che costituiscono in media il 73% dell'intero popolamento, seguiti dalle diatomee (media 21%) che hanno un'importanza maggiore alla stazione A51. Le specie di diatomee più rappresentate sono *Pseudo-nitzschia galaxiae*, *Leptocylindrus convexus* e *Chaetoceros tenuissimus*.

Comunità zooplanctoniche

Lo studio della comunità zooplanctonica nelle aree potenzialmente impattate dall'operazione di trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati nel Porto commerciale di Salerno e nel Canale d'Ingresso, nel corso della V° campagna (10-19 giugno 2020), presenta valori di abbondanza paragonabili tra le varie stazioni campionate, dalla punta di Capo d'Orso a Pastena Leone (stazioni A 48-51-54-57), con valori al di sotto dei 1000 individui per metro cubo (Fig. 2.5.1.3.4.). Il valore più alto di abbondanza (1517,7 ind.m⁻³) è stato osservato alla stazione A 54. Nell'area della zona della foce del Sele (stazione A 60-63-66-69) sono state osservate abbondanze più alte rispetto alle precedenti, con un picco di 2273,7 ind.m⁻³ nella stazione A 60, mentre il valore più basso tra queste stazioni è stato registrato nella stazione A 66 (687,5 ind.m⁻³). La comunità zooplanctonica presenta una dominanza di copepodi con poche specie dominanti (*Centropages typicus*, *Isias clavipes*, *Paracalanus parvus complex*) inoltre è stata osservata anche la presenza di piccoli copepodi ciclopoidi dei generi *Oithona* ed *Oncaea*. In tutte le stazioni della costa d'Amalfi i copepodi rappresentano il gruppo zooplanctonico dominante (Fig. 2.5.1.3.5.).

Nelle stazioni nell'area della foce del Sele, invece, solo la stazione A 60 presentava una composizione con una dominanza di copepodi (Fig. 2.5.1.3.5.), nelle altre il meroplancton, maggiormente costituito da larve di policheti, ofiuroidei, decapodi, ed eufasiacei ha presentato abbondanze di poco inferiori a quella dei copepodi (845,7 ind.m⁻³ contro 662,9 ind.m⁻³). Nelle altre stazioni, il contributo percentuale degli altri taxa è molto variabile, sebbene appendicolarie e cladoceri siano sempre presenti.

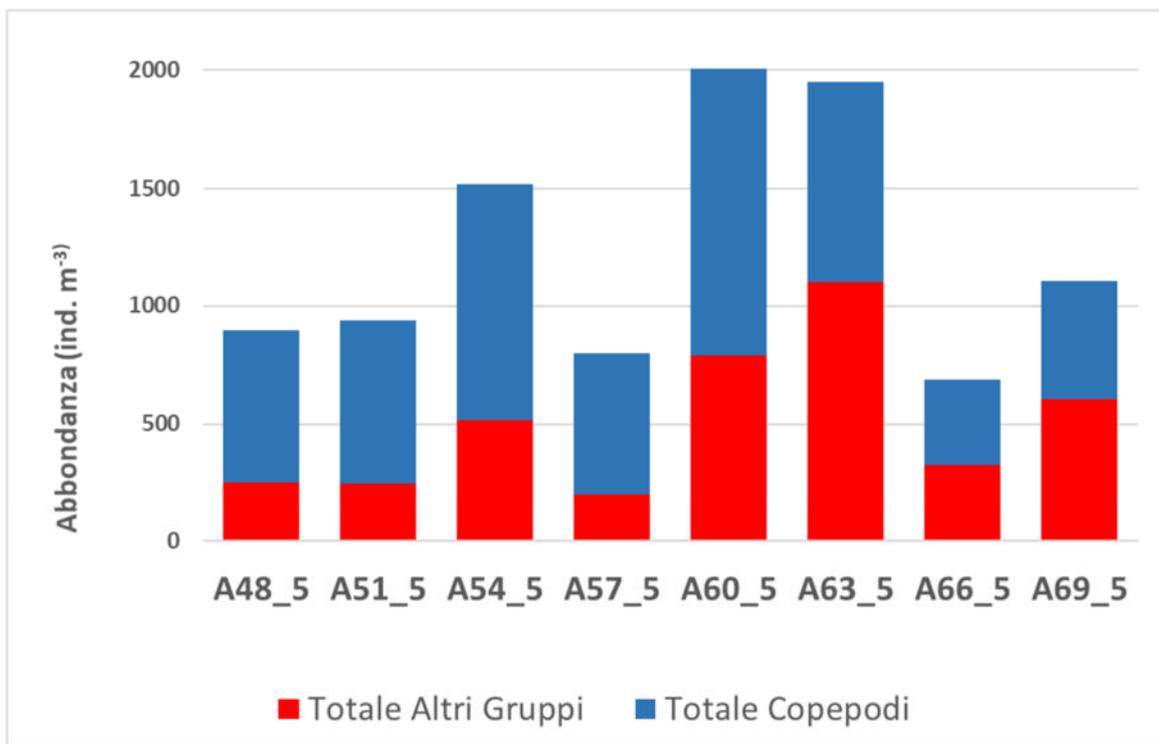


Figura 2.5.1.3.4. Abbondanza e composizione dello zooplancton alle stazioni potenzialmente impattate dall'operazione

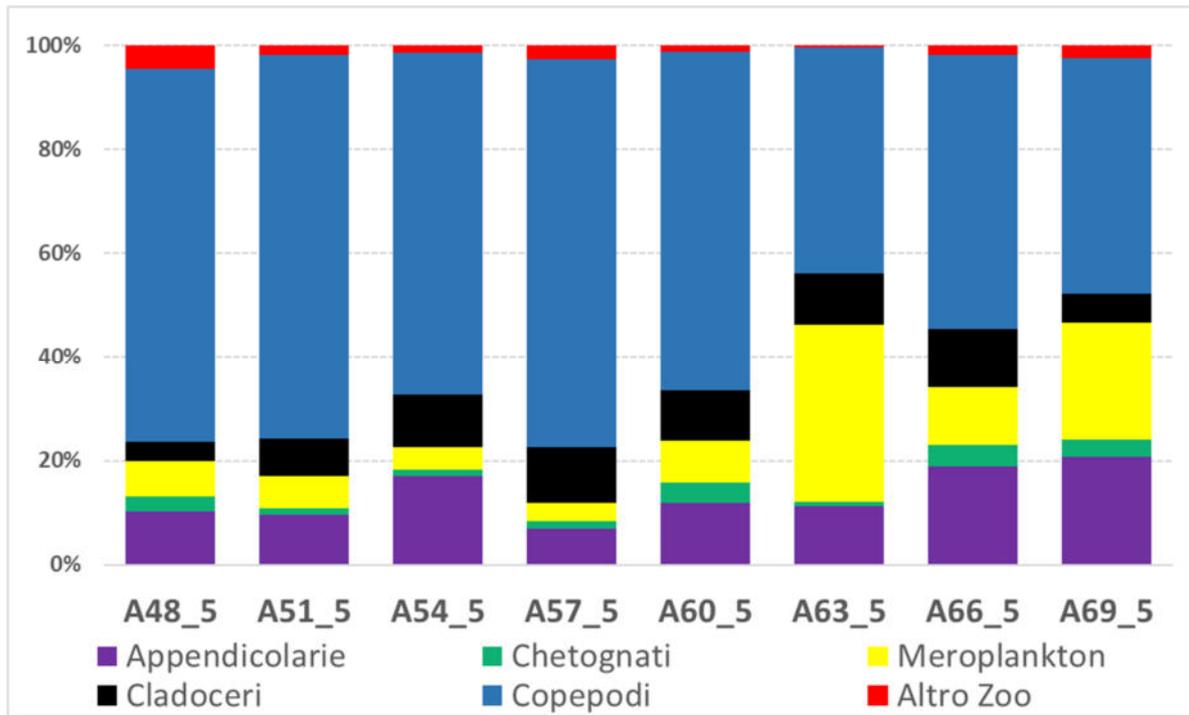


Figura 2.5.1.3.5. Composizione percentuale dei principali gruppi zooplanctonici alle stazioni potenzialmente impattate dall'operazione di immersione.

3 Risultati – Sedimenti

In questa sezione sono riportati i dati relativi non solo alle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione ma anche quelli relativi alle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e all'area di immersione dei sedimenti dragati.

3.1 Caratterizzazione fisica

I risultati relativi al contenuto d'acqua, e peso specifico sono riportati in Tabella 3.1.2. Il valore medio della percentuale del contenuto d'acqua dei sedimenti dell'area di immersione risulta pari a 40.1%. Per i campioni dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio la media percentuale di contenuto d'acqua è 22.2%, mentre per l'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione dei sedimenti dragati si evidenzia un valore medio di 28.5%. Il peso specifico dei campioni esaminati è risultato compreso tra 0.90 g/cm³ (A21) e 1.80 g/cm³ (A08). In generale, si evidenzia una minima variabilità dei parametri fisici tra i campioni delle tre aree che sono anche caratterizzate da una diversa composizione granulometrica. I valori risultano generalmente molto simili a quelli della campagna del 2018.

Tabella 3.1.2. Contenuto d'acqua espresso in percentuale e peso specifico (g/cm³).

Area	Codice campione	Contenuto d'acqua %	Peso specifico g/cm³
Area di immersione	A20	39.64	0.94
	A21	39.21	1.29
	A22	41.84	0.90
	A23	37.52	1.34
	A24	41.49	1.16
	A74	38.29	1.10
	A75	41.39	1.02
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A76	41.71	0.97
	A08 (50)	16.75	1.80
	A08 (100)	25.91	1.50
	A11 (50)	16.71	1.73
	A11 (100)	32.12	1.04
	A14 (50)	22.33	1.45
	A14 (100)	21.14	1.68
	A17 (50)	19.58	1.69
	A17 (100)	18.80	1.53
	A72 (50)	26.14	1.70
A72 (100)	22.42	1.51	
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	42.36	1.06
	A50	32.40	1.20
	A53	30.65	1.46
	A59	24.61	1.64
	A62	23.24	1.60
	A65	23.57	1.48
	A68	23.00	1.73

3.2 Caratterizzazione chimica

Materia organica totale, azoto totale e fosforo totale

I risultati relativi alla materia organica totale nei sedimenti, azoto totale e fosforo totale sono riportati in Tabella 3.2.1. Per quanto riguarda i risultati relativi al contenuto di materia organica totale, determinata mediante il metodo per calcinazione, le percentuali di contenuto organico, con una media di 3.7%, variano da un minimo di 0.3% per il campione A17 (50) dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio ad un massimo di 13.0% per il campione A76 dell'area di immersione.

Per quanto riguarda il contenuto di azoto totale, le concentrazioni variano tra circa 1.0 e 1.6 mg/g (ps) nei sedimenti dell'area di immersione, mentre oscillano tra circa 0.1 e 0.8 mg/g (ps) in quelli delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e tra circa 0.4 e 0.9 mg/g (ps) nei sedimenti provenienti dall'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione (Tabella 3.2.1). Per quanto concerne i livelli di fosforo totale, questi presentano valori inferiori a LOD (<0.002) ad eccezione dei campioni A08 (50) e A11 (100) rispettivamente con valori pari a 0.0300 mg/g (ps) e a 0.0069 mg/g (ps) (Tabella 3.2.1).

Tabella 3.2.1. Contenuto di materia organica totale espressi in percentuale, azoto totale e fosforo totale (mg/g).

Area	Codice campione	Materia organica totale %	N tot mg/g (ps) ⁽¹⁾	P tot mg/g (ps) ⁽¹⁾
Area di immersione	A20	6.36	1.55	< 0.002
	A21	5.43	1.23	< 0.002
	A22	6.89	1.56	< 0.002
	A23	5.36	1.56	< 0.002
	A24	3.64	1.56	< 0.002
	A74	6.08	1.02	< 0.002
	A75	6.42	1.17	< 0.002
	A76	13.00	1.12	< 0.002
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08 (50)	1.48	0.26	0.0300
	A08 (100)	3.37	0.14	< 0.002
	A11 (50)	1.07	0.74	< 0.002
	A11 (100)	4.56	0.35	0.0069
	A14 (50)	1.40	0.77	< 0.002
	A14 (100)	1.18	0.33	< 0.002
	A17 (50)	0.34	0.48	< 0.002
	A17 (100)	1.44	0.29	< 0.002
	A72 (50)	2.53	0.75	< 0.002
	A72 (100)	2.45	0.41	< 0.002
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	4.73	0.75	< 0.002
	A50	5.57	0.64	< 0.002
	A53	3.73	0.85	< 0.002
	A59	2.49	0.45	< 0.002
	A62	0.70	0.94	< 0.002
	A65	0.99	0.44	< 0.002
A68	0.81	0.49	< 0.002	

(1) Peso secco, riferito a sedimenti essiccati in stufa alla Temperatura di 55°C per 8 ore.

Analisi di metalli, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e contaminanti organici persistenti

I dati relativi alla caratterizzazione chimica (Tabelle 3.2.2-3.2.5, Figure 3.2.1-3.2.4) mostrano concentrazioni di metalli mediamente superiori ai campioni di sedimento prelevati dalle aree di immersione. Le concentrazioni sono comunque nella norma, con livelli bassi e nella maggior parte dei casi molto inferiori al limite L1 (DM 173/2016). Solo l'arsenico ha mostrato valori frequentemente maggiori rispetto a L1 e, nei campioni A24 e A75, superiori anche a L2; le concentrazioni nei sedimenti non raggiungono comunque i 30 µg/g (ps), e pertanto non destano particolare preoccupazione.

Per quanto riguarda lo stagno organico totale, per il quale la normativa contempla solamente un limite L2 pari a 0.072 µg/g (ps), alcuni campioni di sedimenti, tra cui A14 (0-50), A47, A50, A53, A59, A65 e A76, mostrano livelli maggiori, risultando piuttosto variabili in tutta l'area di studio. Per quanto riguarda il TBT, ovvero il composto di maggior interesse tossicologico, questo raramente supera il valore di L1 pari a 0.005 µg/g (ps).

Per quanto concerne gli idrocarburi alifatici (C10-C40) e quelli policiclici aromatici (IPA), le concentrazioni misurate sono risultate sempre basse in tutte i campioni ottenuti dall'area oggetto di studio, con valori molto al di sotto dei limiti di riferimento normativi.

Tra i pesticidi clorurati, nei siti dell'area di immersione e di quella potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione, si evidenzia la sporadica presenza di alcuni analiti tra cui Endrin, Methoxychlor e Mirex: le concentrazioni sono tuttavia generalmente molto basse, con l'eccezione dell'Eldrin che, nei campioni A21, A23, A50, A59, A62 e A74, mostra livelli addirittura maggiori rispetto al limite normativo L2.

Livelli misurabili di pesticidi organofosfati (Azinphos-methyl, Clorpyrifos, Disulfoton, Ethoprophos, Methyl paration, Metolcarb) sono stati osservati in alcuni dei campioni: questi composti non possiedono limiti di riferimento normativi, ma le concentrazioni, sempre inferiori a 5 ng/g (ps), possono essere considerate basse.

Tabella 3.2.2. Concentrazioni di metalli pesanti organostannici nei sedimenti. In evidenza i dati che risultano maggiori dei livelli L1 e L2, secondo la normativa vigente (DM 173/2016). A) Area di immersione; B) Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio; C) Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersioni a mare dei sedimenti dragati nel Porto Commerciale di Salerno e nel Canale d'ingresso.

. Classificazione del pericolo chimico dei sedimenti Classificazione del pericolo chimico dei sedimenti

	Area di immersione											L1	L2	
	A20	A21	A22	A23	A24	A74	A75	A76						
Metalli pesanti	3595	8421	8357	21457	9280	3685	9318	8755						
(µg/g p.s.)	13.46	16.04	19.18	15.82	23.35	14.39	27.63	15.62					12	20
As	0.0752	0.0786	0.0876	0.0768	0.0788	0.0886	0.0893	0.0900					0.3	0.8
Cd	5.073	12.799	13.298	9.554	12.651	6.548	15.757	16.234					50	150
Cr	11.36	35.78	26.96	35.03	29.93	12.37	33.55	39.13					40	52
Cu	12726	25003	26119	25586	23632	12983	35309	27037						
Fe	< 0.0005	0.0059	0.0119	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	0.0110	0.0163					0.3	0.8
Hg	391.8	500.3	1006.0	647.8	1815.0	563.2	642.4	642.1						
Mn	6.751	16.230	17.680	14.522	17.730	10.167	21.168	22.007					30	75
Ni	6.42	20.85	23.67	14.77	19.32	3.94	18.82	19.34					30	70
Pb	32.30	47.68	47.39	48.74	47.51	26.97	60.75	49.32						
V	30.32	70.89	79.31	51.53	69.51	35.28	70.86	83.98					100	150
Zn														
Composti organostannici	5.274	5.379	6.016	5.860	6.521	4.958	6.035	5.793						
(µg/g p.s.)	0.03978	0.02057	0.02160	0.04002	0.05220	0.05522	0.03430	0.27995						0.072
OSn	0.00165	0.00242	0.00553	0.01060	0.00401	0.00321	0.00333	0.00124					0.005	
TBT														

Tabella 3.2.2. Continua...

B)

Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio													L1	L2
	A08 (0-50)	A08 (50-100)	A11 (0-50)	A11 (50-100)	A14 (0-50)	A14 (50-100)	A17 (0-50)	A17 (50-100)	A72 (0-50)	A72 (50-100)	A72 (50-100)			
Metalli pesanti (µg/g p.s.)														
Al	3298	7594	6758	6676	3341	4164	3210	2094	3338	2595				
As	13.06	12.02	13.69	10.45	9.69	14.85	10.65	11.09	14.80	10.87		12	20	
Cd	0.0364	0.0532	0.0337	0.0695	0.0416	0.0383	0.0436	0.0470	0.0566	0.0668		0.3	0.8	
Cr	3.246	6.254	3.251	6.196	3.775	3.423	2.898	2.973	4.426	6.673		50	150	
Cu	10.16	23.17	9.51	19.62	10.96	8.59	10.50	4.20	10.97	10.07		40	52	
Fe	7718	10838	9366	13139	9404	10779	10484	8438	12458	11715				
Hg	<0.0005	0.0397	<0.0005	0.0273	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005		0.3	0.8	
Mn	119.7	138.7	161.4	289.6	289.0	327.9	320.1	348.6	322.6	533.2				
Ni	3.443	8.222	5.706	7.769	4.298	6.273	4.548	3.529	5.613	8.514		30	75	
Pb	23.35	18.51	6.64	15.86	5.68	6.56	4.59	2.87	6.06	5.88		30	70	
V	36.15	40.01	30.44	29.81	19.51	21.53	16.42	13.99	20.60	32.74				
Zn	19.93	42.13	21.01	43.51	23.57	25.77	22.97	20.09	34.65	36.93		100	150	
Composti organostannici (µg/g p.s.)														
Sn	3.689	3.700	4.102	5.916	4.579	4.733	3.691	3.667	4.679	3.107				
OSn	0.04832	0.04043	0.14837	0.04498	0.18006	0.01396	0.06237	0.00810	0.00870	0.05347			0.072	
TBT	0.00301	0.00204	0.00138	0.00213	0.00279	0.01249	0.00160	0.00125	0.00295	0.00220		0.005		

Tabella 3.2.2. Continua...

c)

	Area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersioni										L1	L2	
	A47	A50	A53	A59	A62	A65	A68						
Metalli pesanti (µg/g p.s.)	7433	5872	12723	8497	7170	2588	4284						
Al	16.07	10.44	8.71	15.37	12.77	10.36	10.66					12	20
As	0.1068	0.1226	0.0532	0.1195	0.1021	0.0847	0.0796					0.3	0.8
Cd	7.901	8.866	3.176	11.791	11.916	6.785	5.890					50	150
Cr	28.26	34.20	21.21	31.60	32.21	18.58	13.11					40	52
Cu	15311	19420	12703	22190	23854	18336	13201						
Fe	0.0101	0.0231	< 0.0005	0.0093	0.0341	< 0.0005	< 0.0005					0.3	0.8
Hg	207.5	416.9	263.3	615.6	598.0	784.4	728.4						
Mn	8.432	9.463	4.303	15.153	14.216	9.528	8.902					30	75
Ni	17.05	18.66	13.56	15.95	14.24	6.58	4.54					30	70
Pb	42.88	38.65	26.20	42.47	39.90	18.64	16.77						
V	50.53	56.06	36.91	66.72	60.73	45.87	38.32					100	150
Zn													
Composti organostannici (µg/g p.s.)	4.557	5.647	6.253	6.601	6.482	6.960	3.520						
OSn	0.11040	0.10969	0.08788	0.19950	0.02412	0.69117	0.03079						0.072
TBT	0.00146	0.00198	0.01374	0.00268	0.00256	0.00248	0.01550					0.005	

Tabella 3.2.3. Concentrazioni di idrocarburi alifatici nei sedimenti. In evidenza i dati che risultano maggiori dei livelli L1 e L2, secondo la normativa vigente (DM 173/2016). A) Area di immersione; B) Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio; C) Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersioni a mare dei sedimenti dragati nel Porto Commerciale di Salerno e nel Canale d'ingresso.

A)

	Area di immersione											L1	L2
	A20	A21	A22	A23	A24	A74	A75	A76					
Idrocarburi alifatici (C10-C40)	< 0.01	< 0.01	0.052	< 0.01	0.050	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
(µg/g p.s.)	0.288	0.360	0.252	0.242	0.377	0.284	0.382	0.208					
>C10-C12	0.483	0.338	0.680	0.450	0.502	0.287	0.364	0.294					
>C12-C14	4.589	2.478	4.309	3.892	4.114	3.348	2.605	2.990					
>C14-C16	6.585	4.143	7.111	6.590	5.287	5.812	4.482	5.092					
>C16-C18	8.968	6.074	9.491	5.998	6.250	8.693	4.966	7.982					
>C18-C20	1.286	0.978	2.503	1.556	1.621	1.619	1.496	2.175					
>C20-C22	1.711	1.279	1.952	1.618	1.613	0.728	1.213	1.581					
>C22-C24	0.520	0.863	0.782	0.982	0.531	0.678	0.386	0.679					
>C24-C26	0.487	0.358	0.854	0.524	0.946	0.676	0.806	0.445					
>C26-C28	3.107	2.232	2.479	3.135	5.013	3.478	1.379	3.571					
>C28-C30	0.520	0.332	0.434	1.263	1.077	0.648	0.187	0.478					
>C30-C32	2.571	1.682	2.210	2.526	2.412	2.670	1.846	1.944					
>C32-C34	1.013	0.815	0.625	1.079	1.210	0.909	0.933	0.853					
>C34-C36	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01					
>C36-C38	32.127	21.930	33.733	29.856	31.003	29.831	21.046	28.292					
>C38-C40													
Idrocarburi Totali (C12-C40)													50

Tabella 3.2.3. Continua...

B)

	Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio										L1	L2	
	A08 (0-50)	A08 (50-100)	A11 (0-50)	A11 (50-100)	A14 (0-50)	A14 (50-100)	A17 (0-50)	A17 (50-100)	A72 (0-50)	A72 (50-100)			
Idrocarburi alifatici (C10-C40) (µg/g p.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
>C10-C12	0.943	0.208	0.213	0.183	0.313	0.496	0.319	0.219	0.456	0.177			
>C12-C14	0.547	0.420	0.267	0.268	0.321	< 0.01	0.382	0.565	0.824	0.330			
>C14-C16	3.693	2.559	1.754	2.974	2.802	3.866	3.512	3.132	3.061	2.658			
>C16-C18	4.720	4.012	2.953	3.954	4.158	5.559	3.409	4.957	4.589	3.903			
>C18-C20	4.586	5.857	3.321	5.997	4.103	6.099	3.718	6.248	3.852	5.181			
>C20-C22	1.438	0.821	0.701	0.794	1.107	2.121	0.828	1.179	1.146	1.618			
>C22-C24	0.902	1.323	0.589	0.662	0.874	1.355	1.066	0.814	1.312	0.718			
>C24-C26	0.554	0.408	0.448	0.497	0.587	0.895	0.408	0.496	0.770	0.633			
>C26-C28	0.748	0.265	0.278	0.371	0.393	0.535	0.357	0.502	0.425	0.224			
>C28-C30	1.402	0.788	0.659	1.463	0.711	4.639	1.512	0.776	1.099	1.152			
>C30-C32	0.177	0.268	0.177	0.239	0.226	1.309	0.333	0.377	0.430	0.248			
>C32-C34	1.555	1.282	0.847	1.346	1.189	2.511	1.186	1.502	1.464	1.119			
>C34-C36	0.622	0.726	0.390	0.507	0.534	1.603	0.545	0.615	0.936	0.399			
>C36-C38	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01			
>C38-C40	21.888	18.938	12.596	19.254	17.317	30.988	17.576	21.411	20.363	18.360			50
Idrocarburi Totali (C12-C40)													

Tabella 3.2.3. Continua...

c)

	Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersioni										L1	L2
	A47	A50	A53	A59	A62	A65	A68					
Idrocarburi alifatici (C10-C40)	<0.01	0.039	<0.01	<0.01	1.910	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
(µg/g p.s.)	3.465	0.211	0.375	0.214	0.252	0.159	0.192					
>C10-C12	8.210	0.357	0.519	0.483	1.325	0.325	0.639					
>C12-C14	3.166	2.399	2.818	5.002	5.023	3.186	3.092					
>C14-C16	7.996	3.761	4.470	5.754	5.445	4.428	4.110					
>C16-C18	1.800	5.647	6.297	7.742	4.468	3.547	5.967					
>C18-C20	1.197	1.121	1.125	1.124	1.047	1.983	1.317					
>C20-C22	1.384	0.966	0.708	1.516	1.068	1.285	0.866					
>C22-C24	1.609	0.498	0.475	1.073	0.289	0.280	0.572					
>C24-C26	2.428	0.358	0.217	0.643	0.570	0.465	0.745					
>C26-C28	0.566	2.001	1.515	3.390	2.994	1.007	1.364					
>C28-C30	2.406	0.414	0.400	0.589	0.693	0.383	0.167					
>C30-C32	2.380	1.111	2.021	2.343	2.447	2.210	1.351					
>C32-C34	<0.01	0.741	1.017	0.921	1.659	0.835	0.516					
>C34-C36	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01					
>C36-C38	36.606	19.624	21.957	30.793	29.189	20.094	20.899					
>C38-C40												
Idrocarburi Totali (C12-C40)												50

Tabella 3.2.4. Concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nei sedimenti. In evidenza i dati che risultano maggiori dei livelli L1 e L2, secondo la normativa vigente (DM 173/2016). A) Area di immersione; B) Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio; C) Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione a mare dei sedimenti dragati nel Porto Commerciale di Salerno e nel Canale d'ingresso.

	Area di immersione											L1	L2
	A20	A21	A22	A23	A24	A74	A75	A76					
Idrocarburi policiclici aromatici (ng/g p.s.)	16.727	16.192	15.590	19.933	15.237	17.085	20.354	20.612				35	391
Naftalene	< 0.05	11.804	< 0.05	13.206	< 0.05	13.565	12.145	< 0.05					
Acenaftilene	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1					
1-Metilnaftalene	64.729	8.798	8.508	308.720	7.191	7.735	8.565	8.887					
2-Metilnaftalene	< 0.01	0.586	0.731	< 0.01	0.628	0.497	0.736	0.684					
Acenaftene	0.517	0.830	0.884	< 0.01	0.680	0.773	0.808	0.863			21	144	
Fluorene	4.400	4.254	4.668	5.737	3.899	4.083	4.533	4.527			87	544	
Fenantrene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.030	0.018	0.040			24	245	
Antracene	1.446	0.651	1.155	1.869	0.945	1.402	0.609	1.707			110	1494	
Fluorantene	0.195	0.212	0.110	0.247	0.064	0.134	0.169	0.110			153	1398	
Pirene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01			75	500	
Benzo(a)antracene	< 0.01	0.123	< 0.01	< 0.01	0.019	0.044	0.107	0.018			108	846	
Crisene	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05					
7,12-Dimetilbenzo(a)antracene	0.497	0.559	0.190	0.741	0.216	0.192	1.163	0.100			40	500	
Benzo(b)fluorantene	0.175	0.253	0.078	0.178	0.074	0.066	0.331	0.053			20	500	
Benzo(k)fluorantene	0.067	0.112	0.041	0.056	0.034	< 0.001	0.103	< 0.001			30	100	
Benzo(a)pirene	< 0.001	0.193	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001			n/a	n/a	
Dibenzo(ah)antracene	0.131	0.166	0.098	0.125	0.074	0.093	0.185	0.086			55	100	
Benzo(ghi)perilene	< 0.05	0.161	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.132	< 0.05			70	100	
Indeno(123cd)pirene	86.373	42.464	30.382	347.597	27.635	43.769	47.159	35.613					
IPA basso PM	2.510	2.430	1.671	3.216	1.427	1.931	2.799	2.075					
IPA alto PM	88.883	44.894	32.053	350.812	29.061	45.701	49.958	37.688			900	4000	
ΣIPA 16													

Tabella 3.2.4. Continua...

B)

		Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio											L1	L2
		A08 (0-50)	A08 (50-100)	A11 (0-50)	A11 (50-100)	A14 (0-50)	A14 (50-100)	A17 (0-50)	A17 (50-100)	A72 (0-50)	A72 (50-100)			
Idrocarburi policiclici aromatici (ng/g p.s.)	Naftalene	7.531	17.738	7.909	19.672	12.978	10.078	7.448	9.503	15.060	9.345	35	391	
	Acenaftilene	< 0.05	< 0.05	6.733	< 0.05	7.094	5.716	< 0.05	8.772	5.400				
	1-Metilnaftalene	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1			
	2-Metilnaftalene	5.136	6.953	5.263	19.151	5.219	93.645	4.959	5.184	7.118	5.134			
	Acenaftene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.479	0.448	0.492	0.461			
	Fluorene	0.565	0.563	0.574	0.497	0.651	0.241	0.511	0.470	0.883	0.411	21	144	
	Fenantrene	2.099	2.555	2.170	3.237	2.105	3.181	1.818	2.471	2.461	2.407	87	544	
	Antracene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.013	< 0.01	24	245	
	Fluorantene	0.121	2.888	0.253	0.573	0.682	0.530	0.346	0.514	0.600	0.415	110	1494	
	Pirene	0.062	1.051	0.039	0.514	0.188	0.177	0.057	0.033	0.184	0.148	153	1398	
	Benzo(a)antracene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	75	500	
	Crisene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.108	0.201	0.063	0.040	0.135	0.080	108	846	
	7,12-Dimetilbenzo(a)antracene	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05			
	Benzo(b)fluorantene	0.217	2.100	0.073	1.057	0.168	0.734	0.392	0.244	0.547	0.846	40	500	
	Benzo(k)fluorantene	0.156	1.603	0.050	0.545	0.265	0.484	0.182	0.199	0.321	0.375	20	500	
	Benzo(a)pirene	0.079	1.046	0.038	0.297	0.170	0.287	0.103	0.091	0.222	0.143	30	100	
	Dibenzo(ah)antracene	< 0.001	0.436	< 0.001	0.219	0.155	0.152	0.107	< 0.001	0.186	0.089	n/a	n/a	
	Benzo(ghi)perilene	0.072	1.043	0.055	0.340	0.065	0.284	0.062	0.060	0.078	0.092	55	100	
	Indeno(123cd)pirene	< 0.05	0.974	< 0.05	0.309	< 0.05	0.162	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	70	100	
	IPA basso PM	15.330	27.808	22.649	42.557	20.953	114.238	20.930	18.077	34.799	23.157			
	IPA alto PM	0.707	11.140	0.509	3.855	1.802	3.012	1.311	1.181	2.273	2.188			
	ΣIPA 16	16.037	38.949	23.158	46.412	22.755	117.250	22.241	19.258	37.072	25.345	900	4000	

Tabella 3.2.4. Continua...

c)

		Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersioni a mare dei sedimenti dragati nel Porto Commerciale di Salerno e nel Canale d'ingresso.											L1	L2
		A47	A50	A53	A59	A62	A65	A68						
Idrocarburi policiclici aromatici (ng/g p.s.)	Naftalene	32.863	21.595	33.046	14.948	14.714	10.711	74.478					35	391
	Acenaftilene	16.205	8.770	7.476	6.088	11.637	< 0.05	< 0.05						
	1-Metilnaftalene	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.293	< 0.1	1.526						
	2-Metilnaftalene	10.556	6.038	20.213	82.810	6.599	6.762	1.120						
	Acenaftene	0.912	0.211	< 0.01	< 0.01	0.387	0.555	8.657						
	Fluorene	0.999	0.585	0.854	0.429	0.720	0.528	< 0.01					21	144
	Fenantrene	3.829	2.191	4.449	3.764	2.413	2.953	0.090					87	544
	Antracene	< 0.01	< 0.01	0.371	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.012					24	245
	Fluorantene	2.199	0.210	1.896	0.429	1.115	0.892	1.017					110	1494
	Pirene	0.205	0.276	1.132	0.256	0.106	0.080	< 0.01					153	1398
	Benzo(a)antracene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01					75	500
	Crisene	0.091	0.230	1.816	0.153	0.109	0.046	< 0.01					108	846
	7,12-Dimetilbenzo(a)antracene	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05						
	Benzo(b)fluorantene	0.264	0.596	2.238	0.618	0.612	0.237	0.285					40	500
	Benzo(k)fluorantene	0.460	0.350	1.565	0.245	0.174	0.059	0.074					20	500
	Benzo(a)pirene	0.222	0.192	1.231	0.117	0.059	0.027	0.034					30	100
	Dibenzo(ah)antracene	0.186	< 0.001	0.738	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001					n/a	n/a
	Benzo(ghi)perilene	0.185	0.071	1.139	0.190	0.066	< 0.001	0.080					55	100
	Indeno(123cd)pirene	0.140	0.078	0.858	0.069	< 0.05	< 0.05	< 0.05					70	100
	IPA basso PM	65.363	39.391	66.409	108.039	37.762	21.510	85.884						
	IPA alto PM	3.951	2.002	12.613	2.077	2.241	1.341	1.490						
	ΣIPA 16	69.313	41.393	79.022	110.116	40.004	22.851	87.374					900	4000

Tabella 3.2.5. - Concentrazioni di composti organici persistenti, che includono pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili, polibromodifenil eteri, altri ritardanti di fiamma organo brominati. In evidenza i dati che risultano maggiori dei livelli L1 e L2, secondo la normativa vigente (DM 173/2016). A) Area di immersione; B) Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio; C) Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersioni a mare dei sedimenti dragati nel Porto Commerciale di Salerno e nel Canale d'ingresso.

A)

	Area di immersione											L1	L2	
	A20	A21	A22	A23	A24	A74	A75	A76						
Pesticidi (ng/g p.s.)														
Aldrin	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
a-Chlordane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.3	4.8
g-Chlordane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.3	4.8
p,p'-DDD	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	7.8
p,p'-DDE	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.8	3.7
p,p'-DDT	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	4.8
Dichlorobenzidine	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.7	4.3
Dieldrin	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endosulfan I	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endosulfan II	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endosulfan sulfate	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endrin	<0.1	63.47	<0.1	<0.1	<0.1	17.59	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	50.20	<0.1	2.7	10
Endrin aldehyde	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endrin ketone	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Heptachlor	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Heptachlor epoxide	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	2.7
Hexachlorobenzene	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	50
Hexachlorobutadiene	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
a-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
b-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
d-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
g-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	1.0
Methoxychlor	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	11.09	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mirex	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Clorofenoli (ng/g p.s.)														
2-Chlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
4-Chlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
2,4-Dichlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
2,4,6-Trichlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Clorobifenili (ng/g p.s.)														
2-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
3-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
4-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Tabella 3.2.5. Continua...

A) Continua...

	Area di immersione											L1	L2	
	A20	A21	A22	A23	A24	A74	A75	A76	A76	A76	A76			
Pesticidi organo-fosfati ng/g (p.s.)														
Azinphos-methyl	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Clorpirifos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Dichlorvos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Disulfoton	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ethoprophos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Fenchlorphos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Methyl paration	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Metolcarb	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Prothiofos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ritardanti di fiamma (ng/g p.s.)														
PBDE28	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
PBDE47	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
PBDE99	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
PBDE100	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
PBDE153	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
PBDE154	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
PBDE183	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Hexabromocyclododecane	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Tetrabromobisphenol A	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

Tabella 3.2.5. Continua...

B)

	Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio										L1	L2	
	A08 (0-50)	A08 (50-100)	A11 (0-50)	A11 (50-100)	A14 (0-50)	A14 (50-100)	A17 (0-50)	A17 (50-100)	A72 (0-50)	A72 (50-100)			
Pesticidi (ng/g p.s.)													
Aldrin	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
a-Chlordane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.3	4.8
g-Chlordane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.3	4.8
p,p'-DDD	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	7.8
p,p'-DDE	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.8	3.7
p,p'-DDT	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	4.8
Dichlorobenzidine	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Dieldrin	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.7	4.3
Endosulfan I	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endosulfan II	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endosulfan sulfate	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endrin	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.7	10
Endrin aldehyde	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Endrin ketone	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Heptachlor	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Heptachlor epoxide	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	2.7
Hexachlorobenzene	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	50
Hexachlorobutadiene	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
a-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
b-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
d-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
g-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	1.0
Methoxychlor	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Mirex	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Clorofenoli (ng/g p.s.)													
2-Chlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
4-Chlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,4-Dichlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,4,6-Trichlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Clorobifenili (ng/g p.s.)													
2-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
3-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
4-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		

Tabella 3.2.5. Continua...

B) Continua...

		Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio										L1	L2
		A08 (0-50)	A08 (50-100)	A11 (0-50)	A11 (50-100)	A14 (0-50)	A14 (50-100)	A17 (0-50)	A17 (50-100)	A72 (0-50)	A72 (50-100)		
Pesticidi organo-fosfati (ng/g (p.s.))	Azinphos-methyl	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Clorpyrifos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Dichlorvos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Disulfoton	< 0.1	1.22	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Ethoprophos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Fenchlorphos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Methyl paration	< 0.1	4.94	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Metolcarb	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Prothiofos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ritardanti di fiamma (ng/g p.s.)	PBDE28	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	PBDE47	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	PBDE99	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	PBDE100	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	PBDE153	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	PBDE154	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	PBDE183	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Hexabromocyclododecane	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Tetrabromobisphenol A	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	

Tabella 3.2.5. Continua...

c)

		Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersioni											L1	L2	
		A47	A50	A53	A59	A62	A65	A68							
Pesticidi (ng/g p.s.)	Aldrin	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
	a-Chlordane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.3	4.8
	g-Chlordane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.3	4.8
	p,p'-DDD	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	7.8
	p,p'-DDE	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.8	3.7
	p,p'-DDT	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	4.8
	Dichlorobenzidine	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	Dieldrin	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.7	4.3
	Endosulfan I	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	Endosulfan II	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	Endosulfan sulfate	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	Endrin	<0.1	47.05	<0.1	<0.1	56.69	12.83	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.7	10
	Endrin aldehyde	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	Endrin ketone	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	Heptachlor	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	Heptachlor epoxide	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	2.7
	Hexachlorobenzene	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	50
	Hexachlorobutadiene	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	a-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
	b-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	10
d-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
g-Lindane	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	1.0	
Methoxychlor	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Mirex	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Clorofenoli (ng/g p.s.)	2-Chlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	4-Chlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	2,4-Dichlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	2,4,6-Trichlorophenol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Clorobifenili (ng/g p.s.)	2-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	3-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
	4-Chlorobiphenyl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		

Tabella 3.2.5. Continua...

c) Continua...

		A47	A50	A53	A59	A62	A65	A68	L1	L2
Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersioni a mare dei sedimenti dragati nel Porto Commerciale di Salerno e nel Canale d'ingresso.										
Pesticidi organo-fosfati (ng/g (p.s.))	Azinphos-methyl	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.66	< 0.1		
	Clorpyrifos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	2.74	< 0.1		
	Dichlorvos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	Disulfoton	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.48	< 0.1		
	Ethoprophos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	Fenchlorphos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	Methyl paration	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	Metolcarb	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	Prothiofos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
Ritardanti di fiamma (ng/g p.s.)	PBDE28	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	PBDE47	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	PBDE99	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	PBDE100	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	PBDE153	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	PBDE154	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	PBDE183	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
	Hexabromocyclododecane	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		
Tetrabromobisphenol A	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1			

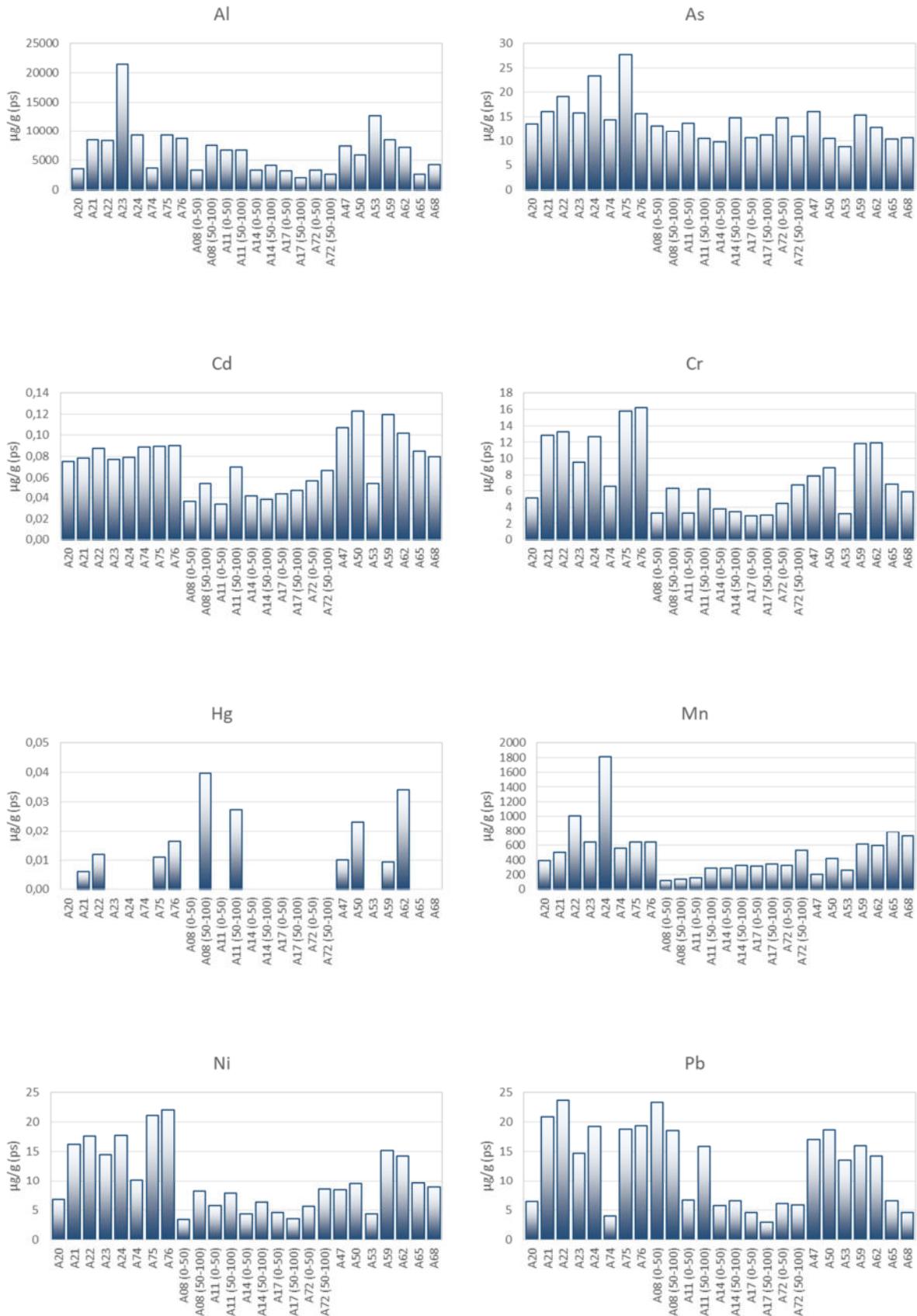


Figura 3.2.1. Concentrazioni di metalli pesanti nei sedimenti.

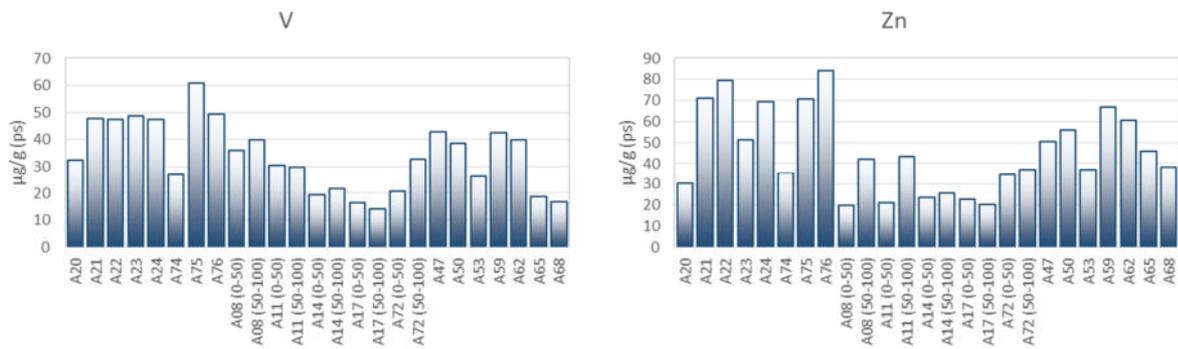


Figura 3.2.1. Continua....

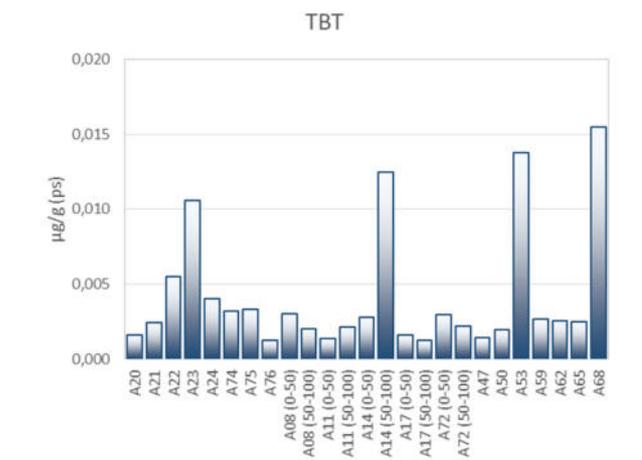
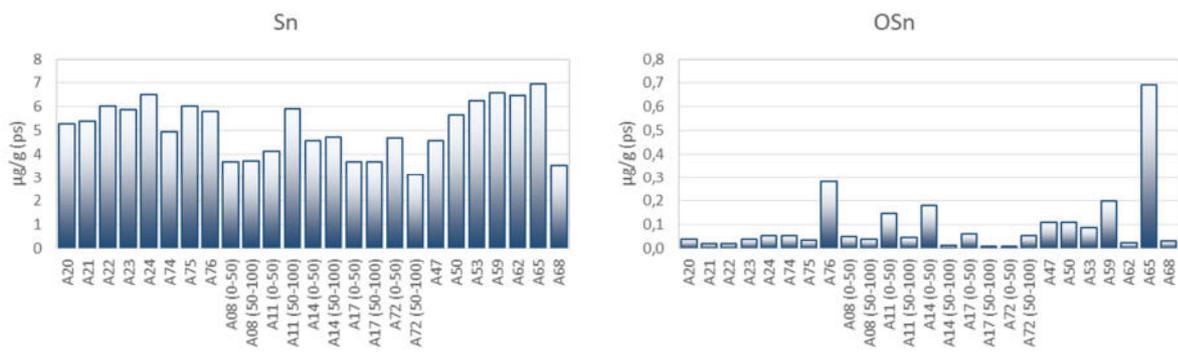


Figura 3.2.2. Concentrazioni di composti organostannici.

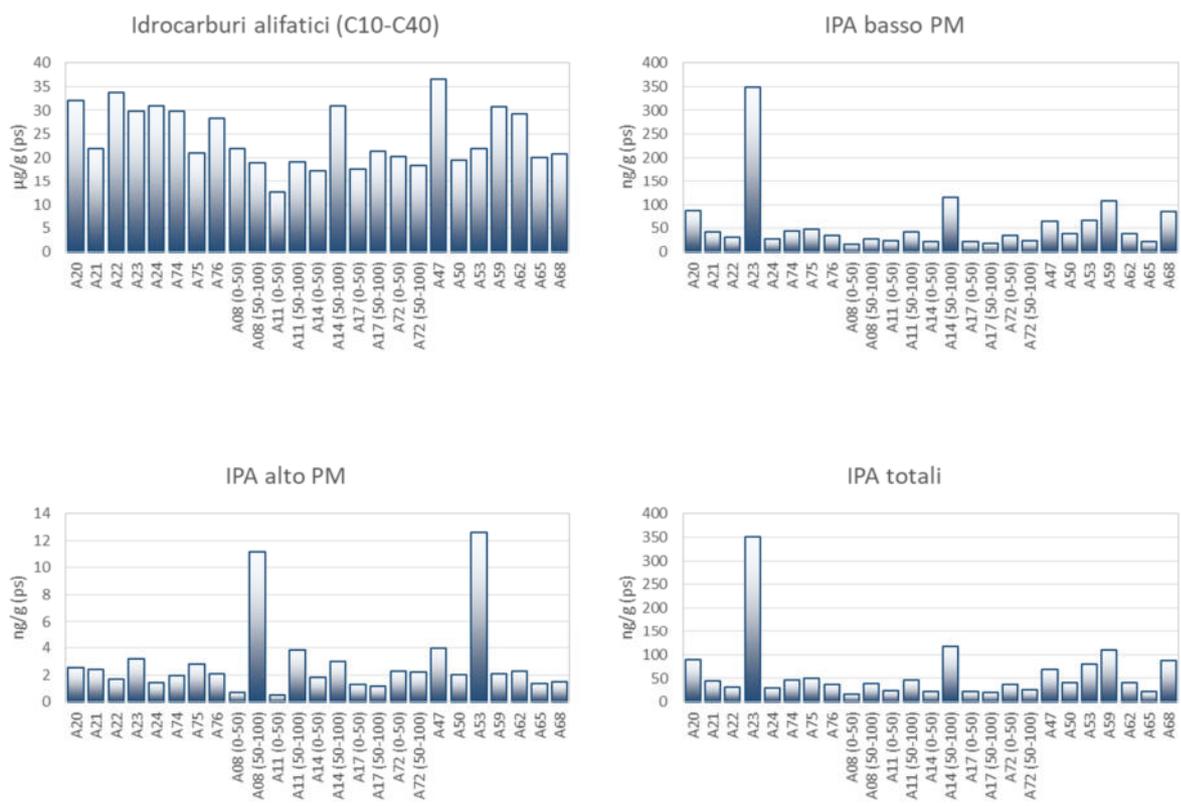


Figura 3.2.3. Concentrazioni di idrocarburi alifatici, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) a basso peso molecolare, alto peso molecolare e Σ IPA 16 nei sedimenti.

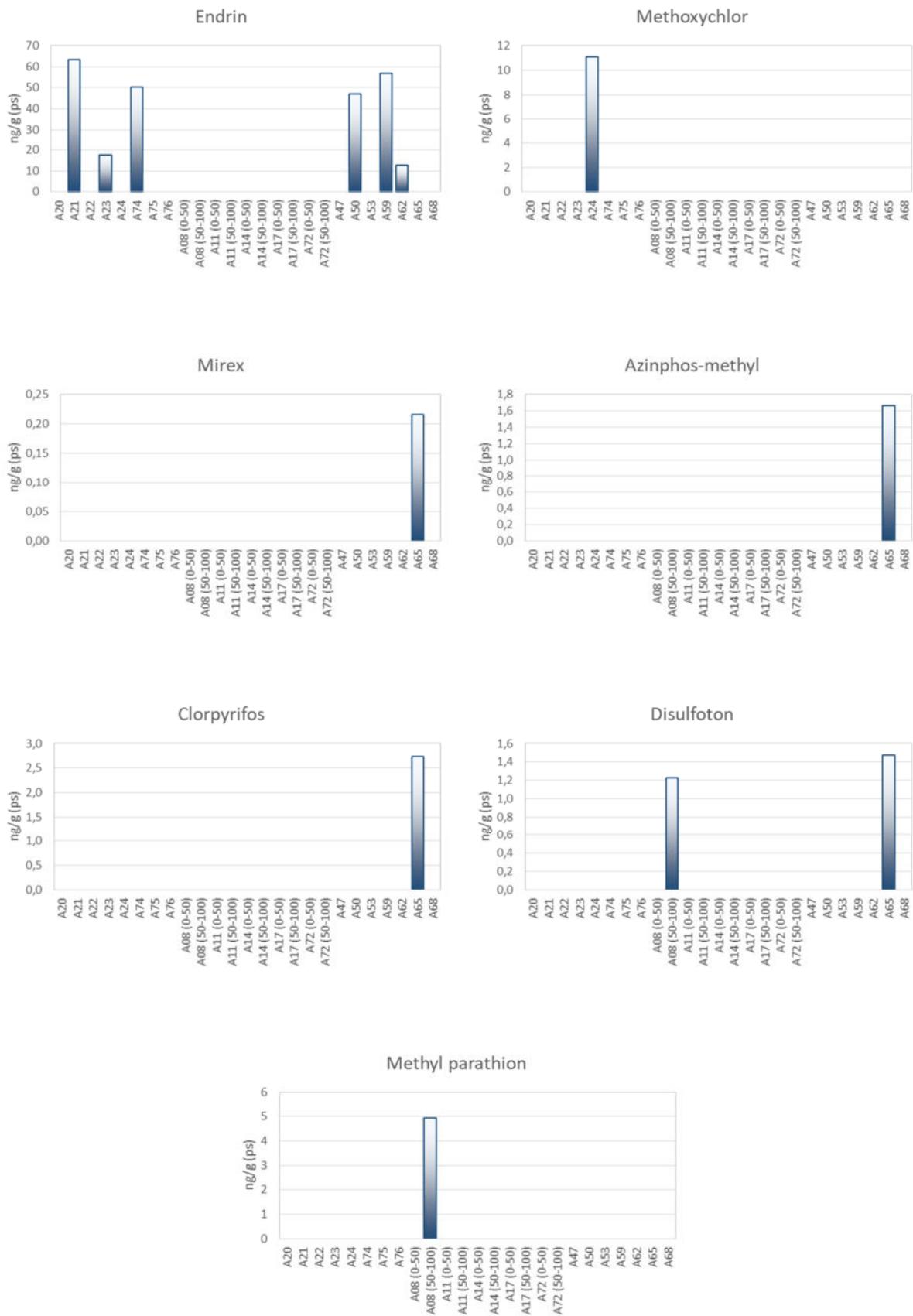


Figura 3.2.4 - Concentrazioni di composti organici persistenti.

Classificazione del pericolo chimico dei sedimenti

I risultati chimici sono stati elaborati utilizzando il software Sediqualssoft 109.0 che, nei confronti dei riferimenti normativi nazionali (L1 e L2), elabora un indice di pericolo chimico basato sul numero dei contaminanti che eccedono il riferimento specifico, la pericolosità di tali parametri, e l'entità degli sforamenti misurati. Questi criteri di integrazione ponderata, oggi recepiti all'interno del DM 173/2016, abbandonano la logica del mero superamento del valore tabellare, anche minimo e da parte di un unico parametro, come principio per la classificazione chimica della qualità dei sedimenti.

Come riportato nella Tabella 3.2.6, l'elaborazione ha fornito una classe di pericolo chimico da Assente a Basso nei confronti di L1 (DM 173/2016) per i campioni dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio, con l'eccezione del campione A14 (50-100) che presenta un livello di pericolo Medio. Nelle aree di immersione o potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, è stato elaborato un livello di pericolo chimico Medio per i campioni A22, A53, A68, mentre il livello di pericolo chimico è risultato Alto per i campioni A23 e A62, e Molto Alto per i campioni A21, A50, A59 e A74.

Per quanto riguarda il livello di riferimento L2 (DM 173/2016), il livello di pericolo elaborato è risultato da Assente a Basso per quasi tutti i campioni dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio, con l'unica eccezione dei campioni A11 (0-50) e A14 (0-50) che presentano una classe di pericolo Medio. Nelle aree di immersione o potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, la situazione è più variabile con alcuni campioni che presentano un livello di pericolo chimico da Assente a Basso (A20, A22, A23, A75, A47, A58, A62, A68), Medio (A76), ed anche Alto nei campioni A21, A50, A59, A65 e A74.

Nella Tabella 3.2.7 sono mostrati a confronto i risultati ottenuti dall'elaborazione della caratterizzazione chimica dei sedimenti effettuati nel 2018 con quelli del presente studio (2020). È proprio grazie all'utilizzo dei criteri di integrazione ponderata che è possibile effettuare confronti con dataset di risultati così ampi.

Il confronto relativo a L2 tra l'anno 2018 e 2020 evidenzia lo stesso livello di pericolo chimico Assente per le aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio ad eccezione dei soli campioni A11 (0-50) e A14 (0-50) che presentano un aumento del livello di pericolo chimico nel 2020 (Medio). Nei campioni dell'area di immersione e delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, si evidenzia invece un aumento del livello di pericolo chimico rispetto al 2018 soprattutto per i campioni A21, A74, A50, A59 e A65 (Tabella 3.2.7). I composti che hanno fornito il contributo percentualmente superiore all'indice di pericolo chimico sono stati l'Endrin e gli organostannici.

Nell'allegato relativo al dettaglio della classificazione del pericolo chimico, vengono riportate tutte le informazioni di dettaglio relative al valore quantitativo dell'indice HQC, alla percentuale massima data dal parametro (in parentesi) che contribuisce maggiormente all'indice di pericolo chimico, al numero di parametri non conformi, di quelli con riferimento e di quelli analizzati.

Tabella 3.2.6. Classificazione del pericolo chimico dei sedimenti mediante integrazione ponderata dei dati, utilizzando come riferimenti i valori limite L1 e L2 (DM 173/2016).

Area	Codice campione	L1	L2
Area di immersione	A20	TRASCURABILE	ASSENTE
	A21	MOLTO ALTO	ALTO
	A22	MEDIO	ASSENTE
	A23	ALTO	BASSO
	A24	BASSO	TRASCURABILE
	A74	MOLTO ALTO	ALTO
	A75	BASSO	BASSO
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A76	BASSO	MEDIO
	A08 (0-50)	TRASCURABILE	ASSENTE
	A08 (50-100)	TRASCURABILE	ASSENTE
	A11 (0-50)	TRASCURABILE	MEDIO
	A11 (50-100)	ASSENTE	ASSENTE
	A14 (0-50)	ASSENTE	MEDIO
	A14 (50-100)	MEDIO	ASSENTE
	A17 (0-50)	ASSENTE	ASSENTE
	A17 (50-100)	ASSENTE	ASSENTE
	A72 (0-50)	BASSO	ASSENTE
A72 (50-100)	ASSENTE	ASSENTE	
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	BASSO	BASSO
	A50	MOLTO ALTO	ALTO
	A53	MEDIO	BASSO
	A59	MOLTO ALTO	ALTO
	A62	ALTO	BASSO
	A65	ASSENTE	ALTO
	A68	MEDIO	ASSENTE

Tabella 3.2.7. Confronto delle elaborazioni della caratterizzazione chimica dei sedimenti tra i risultati del 2018 e quelli del 2020.

Area	Codice campione	L2 (DM 173/16)	
		2018	2020
Area di immersione	A20	BASSO	ASSENTE
	A21	MEDIO	ALTO
	A22	ASSENTE	ASSENTE
	A23	MEDIO	BASSO
	A24	MEDIO	TRASCURABILE
	A74	BASSO	ALTO
	A75	TRASCURABILE	BASSO
	A76	MEDIO	MEDIO
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08 (0-50)	ASSENTE	ASSENTE
	A08 (50-100)		ASSENTE
	A11 (0-50)		MEDIO
	A11 (50-100)	ASSENTE	ASSENTE
	A14 (0-50)		MEDIO
	A14 (50-100)	ASSENTE	ASSENTE
	A17 (0-50)		ASSENTE
	A17 (50-100)	ASSENTE	ASSENTE
	A72 (0-50)		ASSENTE
A72 (50-100)	ASSENTE	ASSENTE	
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	ASSENTE	BASSO
	A50	ASSENTE	ALTO
	A53	ASSENTE	BASSO
	A59	ASSENTE	ALTO
	A62	ASSENTE	BASSO
	A65	ASSENTE	ALTO
	A68	ASSENTE	ASSENTE

3.3 Caratterizzazione ecotossicologica

Risultati dei saggi ecotossicologici

Nelle Tabelle 3.3.1-3.3.3 vengono mostrati i risultati ottenuti per i singoli saggi ecotossicologici (*Vibrio fischeri* in fase solida, *Phaeodactylum tricornutum* e *Crassostrea gigas* sugli elutriati).

Per quanto riguarda il saggio con il *Vibrio fischeri* effettuato sul sedimento in fase solida, i risultati ottenuti per la bioluminescenza riflettono una sostanziale assenza di tossicità per tutti i campioni (Tabella 3.3.1), ad eccezione dei campioni A21, A22, A23, A24 e A76 dell'area di immersione e dei campioni A08 e A11 delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio che nel 2020 hanno evidenziato una tossicità moderata (Figura 3.3.1). Nel campionamento precedente del 2018, nessuno dei campioni aveva evidenziato effetti tossici con il saggio con *V. fischeri*.

Per quanto riguarda il saggio svolto sull'elutriato con l'alga *Phaeodactylum tricornutum*, tutti i campioni evidenziano un generale fenomeno di biostimolazione della crescita algale (Tabella 3.3.2), con un valore massimo del 39.2% nel campione A53 dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione (Figura 3.3.2). Confrontando i risultati relativi al saggio con *P. tricornutum* con quelli precedentemente ottenuti in occasione della campagna 2018, la situazione è generalmente confrontabile per i campioni dell'area di immersione, mentre è migliorata nelle altre aree dove era stata generalmente misurata una inibizione della crescita algale.

I risultati complessivi del saggio di embriotossicità con l'ostrica *C. gigas* vengono riportati in Tabella 3.3.3 ed espressi come percentuale di esemplari malformati in tutti i campioni (compresi i controlli); nella Figura 3.3.3, i dati vengono invece presentati dopo correzione di Abbott. I risultati complessivi non evidenziano particolari differenze tra le aree. Gli effetti biologicamente più rilevanti sono stati ottenuti nei campioni A62 e A08 con una percentuale di malformati superiore al 50%, mentre una percentuale di malformati superiore al 25% è stata riscontrata nei campioni A23, A24, A11, A14, A17, A72 e A59 (Tabella 3.3.3; Figura 3.3.3). I risultati del saggio con *C. gigas* mostrano una situazione generalmente simile ai risultati ottenuti in occasione della precedente campagna del 2018.

Tabella 3.3.1.1. Risultati del saggio con *Vibrio fischeri* in fase solida. Valori di bioluminescenza espressi in unità tossiche (U.T.) peso secco (p.s.) (medie \pm deviazioni standard).

Area di immersione	Area potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio		Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	
	Controllo U.T. (p.s.)	Campione U.T. (p.s.)	Controllo U.T. (p.s.)	Campione U.T. (p.s.)
A20	325.67 \pm 12.08	382.56 \pm 84.09	54.85 \pm 2.64	95.94 \pm 5.54
A21	277.52 \pm 16.66	441.30 \pm 64.05	64.10 \pm 2.94	120.56 \pm 8.29
A22	315.83 \pm 6.75	487.58 \pm 76.27	61.98 \pm 4.02	27.26 \pm 2.19
A23	304.75 \pm 28.23	408.36 \pm 38.82	31.95 \pm 2.43	18.20 \pm 1.99
A24	322.30 \pm 15.55	438.92 \pm 20.57	117.33 \pm 3.83	17.64 \pm 0.35
A74	334.87 \pm 9.36	360.88 \pm 109.16		
A75	332.83 \pm 45.76	337.82 \pm 69.55		
A76	322.69 \pm 40.14	509.57 \pm 53.43		
			Area potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	
			Controllo U.T. (p.s.)	Campione U.T. (p.s.)
			282.56 \pm 12.68	148.17 \pm 10.11
			287.20 \pm 16.68	313.03 \pm 29.15
			60.87 \pm 1.09	22.95 \pm 18.12
			106.71 \pm 9.62	60.22 \pm 9.54
			146.16 \pm 4.36	62.30 \pm 6.30
			73.40 \pm 3.63	52.14 \pm 20.48
			52.32 \pm 0.53	32.04 \pm 4.70



Figura 3.3.1. Risultati del saggio con *Vibrio fischeri*. HQ specifico (Sediqualsoft 109.0).

Tabella 3.3.2. Risultati del saggio con *Phaeodactylum tricornutum*. Valori di crescita algale espressi in cellx10³/ml (medie \pm deviazioni standard).

Area	Campione	cellx10 ³ /ml
	CTRL	1156.7 \pm 175.0
Area di immersione	A20	1465.6 \pm 136.9
	A21	1325.6 \pm 76.5
	A22	1540.0 \pm 33.3
	A23	1232.2 \pm 65.2
	A24	1322.2 \pm 106.0
	A74	1215.6 \pm 246.2
	A75	1285.6 \pm 39.8
	A76	1230.0 \pm 100.2
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	1492.2 \pm 104.6
	A11	1278.9 \pm 48.6
	A14	1268.9 \pm 185.1
	A17	1280.0 \pm 125.0
	A72	1585.6 \pm 261.4
	Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47
A50		1240.0 \pm 245.8
A53		1610.0 \pm 87.4
A59		1515.6 \pm 58.7
A62		1287.8 \pm 365.2
A65		1501.1 \pm 106.0
A68		1513.3 \pm 120.0

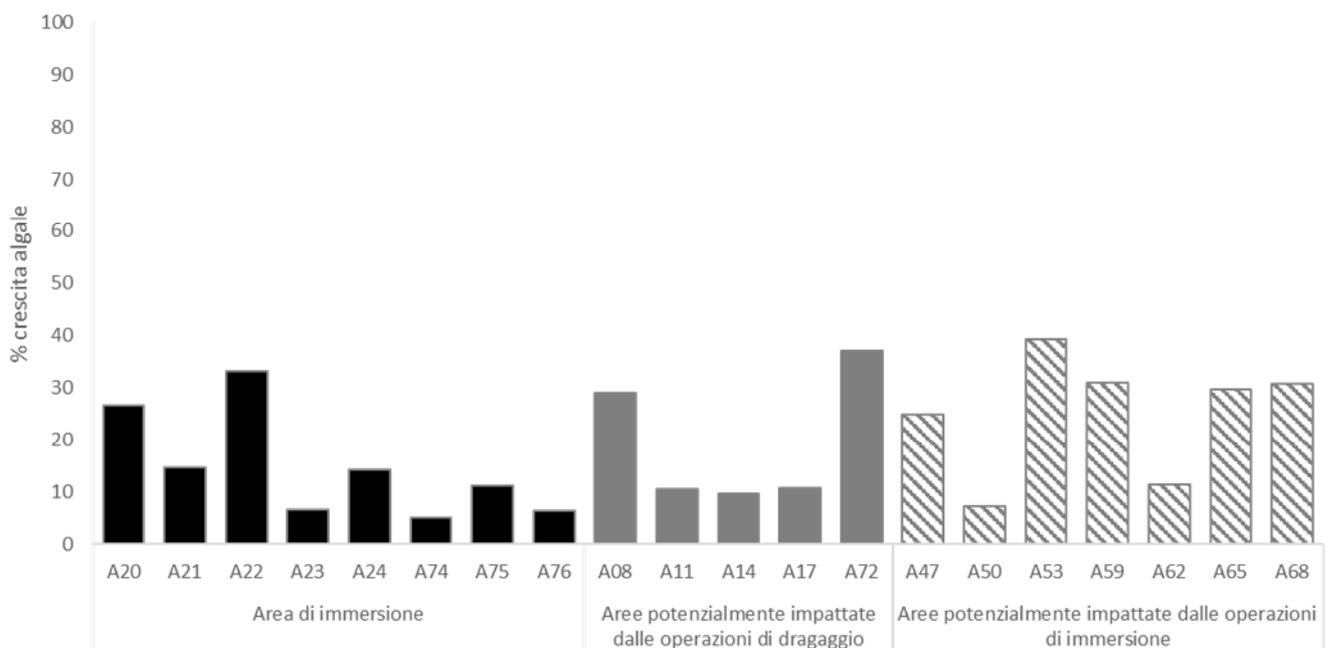


Figura 3.3.2. Risultati del saggio con *Phaeodactylum tricornutum*. Percentuale di crescita algale.

Tabella 3.3.3. Risultati del saggio di embriotossicità *Crassostrea gigas*. Valori di sviluppo espresso in % di esemplari malformati su tutti i campioni (medie \pm deviazioni standard).

Area	Campione	% esemplari malformati		
	CTRL	6.0	\pm	2.8
Area di immersione	A20	10.3	\pm	0.6
	A21	27.0	\pm	8.2
	A22	14.0	\pm	4.6
	A23	32.7	\pm	22.9
	A24	31.3	\pm	3.1
	A74	17.7	\pm	3.8
	A75	12.0	\pm	1.4
	A76	23.0	\pm	14.1
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	57.0	\pm	18.7
	A11	33.3	\pm	12.7
	A14	34.3	\pm	20.8
	A17	35.7	\pm	5.5
	A72	38.3	\pm	4.5
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	26.7	\pm	13.3
	A50	11.0	\pm	5.3
	A53	17.0	\pm	9.9
	A59	40.5	\pm	7.8
	A62	64.3	\pm	12.5
	A65	13.7	\pm	3.8
	A68	10.0	\pm	5.0

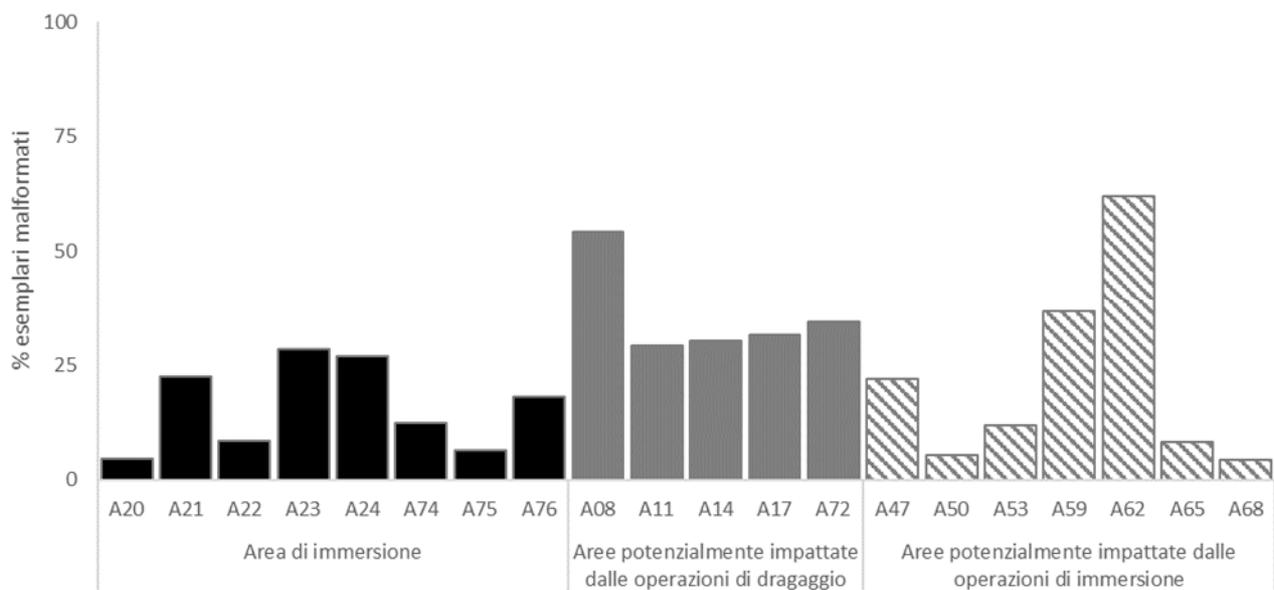


Figura 3.3.3. Risultati del saggio di embriotossicità con *Crassostrea gigas*. Percentuale di esemplari malformati dopo correzione di Abbott.

Classificazione del pericolo ecotossicologico dei sedimenti

La Tabella 3.3.4 mostra i risultati complessivi della elaborazione della batteria dei saggi ecotossicologici effettuati sui sedimenti, mentre nell'allegato vengono riportate tutte le informazioni di dettaglio sulla elaborazione dei singoli saggi.

I criteri di integrazione ponderata del nuovo DM 173/2016 consentono di abbandonare il principio della classificazione ecotossicologica determinata dal risultato peggiore: il giudizio sull'intera batteria dipende dalla rilevanza tossicologica dell'endpoint misurato in ciascun saggio, dalla soglia di sensibilità della specie, dalla significatività statistica ed entità delle variazioni misurate, dalle condizioni di saggio.

La classe di pericolo ecotossicologico elaborata per i campioni di sedimento (Tabella 3.3.4) è risultata Assente o Bassa, ad eccezione del campione A21 dell'area di immersione e dei campioni A08 e A11 provenienti dalle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio che hanno evidenziato una classe di pericolo ecotossicologico Medio. In generale, il saggio con *V. fischeri* è stato quello che ha contribuito maggiormente alla tossicità complessiva della batteria, seguito in misura minore dal saggio di embriotossicità con *C. gigas*.

Confrontando i risultati relativi al livello di pericolo ecotossicologico con quelli precedentemente ottenuti nella campagna del 2018, si osservano situazioni sostanzialmente paragonabili in tutte e tre le aree campionamento. Le uniche eccezioni sono i campioni A21, A08 e A11 che presentano un aumento di tossicità (livello di pericolo ecotossicologico da Assente a Medio), e i campioni A14 e A65 che invece passano da un livello di pericolo ecotossicologico Medio nel 2018 ad Assente nel 2020 (Tabella 3.3.5).

Tabella 3.3.4. Elaborazione della classe di pericolo ecotossicologico ottenuta mediante i criteri di integrazione ponderata sulle batterie di saggi (DM 173/2016). a) Campioni area di immersione; b) aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio; c) Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione a mare dei sedimenti dragati nel Porto Commerciale di Salerno e nel Canale d'ingresso.

a)

Area	Campione	Specie	HQ _{specifico}	HQ _{batteria}	Classificazione ecotossicologica
Area di immersione	A20	<i>Crassostrea gigas</i>	0.14	0.15	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0		
		<i>Vibrio fischeri</i>	0.53		
	A21	<i>Crassostrea gigas</i>	1.39	1.56	MEDIO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0		
		<i>Vibrio fischeri</i>	4.46		
	A22	<i>Crassostrea gigas</i>	0.26	1.04	BASSO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0		
<i>Vibrio fischeri</i>		4.22			
A23	<i>Crassostrea gigas</i>	0.72	0.86	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	3.05			
A24	<i>Crassostrea gigas</i>	1.68	1.19	BASSO	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	3.19			
A74	<i>Crassostrea gigas</i>	0.77	0.22	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0.19			
A75	<i>Crassostrea gigas</i>	0.4	0.10	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0.05			
A76	<i>Crassostrea gigas</i>	0.46	1.18	BASSO	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	4.39			

b)

Area	Campione	Specie	HQ _{specifico}	HQ _{batteria}	Classificazione ecotossicologica
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	<i>Crassostrea gigas</i>	3.37	2.55	MEDIO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0		
		<i>Vibrio fischeri</i>	5.14		
	A11	<i>Crassostrea gigas</i>	1.81	2.14	MEDIO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0		
<i>Vibrio fischeri</i>		5.62			
A14	<i>Crassostrea gigas</i>	0.83	0.19	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0			
A17	<i>Crassostrea gigas</i>	1.96	0.45	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0			
A72	<i>Crassostrea gigas</i>	2.13	0.49	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0			

Tabella 3.3.4. Continua...

c)

Area	Campione	Specie	HQ _{specifico}	HQ _{batteria}	Classificazione ecotossicologica
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	<i>Crassostrea gigas</i>	0.67	0.15	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0		
		<i>Vibrio fischeri</i>	0		
	A50	<i>Crassostrea gigas</i>	0.11	0.09	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0		
		<i>Vibrio fischeri</i>	0.29		
	A53	<i>Crassostrea gigas</i>	0.28	0.06	ASSENTE
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>		0			
<i>Vibrio fischeri</i>		0			
A59	<i>Crassostrea gigas</i>	2.28	0.52	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0			
A62	<i>Crassostrea gigas</i>	3.85	0.88	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0			
A65	<i>Crassostrea gigas</i>	0.5	0.11	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0			
A68	<i>Crassostrea gigas</i>	0.08	0.02	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0			

Tabella 3.3.5. Confronto delle elaborazioni della caratterizzazione ecotossicologica dei sedimenti tra i risultati del 2018 e quelli del 2020.

Area	Campione	Classificazione ecotossicologica	
		2018	2020
Area di immersione	A20	ASSENTE	ASSENTE
	A21	ASSENTE	MEDIO
	A22	ASSENTE	BASSO
	A23	ASSENTE	ASSENTE
	A24	ASSENTE	BASSO
	A74	ASSENTE	ASSENTE
	A75	ASSENTE	ASSENTE
	A76	ASSENTE	BASSO
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	ASSENTE	MEDIO
	A11	ASSENTE	MEDIO
	A14	MEDIO	ASSENTE
	A17	ASSENTE	ASSENTE
	A72	BASSO	ASSENTE
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	BASSO	ASSENTE
	A50	ASSENTE	ASSENTE
	A53	ASSENTE	ASSENTE
	A59	ASSENTE	ASSENTE
	A62	ASSENTE	ASSENTE
	A65	MEDIO	ASSENTE
	A68	ASSENTE	ASSENTE

3.4 Classificazione della qualità dei sedimenti

Applicando i criteri di integrazione ponderata recepiti dal D.M. n. 173 del 15 luglio 2016 *“Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”*, l'elaborazione del pericolo chimico e del pericolo ecotossicologico dei sedimenti sono state integrate per elaborare la *“Classe di Qualità”* dei sedimenti analizzati.

Nella Tabella 3.4.1 e nella Figura 3.4.1 sono riassunte per ogni campione di sedimento dell'area di immersione, dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio e dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione, la percentuale di pelite, la Classe di pericolo ecotossicologico, il contributo percentuale fornito a questo pericolo dall'elutriato, la Classe di pericolo chimico, e la Classe di Qualità complessiva del materiale: sebbene non siano previste attività di movimentazione dei sedimenti di tutte le aree, per una maggior confrontabilità dei risultati, vengono anche indicate quali sarebbero le opzioni gestionali eventualmente previste in seguito alla classificazione dei sedimenti ottenuta mediante DM 173/2016.

Campioni dell'area di immersione (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75 e A76):

- I campioni **A20, A24 e A76** sono risultati di **Classe A** ma con un contenuto di pelite superiore a quello previsto per il ripascimento della spiaggia emersa. Secondo le indicazioni del DM 173/2016, questi sedimenti sarebbero compatibili con opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.
- I campioni **A22, A23 e A75** sono risultati di **Classe B** e dunque compatibili con l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.
- Il campione **A21** (sedimento di classe D da considerare come di classe C; par. 2.8 Allegato tecnico) e **A74** sono risultati essere di **Classe C** e dunque compatibile con l'immersione in ambiente conterminato.

Campioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio (A08, A11, A14, A17, A72):

- I campioni **A14 (50-100), A17 e A72** sono risultati di **Classe A**. Secondo le indicazioni del DM 173/2016, questi sedimenti sono compatibili con opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero e presentano un contenuto di pelite compatibile anche con il ripascimento della spiaggia emersa.
- Il campione **A14 (0-50)** è risultato di **Classe B** e dunque compatibile con l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.
- I campioni **A08, A11** (A11 0-50 sedimento di classe D da considerare come di classe C; par. 2.8 Allegato

tecnico) sono risultati essere di **Classe C** e dunque compatibile con l'immersione in ambiente conterminato.

Campioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (A47, A50, A53, A59, A62, A65, A68):

- Il campione **A68** è risultato di **Classe A**, e secondo quanto previsto dal DM 173/2016 sarebbe compatibile con opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato.
- I campioni **A47, A53 e A62** sono risultati di **Classe B** e dunque compatibili con l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.
- I campioni **A50, A59 e A65** sono risultati di **Classe C** e compatibili con l'immersione in ambiente conterminato.

Nella Tabella 3.4.2 sono mostrati a confronto i risultati dell'elaborazione della "Classe di Qualità" dei sedimenti ottenuti nel 2018 e nel presente studio (2020). Il confronto "qualitativo" tra l'anno 2018 e 2020 mostra nella maggior parte dei casi una situazione confrontabile senza passaggi di classe o limitati a quelli tra la Classe A e B.

Solo in 6 campioni si osserva il passaggio dalla Classe A (o B) alla Classe C. Nei campioni A21 e A74 dell'area di immersione e nei campioni A50 e A59 delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, il passaggio alla Classe C è determinato dal peggioramento del pericolo chimico (che diventa Alto), mentre non si osserva un contestuale peggioramento del pericolo ecotossicologico che rimane Assente in tutti i campioni con l'eccezione di A21 (dove passa a Medio).

Nei campioni A8 e A11 dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio, il passaggio dalla Classe A alla Classe C non è invece determinato dal pericolo chimico, ma da un aumento del pericolo ecotossicologico che passa da Assente a Medio, influenzato soprattutto da *V. fischeri*.

Il campione A65 dell'area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio, pur evidenziando la stessa Classe di qualità (C) nel 2018 e 2020, mostra un peggioramento del pericolo chimico (da Assente ad Alto) ma un miglioramento di quello ecotossicologico (da Medio ad Assente).

Tabella 3.4.1. Classificazione di qualità dei sedimenti (classe di pericolo ecotossicologico, classificazione chimica, classe di qualità del materiale).

Area	Campione	% Pelite	Classe di pericolo ecotossicologico	Contributo % elutriato	Classe di pericolo chimico	Classe di qualità del materiale	Note
Area di immersione	A20	20.82	ASSENTE	20.9	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso (Allegato tecnico, Figura 7)
	A21	4.31	MEDIO	23.76	HQc(L2) => Medio	C	Sedimenti di classe D da considerare come di classe C (par. 2.8 Allegato tecnico)
	A22	11.09	BASSO	5.8	HQc(L1) >= Medio e HQc(L2) <= Basso	B	
	A23	20.2	ASSENTE	19.1	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A24	17.75	BASSO	34.5	HQc(L1) <= Basso	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso (Allegato tecnico, Figura 7)
	A74	25.7	ASSENTE	80.21	HQc(L2) = Alto	C	
	A75	20.02	ASSENTE	88.89	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A76	20.3	BASSO	9.48	HQc(L1) <= Basso	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso (Allegato tecnico, Figura 7)
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08 (0-50)	0.23	MEDIO	39.6	HQc(L2) <= Basso	C	
	A08 (50-100)	17.15	MEDIO	39.6	HQc(L2) <= Basso	C	
	A11 (0-50)	0.61	MEDIO	24.36	HQc(L2) => Medio	C	Sedimenti di classe D da considerare come di classe C (par. 2.8 Allegato tecnico)
	A11 (50-100)	19.09	MEDIO	24.36	HQc(L2) <= Basso	C	
	A14 (0-50)	4.3	ASSENTE	100	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A14 (50-100)	8.01	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	
	A17 (0-50)	0.79	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	
	A17 (50-100)	3.19	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	
	A72 (0-50)	9.24	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	
	A72 (50-100)	9.89	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	15.35	ASSENTE	100	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A50	21.7	ASSENTE	27.5	HQc(L2) = Alto	C	
	A53	2.82	ASSENTE	100	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A59	8.93	ASSENTE	100	HQc(L2) = Alto	C	
	A62	12.25	ASSENTE	100	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A65	5.2	ASSENTE	100	HQc(L2) = Alto	C	
	A68	3.11	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso (Allegato tecnico, Figura 7)

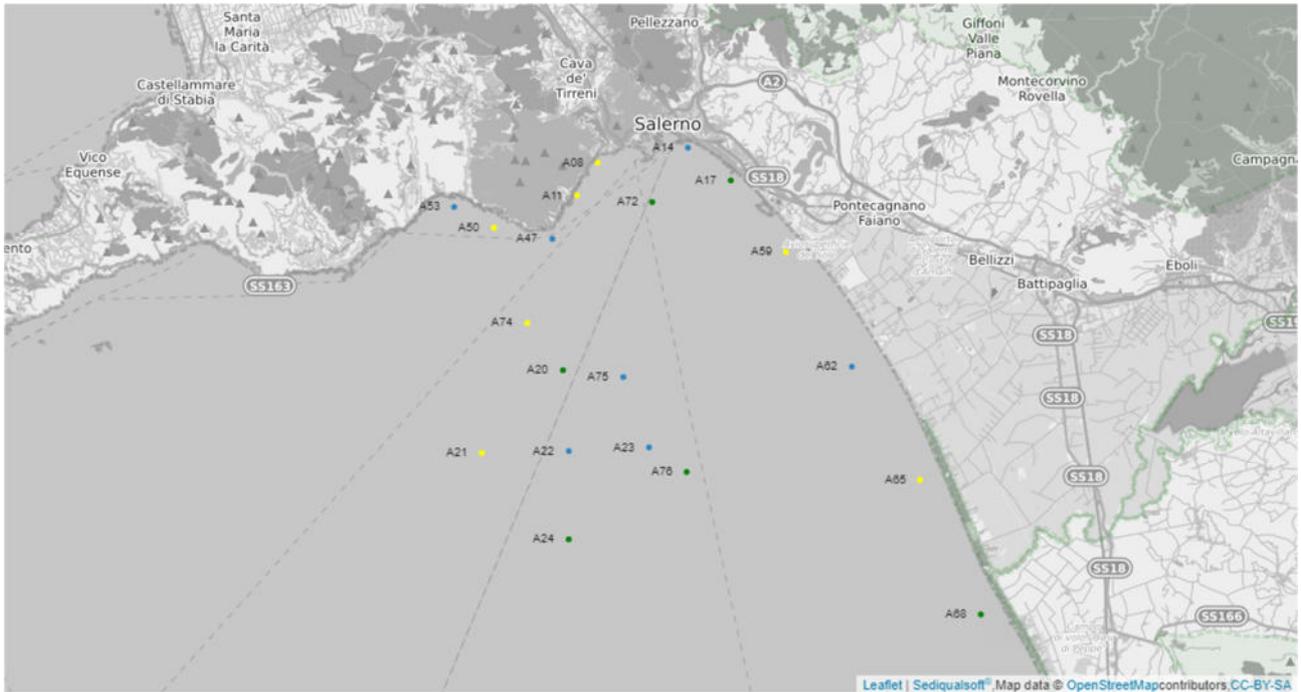


Figura 3.4.1. Classificazione di qualità dei sedimenti. Classe di qualità A-colore Verde; B-colore Blu; C-colore Giallo.

Tabella 3.4.2. Confronto delle elaborazioni della classe di qualità dei materiali tra i dati del 2018 e quelli del 2020.

Area	Campione	Classe di qualità del materiale	
		2018	2020
Area di immersione	A20	B	A
	A21	B	C
	A22	A	B
	A23	B	B
	A24	B	A
	A74	B	C
	A75	A	B
	A76	B	A
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	A	C
	A11	A	C
	A14	C	A/B
	A17	A	A
	A72	A	A
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	A	B
	A50	A	C
	A53	A	B
	A59	A	C
	A62	A	B
	A65	C	C
	A68	A	A

3.5 Caratterizzazione microbiologica

Al fine di valutare il grado di contaminazione dei sedimenti e la relativa pericolosità per l'ambiente acquatico circostante, ci si è riferiti al D.M. n. 367 del 6 novembre 2003 (pubblicato in Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 284 dell'8 gennaio 2004 – 4 dicembre 2008), che fissa gli standard di qualità ambientale per i sedimenti di acque marino-costiere, lagune e stagni. Le normative vigenti prevedono la caratterizzazione dei principali indicatori di contaminazione microbiologica dei sedimenti allo scopo di fornire indicazioni in merito all'opportunità di mettere in atto misure di contenimento per questo tipo di contaminazione. Esse, tuttavia, non prevedono valori di riferimento per ecosistemi costieri non interessati da balneazione. Le analisi microbiologiche condotte in questo contesto hanno avuto lo scopo di saggiare lo stato di salute dei campioni di sedimento prelevati, in relazione alla eventuale contaminazione di tipo fecale. Oltre che la ricerca di batteri derivanti da suoli o terreni che insistono sulla fascia costiera (Coliformi totali), è stata valutata la presenza di batteri indicatori di contaminazione fecale recente o in atto, sia di origine umana che animale (Coliformi fecali ed *E. coli*). Contemporaneamente è stata valutata la presenza di batteri potenzialmente in grado di indurre patologie di natura gastroenterica (*Salmonella* spp.)

È stata valutata, inoltre, la presenza di batteri che possono essere correlati anche ad una contaminazione fecale pregressa (Streptococchi fecali). Come ulteriore segnale di contaminazione pregressa sono stati ricercati batteri persistenti in ambiente marino, in quanto in grado di tollerare condizioni di alofilia, e che possiedono potenziale patogenicità (Stafilococchi coagulasi positivi). Eventi di contaminazione remota vengono ben documentati dalla ricerca di Clostridi solfito-riduttori, che per la loro capacità di produrre spore sono in grado di resistere a condizioni ambientali avverse. Le analisi batteriologiche sono state integrate dalla ricerca dei miceti (funghi lievitriformi e filamentosi), microrganismi che, oltre ad essere diffusamente presenti negli ambienti naturali, possono essere correlati ad eventi di contaminazione di origine antropica.

I risultati delle analisi microbiologiche effettuate sui campioni di sedimento prelevati nel corso del monitoraggio in corso d'opera sono riportati in Tabella 3.5.1.

Tabella 3.5.1. Risultati delle analisi microbiologiche dei campioni di sedimento

Sedimenti	Coliformi totali (MPN·g ⁻¹ ps)	Coliformi fecali (MPN·g ⁻¹ ps)	<i>Escherichia coli</i> (MPN·g ⁻¹ ps)	Streptococchi fecali (MPN·g ⁻¹ ps)	Stafilococchi (coagulasi +) (UFC·g ⁻¹ ps)	Clostridi solfito riduttori (UFC·g ⁻¹ ps)	<i>Salmonella</i> spp. (P/A in 25 g _{ps})	Miceti (UFC·g ⁻¹ ps)
A08-marzo-2020	13,1	<0,42	<0,42	<0,42	0	14	Assente	393
A11-marzo-2020	16	<0,52	<0,52	<0,52	17	43	Assente	533
A14-marzo-2020	27,6	<0,48	<0,48	<0,48	0	11	Assente	118
A17-marzo-2020	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	0	26	Assente	64
A72-marzo-2020	24,5	<0,94	<0,46	<0,46	0	18	Assente	123
A08-maggio-2020	<0,42	<0,42	<0,42	<0,42	0	209	Assente	6
A11-maggio-2020	<0,93	<0,93	<0,93	<0,93	0	77	Assente	0
A14-maggio-2020	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	5,4	55	Assente	8
A17-maggio-2020	<0,51	<0,51	<0,51	<0,51	0	230	Assente	31
A47-maggio-2020	26,9	2,13	2,13	53,1	5,3	638	Assente	1010
A50-maggio-2020	10,9	1,6	1,6	1,6	0	37	Assente	433
A53-maggio-2020	<0,78	<0,78	<0,78	24,6	3,2	142	Assente	71
A59-maggio-2020	<0,59	<0,59	<0,59	<0,59	8,4	173	Assente	0
A62-maggio-2020	<0,65	<0,65	<0,65	<0,65	5,9	124	Assente	0
A65-maggio-2020	<0,59	<0,59	<0,59	8,3	2,8	131	Assente	6
A68-maggio-2020	<0,57	<0,57	<0,57	<0,57	2,8	88	Assente	6
A72-maggio-2020	<0,62	<0,62	<0,62	<0,62	0	190	Assente	1

A08-marzo-2020 - Le analisi microbiologiche effettuate sul campione di sedimento A08-marzo-2020 hanno evidenziato una bassa contaminazione recente di provenienza ambientale, con un valore di Coliformi totali pari a 13,1 MPN·g-1ps, mentre la contaminazione di origine umana ed animale, correlata alla presenza di Coliformi fecali, E. coli e Streptococchi fecali è risultata molto bassa (<0,42 MPN·g-1ps). Anche la contaminazione fecale di tipo remoto, data dai Clostridi solfito-riduttori, è risultata bassa (14 UFC·g-1ps). Più significativa è risultata, invece, la presenza di Miceti, con valori di 393 UFC·g-1ps. I batteri patogeni del genere Salmonella sono risultati assenti, mentre non è stata riscontrata la presenza di batteri del genere Staphylococcus in grado di produrre coagulasi.

A08-maggio-2020 – Le analisi microbiologiche effettuate sul campione di sedimento A08—maggio-2020, hanno messo in evidenza concentrazioni molto basse (<0,42 MPN·g-1ps) in riferimento alla contaminazione fecale ambientale recente da Coliformi totali, a quella fecale animale da Coliformi fecali ed E. coli ed a quella fecale pregressa da Streptococchi fecali. È stata riscontrata, invece, una moderata contaminazione fecale di tipo remoto correlata alla presenza di Clostridi solfito-riduttori (209 UFC·g-1ps). In questo campione di sedimento è stata inoltre riscontrata una concentrazione molto bassa di Miceti (6 UFC·g-1ps). I batteri patogeni dei generi Salmonella e Staphylococcus del sono risultati assenti.

A11-marzo-2020 - Nel campione di sedimento A11-marzo-2020 è stata rilevata una bassa contaminazione fecale recente di origine ambientale (Coliformi totali 16 MPN·g-1ps) , mentre molto bassa (<0,52 MPN·g-1ps) è risultata la contaminazione di origine animale da Coliformi fecali ed E. coli e quella fecale pregressa da Streptococchi fecali. La contaminazione fecale di tipo remoto, correlata ai Clostridi silfito-riduttori, ha mostrato una bassa concentrazione (43 UFC·g-1ps). I miceti, invece, erano presenti a concentrazione moderata (533 UFC·g-1ps). Non è stata riscontrata la presenza di batteri appartenenti al genere Salmonella, mentre per Staphylococcus coagulasi positivo è stato riscontrato un basso valore di concentrazione (17 UFC·g-1ps).

A 11-maggio-2020 – le analisi microbiologiche hanno messo in evidenza una contaminazione molto bassa (<0,93 MPN·g-1ps) sia per quanto riguarda la contaminazione fecale recente di origine ambientale (Coliformi totali), sia per la contaminazione di origine animale da Coliformi fecali ed E. coli, sia per la contaminazione fecale pregressa (Streptococchi fecali). È stato rilevato, inoltre, un baso contenuto in Clostridi solfito-riduttori (77 UFC·g-1ps). Sono, invece, risultati assenti i miceti ed i batteri patogeni appartenenti ai generi Salmonella e Staphylococcus.

A14-marzo-2020 - Dal campione di sedimento A14-marzo-2020 è emersa la presenza di una bassa

contaminazione fecale recente di origine ambientale da Coliformi totali (27,6 MPN·g-1ps), ed una bassissima contaminazione (<0,48 MPN·g-1ps) di tipo fecale animale recente da Coliformi fecali ed E. coli e di tipo pregresso da Streptococchi fecali. Per quanto riguarda la contaminazione remota, è stato riscontrato un basso contenuto in Clostridi solfito-riduttori (11 UFC·g-1ps). Valori moderati sono stati, inoltre, riscontrati per le concentrazioni di Miceti (118 UFC·g-1ps). In questo campione di sedimento non sono stati riscontrati batteri patogeni appartenenti ai generi Salmonella e Staphylococcus.

A14-maggio-2020 - Dal sedimento A14-maggio-2020 è emersa una trascurabile contaminazione fecale recente di origine ambientale (Coliformi totali pari a <0,54 MPN·g-1ps), una trascurabile contaminazione fecale recente di tipo animale da Coliformi fecali ed E. coli. (<0,54 MPN·g-1ps) ed anche una trascurabile contaminazione fecale di tipo pregresso da Streptococchi fecali (<0,54 MPN·g-1ps). Per quanto riguarda la contaminazione remota, è stato riscontrato un moderato contenuto in Clostridi solfito-riduttori (55 UFC·g-1ps). Valori bassi sono stati, inoltre, riscontrati per le concentrazioni di Miceti (8 UFC·g-1ps). Non sono stati riscontrati batteri patogeni appartenenti al genere Salmonella, mentre sono stati riscontrati trascurabili concentrazioni di Staphylococcus (5,4 UFC·g-1ps).

A17-marzo-2020 - Nel campione di sedimento A17-marzo-2020 è stata riscontrata una bassissima contaminazione (<0,39 MPN·g-1ps) sia di tipo recente di origine ambientale da Coliformi totali, sia di tipo animale da Coliformi fecali ed E. coli, sia di tipo fecale pregressa da Streptococchi fecali. La contaminazione fecale di tipo remoto correlata ai Clostridi solfito-riduttori è stata rilevata a valori bassi (26 UFC·g-1ps). Anche la presenza di Miceti si è attestata ad un valore da ritenersi basso (64 UFC·g-1ps). Non sono stati riscontrati batteri patogeni appartenenti ai generi Salmonella e Staphylococcus.

A17-maggio-2020 - Nel sedimento A17-maggio-2020 è stata riscontrata una bassissima contaminazione (<0,51 MPN·g-1ps) sia di tipo ambientale recente da Coliformi totali, sia di tipo animale da Coliformi fecali ed E. coli, sia di tipo fecale pregressa da Streptococchi fecali. La contaminazione fecale di tipo remoto correlata ai Clostridi solfito-riduttori è stata rilevata a valori moderati, pari a 230 UFC·g-1ps di. La presenza di Miceti si è attestata ad un valore di concentrazione basso (31 UFC·g-1ps). Non sono stati riscontrati batteri patogeni appartenenti ai generi Salmonella e Staphylococcus.

A47-Maggio-2020 - Il campione A47-maggio-2020 ha mostrato una bassa contaminazione fecale recente di origine ambientale, dovuta alla presenza di 26,9 MPN·g-1ps di Coliformi totali ed una bassissima contaminazione animale dovuta alla presenza di 2,13 MPN·g-1ps di Coliformi fecali e di E. coli. Bassa è risultata anche la contaminazione fecale di tipo pregresso, con un valore di Streptococchi fecali pari a 53,1

MPN·g-1ps di sedimento. Per la contaminazione fecale remota sono stati riscontrati valori moderati, pari a 638 UFC·g-1ps. di Clostridi solfito-riduttori. La presenza di Miceti è stata riscontrata in concentrazione relativamente alta (1010 UFC·g-1ps). In questo campione i batteri patogeni del genere Salmonella sono risultati assenti, mentre i batteri Staphylococcus coagulasi positivi sono stati riscontrati a bassissima concentrazione (5,3 UFC·g-1ps).

A50-maggio-2020 - Nel campione di sedimento A50-maggio-2020, i livelli di contaminazione fecale di tipo recente di origine ambientale hanno mostrato bassi valori di Coliformi totali (10,9 MPN·g-1ps) ed una bassissima contaminazione di origine animale da Coliformi fecali e da E. coli (1,6 MPN·g-1ps). Anche la contaminazione fecale di tipo pregresso da Streptococchi è risultata molto bassa (1,6 MPN·g-1ps). Per la contaminazione fecale remota, è stata riscontrata una bassa concentrazione di Clostridi solfito-riduttori (37 UFC·g-1ps), mentre una moderata presenza è stata rilevata per i Miceti (433 UFC·g-1ps). Non sono stati isolati batteri appartenenti ai generi Salmonella e Staphylococcus.

A53-maggio-2020 – Il campione di sedimento A53-maggio-2020, con valori di <0,78 MPN·g-1ps, ha mostrato una contaminazione molto bassa, sia ambientale fecale recente da Coliformi totali, che di origine animale da Coliformi fecali e da E. coli. È stata riscontrata, invece, una bassa contaminazione fecale pregressa da Streptococchi fecali (24,6 MPN·g-1ps). Con 142 UFC·g-1ps di Clostridi solfito-riduttori, il campione di sedimento ha evidenziato una moderata contaminazione fecale remota, mentre i Miceti sono risultati presenti in bassa concentrazione (71 UFC·g-1ps). Non è stata rilevata la presenza di batteri patogeni del genere Salmonella, mentre è stata riscontrata una concentrazione molto bassa di Staphylococcus coagulasi positivo (3,2 UFC·g-1ps).

A59-maggio-2020 - Nel campione A59-maggio-2020, sia per la contaminazione fecale ambientale recente da Coliformi totali, sia per quella fecale da Coliformi fecali ed E. coli, sia per quella fecale pregressa da Streptococchi fecali, sono stati riscontrati valori molto bassi (<0,59 MPN·g-1ps). È stata, invece, rilevata una moderata contaminazione fecale di tipo remoto da Clostridi solfito-riduttori, la cui concentrazione ha raggiunto un valore pari a 173 UFC·g-1ps, mentre non è stata riscontrata la presenza di Miceti. Pur non essendo stati rilevati batteri patogeni del genere Salmonella, è stata messa in evidenza una concentrazione molto bassa di ceppi di Staphylococcus coagulasi positivo (8,4 UFC·g-1ps).

A62-maggio-2020 - Nel campione di sedimento A62-maggio-2020 sia per la contaminazione fecale ambientale recente da Coliformi totali, sia per quella fecale da Coliformi fecali ed E. coli, sia per quella fecale di tipo pregresso da Streptococchi fecali, sono stati riscontrati valori molto bassi (<0,65 MPN·g-1ps).

È stata osservata, inoltre, una moderata contaminazione fecale di tipo remoto da Clostridi solfito-riduttori, la cui concentrazione ha raggiunto un valore di 124 UFC·g-1ps, mentre non sono stati isolati Miceti. I batteri appartenenti al genere *Salmonella* sono risultati assenti, mentre è stata riscontrata una concentrazione molto bassa di ceppi di *Staphylococcus* positivi alla coagulasi (5,9 UFC·g-1ps).

A65-maggio-2020 - Il campione A65-maggio-2020 ha mostrato una bassissima concentrazione di Coliformi totali, di Coliformi fecali e di *E. coli*, escludendo, quindi, rilevanti fenomeni di contaminazione fecale ambientale ed animale recente. Lo stesso campione di sedimento ha, invece, mostrato una più lieve contaminazione fecale pregressa da Streptococchi fecali (8,3 MPN·g-1ps). Una moderata contaminazione fecale remota da Clostridi solfito-riduttori è testimoniata da una concentrazione di 131 UFC·g-1ps. I Miceti, invece, sono stati rilevati in concentrazione molto bassa (6 UFC·g-1ps). I batteri del genere *Salmonella* sono risultati assenti, mentre è stata riscontrata una concentrazione molto bassa di *Staphylococcus* coagulasi positivo (2,8 UFC·g-1ps).

A68-maggio-2020 – Nel campione di sedimento A68-maggio-2020, sia per la contaminazione fecale ambientale recente da Coliformi totali, sia per quella fecale da Coliformi fecali ed *E. coli*, sia per quella fecale di tipo pregresso da Streptococchi fecali, sono stati riscontrati valori di concentrazione molto bassi (<0,57 MPN·g-1ps). È stata riscontrata una bassa contaminazione fecale di tipo remoto da Clostridi solfito-riduttori, la cui concentrazione ha raggiunto un valore di 88 UFC·g-1ps, mentre per i Miceti è stata osservata una concentrazione molto bassa (6 UFC·g-1ps). Sono risultati assenti i batteri appartenenti al genere *Salmonella*, mentre è stata riscontrata una concentrazione molto bassa di ceppi di *Staphylococcus* positivi alla coagulasi (2,8 UFC·g-1ps).

A72-marzo 2020 - Nel campione A72-marzo-2020 le analisi microbiologiche hanno rilevato una bassa contaminazione fecale ambientale recente da Coliformi totali (24,5 MPN·g-1ps) ed una bassissima contaminazione fecale animale da Coliformi fecali (0,94 MPN·g-1ps) ed *E. coli* (0,46 MPN·g-1ps). Anche la contaminazione fecale di tipo pregresso da Streptococchi fecali è risultata bassissima (0,46 MPN·g-1ps). La concentrazione di Clostridi solfito-riduttori pari a 18 UFC·g-1ps ha messo in evidenza una bassa contaminazione fecale remota, mentre è stata rilevata una moderata concentrazione di Miceti (123 UFC·g-1ps). Non sono stati rilevati batteri patogeni, né del genere *Salmonella*, né del genere *Staphylococcus*.

A72-maggio 2020 - Nel campione A72-maggio-2020 sono state rilevate concentrazioni molto basse (<0,65 MPN·g-1ps) sia per la contaminazione fecale ambientale recente da Coliformi totali, sia per quella fecale da Coliformi fecali ed *E. coli*, sia per quella fecale di tipo pregresso da Streptococchi fecali. La contaminazione

fecale remota ha mostrato, invece, una moderata concentrazione di Clostridi solfito-riduttori pari a 190 UFC-g-1ps, mentre è stata rilevata una bassissima concentrazione di Miceti (1 UFC-g-1ps). Non sono stati rilevati batteri patogeni, né del genere Salmonella, né del genere Staphylococcus.

In conclusione, dalle analisi microbiologiche effettuate sui sedimenti non emergono criticità dal punto di vista igienico-sanitario.

Per quanto riguarda i dati relativi alla contaminazione di origine ambientale terrestre, le concentrazioni di Coliformi totali sono risultate molto basse (<10 MPN-g-1ps) o basse (<100 MPN-g-1ps); in particolare la concentrazione più elevata di Coliformi totali è stata riscontrata nel campione A-14-marzo-2020, dove ha raggiunto un valore di <0,65 MPN-g-1ps, che è, comunque, da considerarsi una concentrazione relativamente normale per un ambiente marino-costiero.

Nel caso della contaminazione fecale umana ed animale, le concentrazioni dei batteri appartenenti ai Coliformi fecali e le concentrazioni di E. coli non hanno superato il valore di 2,13 MPN-g-1ps. Tale valore è stato registrato per il campione di sedimento A47-maggio-2020. In generale, i valori delle concentrazioni relative ai Coliformi totali e ad E. coli, pertanto, denotano una contaminazione fecale umana ed animale molto bassa, tale da non destare preoccupazione dal punto di vista igienico-sanitario in tutti i campioni di sedimento esaminati.

Riguardo alla contaminazione fecale di tipo pregresso, essa è risultata prevalentemente molto bassa; le concentrazioni degli Streptococchi fecali (o Enterococchi intestinali), infatti, hanno raggiunto valori più alti solo nel campione A47-maggio-2020 e nel campione A53-maggio-2020, nei quali sono stati registrati, rispettivamente, valori di 53,1 MPN-g-1ps e di 24,6 MPN-g-1ps. Anche in questo caso le concentrazioni di Streptococchi fecali non denotano particolari criticità di natura igienico-sanitaria.

Nel caso della contaminazione fecale di tipo remoto, i Clostridi solfito-riduttori sono stati riscontrati in concentrazioni basse (10-100 MPN-g-1ps) o moderate (100-1000 MPN-g-1ps), raggiungendo solo in un caso il valore di 638 UFC-g-1ps (campione A47-maggio-2020). Considerando la natura sporigena dei Clostridi solfito-riduttori e la loro resistenza agli stress ambientali, tali concentrazioni non destano preoccupazioni di natura igienico-sanitaria, né denotano la presenza di importanti fonti di contaminazione di natura fecale.

La ricerca dei Miceti nei campioni di sedimento non hanno messo in evidenza concentrazioni tali da segnalare particolari criticità, anche in considerazione del fatto che la stragrande maggioranza di tali microrganismi sono ubiquitari, partecipano alla degradazione della materia organica e sono coinvolti nei cicli biogeochimici. In ogni caso, la maggior parte dei sedimenti ha evidenziato basse concentrazioni di miceti (<100 UFC-g-1ps), mentre il valore più elevato (1010 UFC-g-1ps) è stato riscontrato nel campione A47-maggio-2020.

Riguardo all'isolamento di batteri patogeni del tratto gastroenterico, nessuno dei campioni esaminati è

risultato positivo alla ricerca di batteri appartenenti al genere *Salmonella*. Questo risultato è in accordo con i dati relativi agli indici di contaminazione fecali precedentemente discussi e conferma l'assenza di criticità di natura igienico-sanitaria.

In merito alla ricerca di batteri appartenenti al genere *Staphylococcus* (coagulasi positivi), le concentrazioni rilevate sono prevalentemente molto basse (<10 UFC-g-1ps), solo nel campione A11-marzo-2020 è stata riscontrata una concentrazione, comunque relativamente bassa, di 17 UFC-g-1ps. Considerando la spiccata alotolleranza delle specie appartenenti al genere *Staphylococcus*, l'isolamento di questi batteri in ambiente marino non desta particolare sorpresa; in ogni caso, data la sua origine prevalentemente antropica, la sua presenza è da tenere sotto controllo.

3.6 Caratterizzazione biologica

3.6.1 Caratterizzazione delle comunità macro-zoobentoniche

L'analisi dei 60 campioni di macrozoobenthos (20 stazioni per tre repliche ciascuna), ha permesso di identificare i seguenti gruppi sistematici: Anellidi Policheti, Molluschi (Bivalvi, Gasteropodi, Scafopodi), Crostacei (Decapodi, Anfipodi, Isopodi, Tanaidacei, Mysidiacei, Cumacei, Pantopodi), Echinodermi (Asteroidei, Ofiuroidei, Echinoidei e Oloturioidei), Sipunculidi.

3.6.1.1 Analisi trofica

Il macrozoobenthos dell'area potenzialmente impattata dall'attività di dragaggio si è rivelato composto soprattutto da Sospensivori e Detritivori (fig.3.6.1.1.1). I Sospensivori costituiscono di gran lunga il gruppo trofico più presente nei fondi mobili studiati, probabilmente a causa di fattori edafici, cioè relativi al substrato, i molluschi bivalvi *Spisula subtruncata* e *Variocorbula gibba* sono in assoluto i più numerosi fra i sospensivori di questa area.

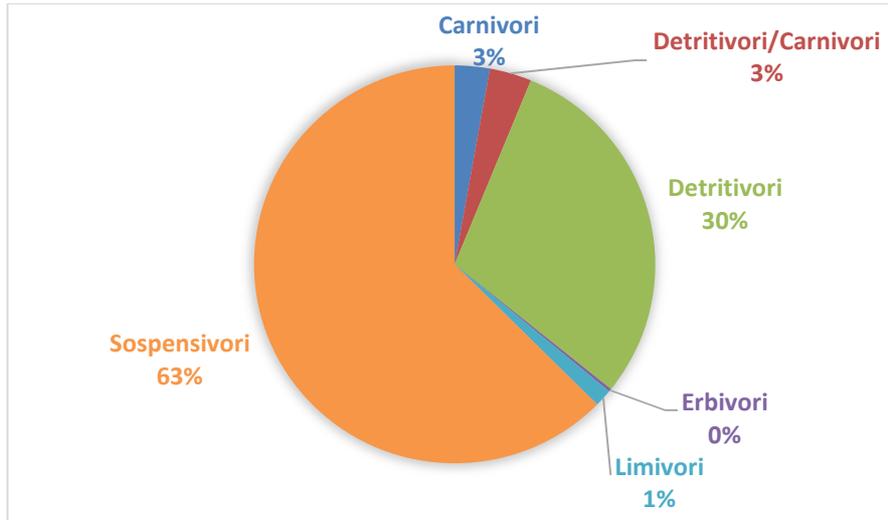


Figura 3.6.1.1.1. Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area potenzialmente impattata dall'attività di dragaggio.

Nell'area di immersione dei sedimenti dragati, la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data principalmente da Detritivori e Limivori (Fig. 3.6.1.1.2). Tale composizione è prevedibile ed in linea con la tipologia di substrato riscontrato costituito principalmente da limo e delle elevate profondità.

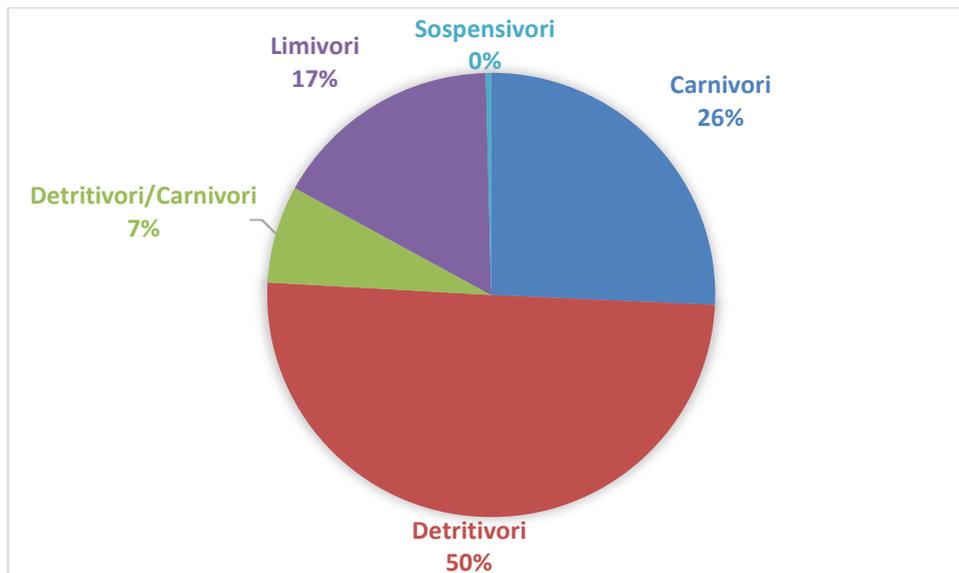


Figura 3.6.1.1.2. Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area di immersione dei sedimenti dragati.

Nell'area della Costiera amalfitana potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati, la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data principalmente da Detritivori e Sospensivori (fig. 3.6.1.1.3); Tale composizione è determinata da fattori edafici ed idrodinamici, l'area è sottoposta ad intense correnti ed la natura del substrato è prevalentemente ghiaiosa, i detritivori presenti fanno parte dei taxa dei Policheti e dei Molluschi per la maggior parte.

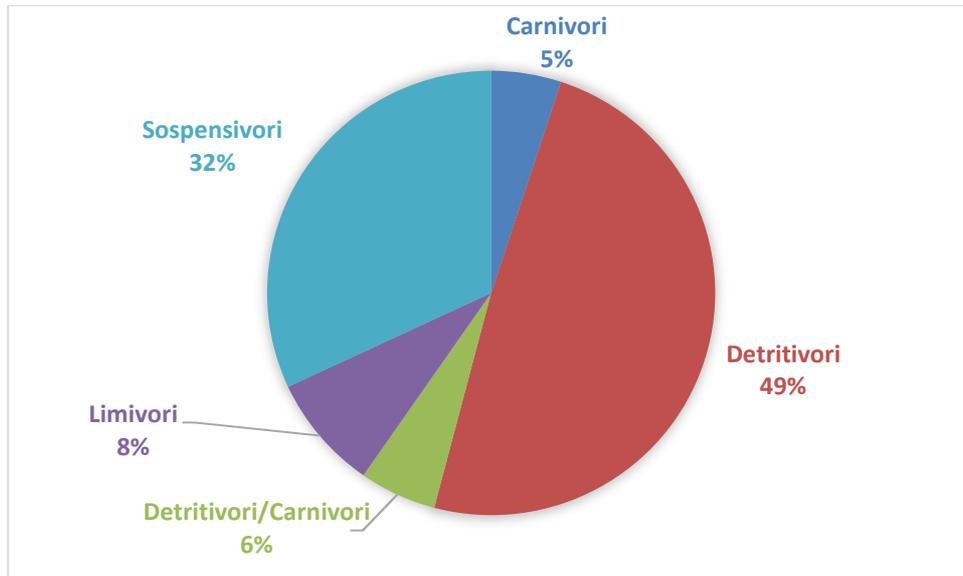


Figura 3.6.1.1.3. Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area della Costiera amalfitana potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati

Nell'area del litorale della Piana del Sele potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati, la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data soprattutto da Sospensivori (Fig. 3.6.1.1.4) I Sospensivori costituiscono di gran lunga il gruppo trofico più presente con il 90% degli individui, a causa di fattori edafici, cioè relativi al substrato. In questa zona, infatti, è presente un'associazione tipica delle SFBC, quella dei molluschi bivalvi *Spisula subtruncata* e *Variocorbula gibba*.

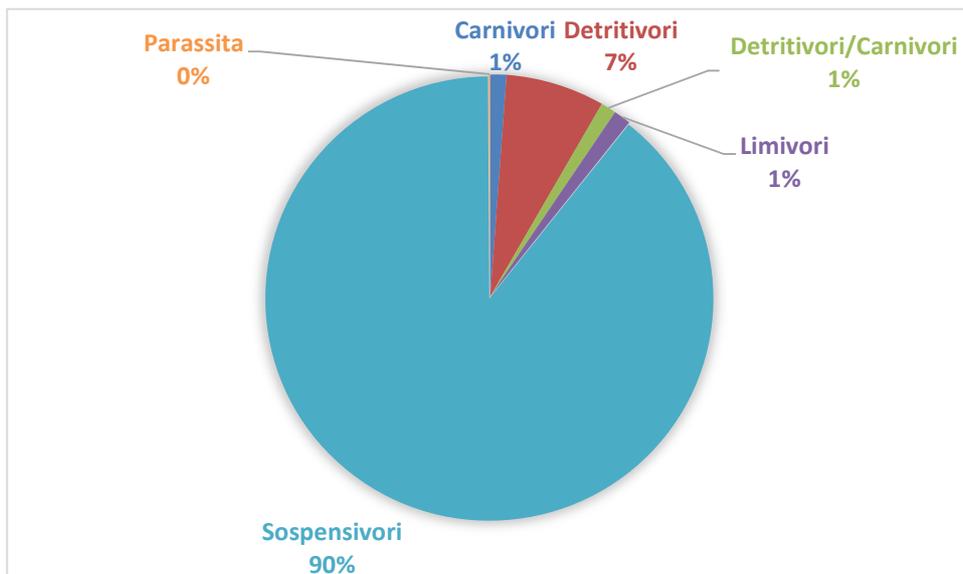


Figura 3.6.1.1.4. Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area del litorale della Piana del Sele potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati.

Nelle quattro aree soggette dello studio, soprattutto nelle tre aree costiere, l'analisi delle caratteristiche

trofiche ha evidenziato una prevalenza di Sospensivori riconducibile, come detto in precedenza, a fattori edafici. Le specie più abbondanti tra i sospensivori rinvenuti in tutta l'area appartengono al phylum Mollusca con i bivalvi *Spisula subtruncata* e *Variocorbula gibba*

Il sito di immersione dei sedimenti dragati invece mostra una composizione in linea con la tipologia di fondale e di profondità con una prevalenza di Detritivori e Limivori.

Nell'area di immersione dei sedimenti dragati quasi tutti i detritivori più abbondanti appartengono ai taxa dei Molluschi o dei Policheti.

I Limivori nell'area del sito d'immersione rappresentano il 17% degli individui. In particolare sono stati rinvenuti i Policheti appartenenti alle famiglie degli Capitellidae, e Maldanidae. Questi Anellidi sono poco mobili, vivono infossati e scavano gallerie non permanenti nel sedimento. Per quanto riguarda la distribuzione di questa categoria, nei fondi mobili i Limivori sono influenzati più dalla granulometria del sedimento che dalla disponibilità di cibo. La massiccia presenza di particelle fini favorisce, infatti, tanto la penetrazione nel sedimento quanto la sua ingestione. È chiaro, perciò, che essi aumentano con la profondità in relazione all'arricchimento in peliti del substrato. Nello stock zoobentonico sottoposto ad analisi i limivori appartengono tutti al gruppo dei policheti come *Maldane glebiflex*, *Rhodine loveni* e *Praxillella gracilis*.

I Carnivori sono organismi macrofagi per lo più mobili che si nutrono di prede vive e di resti di animali morti, le cui strutture prensili sono spesso il risultato di un adattamento morfo-funzionale alla preda. Fra questi uno dei presenti è il polichete *Nephtys hombergi*. Carnivori tipici sono anche la maggior parte dei Crostacei Decapodi, gli Echinodermi appartenenti alla classe degli Asteroidi. La distribuzione dei rappresentanti di questa categoria funzionale, presente solo nel sito di immersione con percentuali più consistenti (26%) è indipendente dalla profondità, dato che questi organismi, legati troficamente alle loro prede, sono solo indirettamente correlati con i parametri abiotici, come la natura del substrato e l'idrodinamismo.

La categoria trofica degli Erbivori, ben rappresentata nelle comunità superficiali di substrato duro, è pressoché assente nelle biocenosi di fondo mobile; difatti, nell'area in esame ne sono stati rinvenuti solo 7 individui dell'anfipode *Aora*.

La categoria funzionale dei Detritivori è generalmente quella meglio rappresentata nei fondi mobili non superficiali e/o di moda calma.

3.6.1.2 Area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio - Analisi Strutturale

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (A08, A11, A14, A17, A72) ha condotto all'individuazione complessiva di 5119 individui appartenenti a 136 taxa. IL 57 % del popolamento è rappresentato dal mollusco bivalve *Spisula subtruncata* mentre del restante 43% il 17% è rappresentato dai molluschi *Varicorbula gibba* e *Lucinella divaricata*, il tanaidaceo *Apseudopsis latreilli*, il polichete *Ditrupea arietina* e l'anfipode *Pseudolirius kroyeri*.

In termini di preferenze ecologiche la comunità è caratterizzata da specie appartenenti a differenti categorie bionomiche oltre un elevato numero di specie strettamente sabulicole e vasicole, a larga ripartizione ecologica e altre descritte in letteratura come indicatrici di instabilità ma fra le specie molto sensibili ai disturbi si annoverano proprio le più abbondanti *Spisula subtruncata*, *Lucinella divaricata* e *Ditrupea arietina*. *Varicorbula gibba*, presente con il 6,5% degli individui, pur essendo un indicatore di instabilità si presenta frequentemente in associazione con *Spisula subtruncata* nella biocenosi delle SFBC.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento ricco in specie in tutte le stazioni. Il numero di individui è particolarmente elevato nelle stazioni A08, A14, A17 (Figura 3.6.1.2.2). I valori più elevati si riscontrano in A17 e il valore più basso in A11 (Figura 3.6.1.2.1). Valori elevati dell'indice di equiripartizione di Pielou (J) sono presenti in quasi tutte le stazioni tranne che per la A17, dove è presente un elevato numero di un'unica specie, il mollusco *Spisula subtruncata*. Nelle altre stazioni dell'area esaminata gli individui si distribuiscono in modo uniforme tra le specie (Figura 3.6.1.2.2).

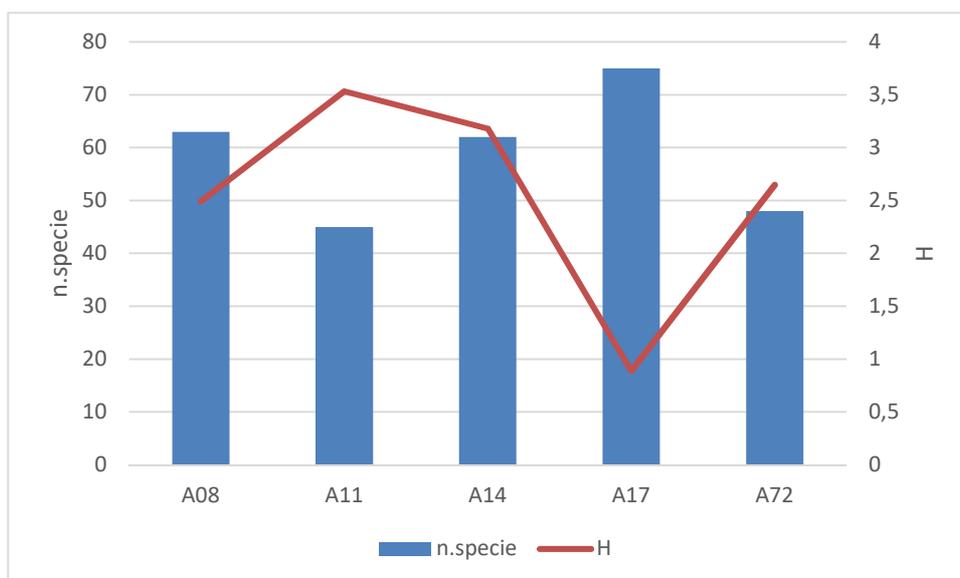


Figura 3.6.1.2.1. Indice di diversità specifica di Shannon Weaver nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio.

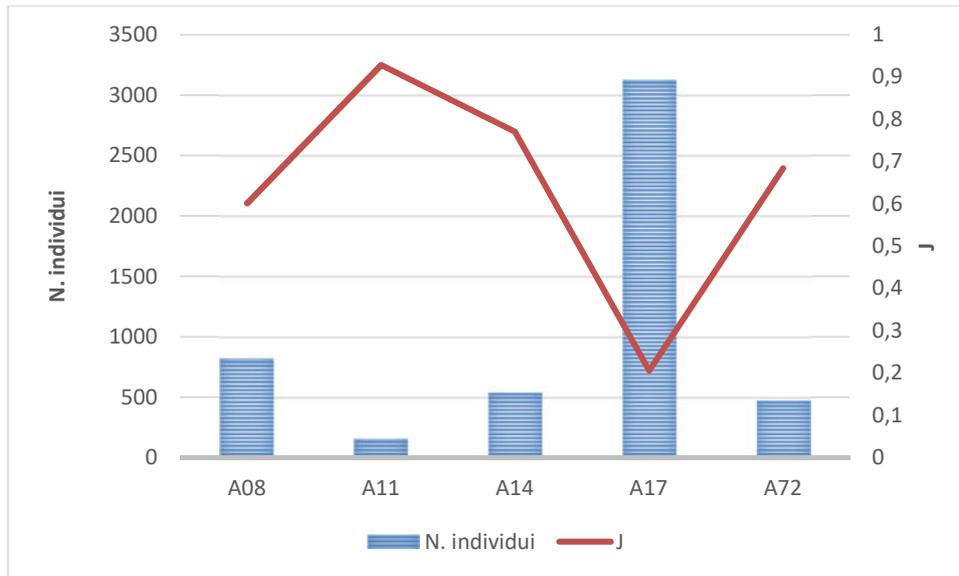


Figura 3.6.1.2.2. Indice di equiripartizione di Pielou nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio.

Il calcolo dell'indice AMBI e la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico è stato riportato nel grafico di figura 3.6.1.2.3. I gruppi ecologici presenti in tutte le stazioni sono il gruppo GI, GII e GIV. I primi due gruppi sono i più rappresentati mentre il gruppo GIV è caratterizzato da valori molto bassi (Figura 3.6.1.2.3). L'indice AMBI presenta invece valori inferiori a 2 (Figura 3.6.1.2.3) indicanti un ambiente non disturbato o leggermente disturbato con un ECoQ alto e buono (Figura 3.6.1.2.4).

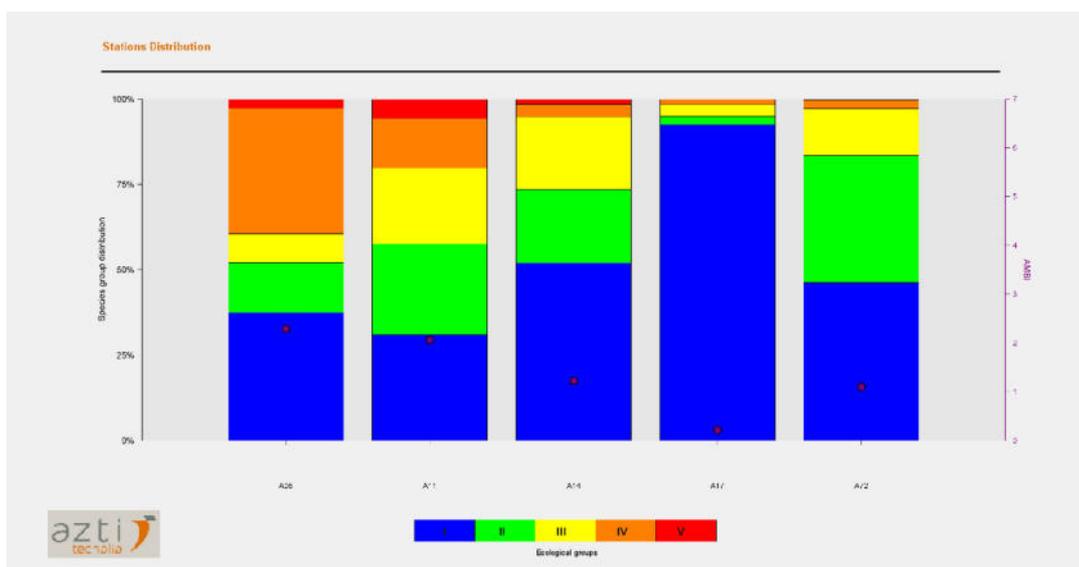


Figura 3.6.1.2.3. Indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all'interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio.

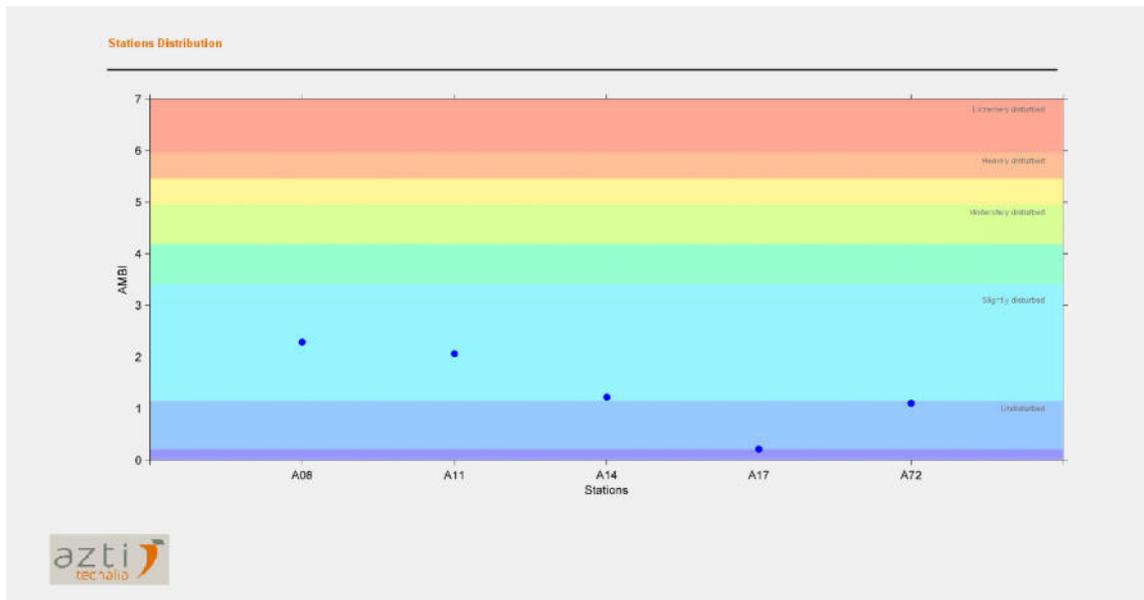
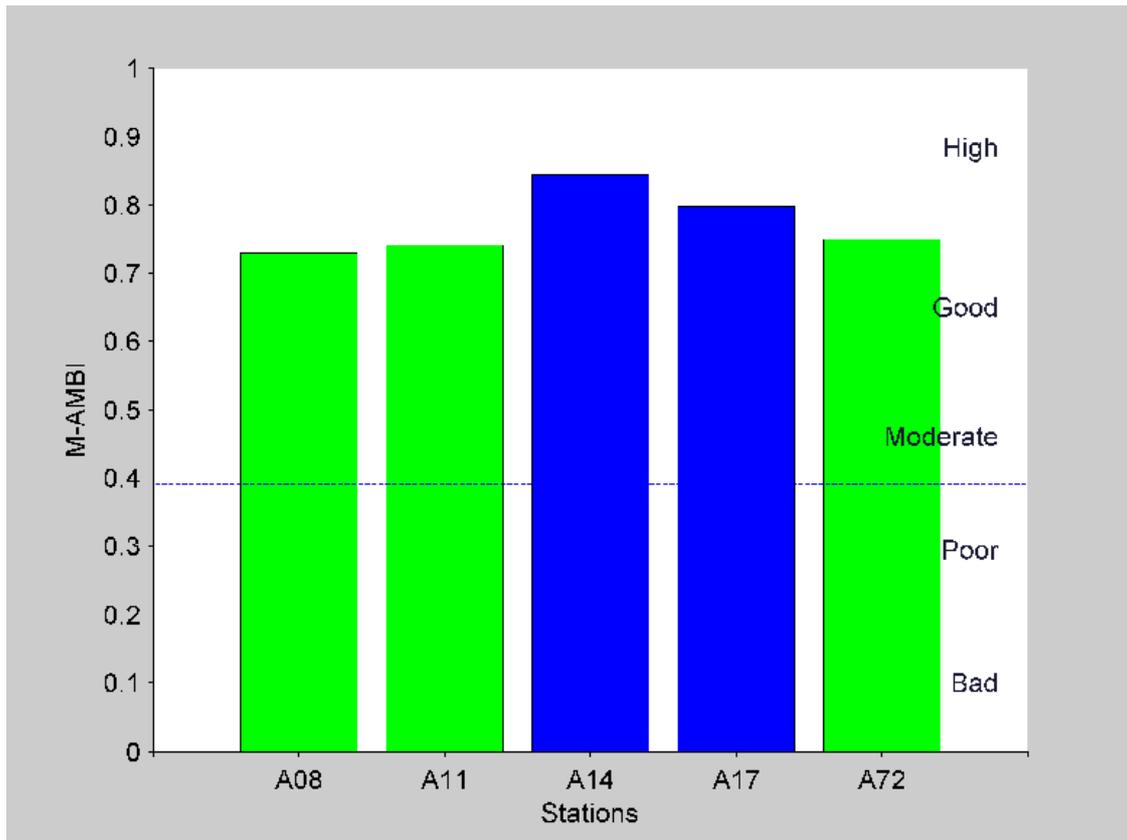


Figura 3.6.1.2.4. Indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio

In figura 3.6.1.2.5 sono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Le stazioni A14 e A17 presentano un RQE High (blu) e le altre un RQE Good (in verde).

Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna ante-operam mostra nella campagna in Corso d'Opera valori simili con una lieve riduzione del giudizio qualitativo nelle stazioni A08, A11 ed A72 che comunque presentano valori di RQE Good (in verde).



Stations	AMBI	Diversity	Richness	X	Y	Z	M-AMBI	Status
Bad	6	0	0	-43.521	-28.786	-0.15618	0	Bad
High	0.21	5.1	74	18.512	13.639	0.059656	1	High

Figura 3.6.1.2.5. Indice M-AMBI nelle stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio Rapporto di Qualità Ecologica (RQE).

3.6.1.3 Area di immersione - Analisi Strutturale

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area di immersione (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75, A76) ha portato all'individuazione di un totale di 251 individui la cui identificazione ha condotto all'identificazione complessiva di 45 taxa. Il 34,5% del popolamento è costituito da due policheti *Aponuphis* sp e *Rhodine loveni* e la maggior parte delle specie è costituito proprio da policheti seguiti dal taxon dei molluschi.

La composizione del popolamento in termini di preferenze ecologiche evidenzia che per la maggior parte si tratta di specie vasicole legate alla componente fangosa ampiamente riscontrata in ciascun campione data la profondità delle stazioni esaminate.

L'andamento dell'indice di Shannon Weaver (H') presenta tre valori più elevati nelle stazioni A74, A21 ed A23 (Figura 3.6.1.3.1), che sono anche le stazioni maggiormente ricche in specie. Un valore molto basso è presente nella stazione A22

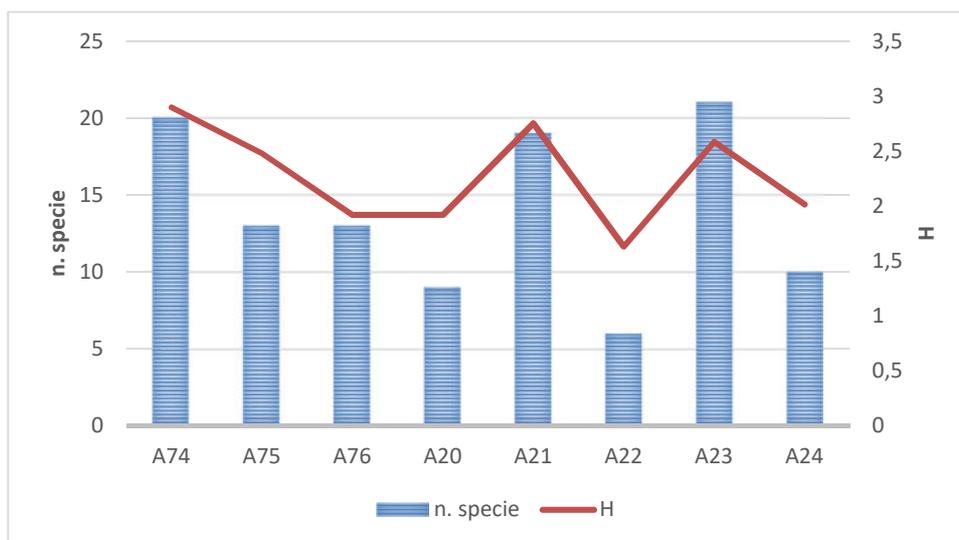


Figura 3.6.1.3.1. Andamento dell'indice di diversità specifica di Shannon Weaver nell'area di immersione.

L'indice di equitabilità di Pielou (J) mostra un andamento abbastanza costante in tutte le stazioni campionate e con valori che mostrano un'equidistribuzione quantitativa delle specie. (Figura 3.6.1.3.2).

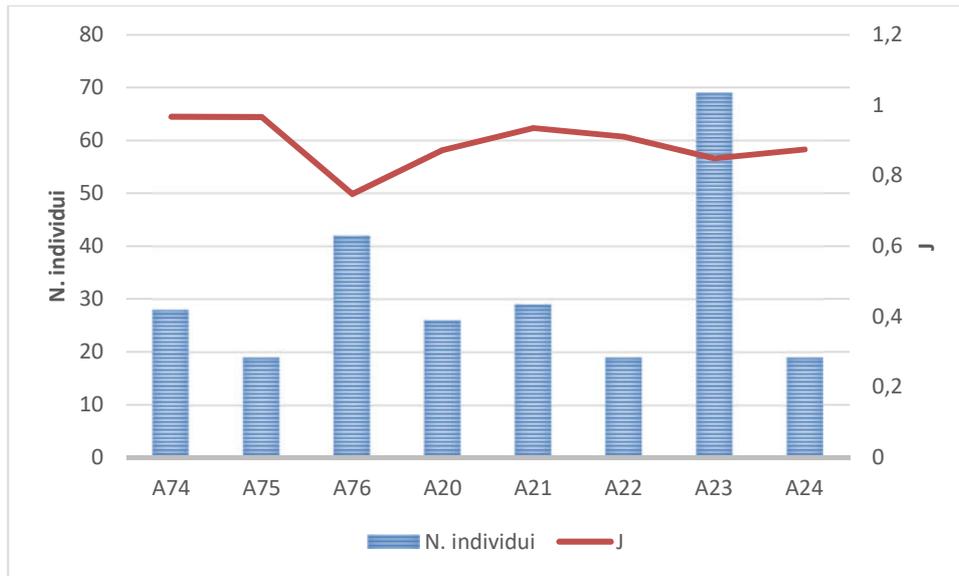


Figura 3.6.1.3.2. Andamento dell'indice di equità di Pielou nell'area di immersione.

Il calcolo dell'indice AMBI e la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico è stato riportato nel grafico di figura 3.6.1.3.3. I gruppi ecologici maggiormente rappresentati sono il gruppo GI e GII, caratterizzato da specie molto sensibili all'arricchimento organico, seguito dal gruppo GII, presente in 7 stazioni su 8, e dal gruppo GIII, presente in 6 stazioni su 8. Non ci sono specie appartenenti al gruppo GV e solo in una stazione (A23) troviamo specie appartenenti al gruppo GIV.

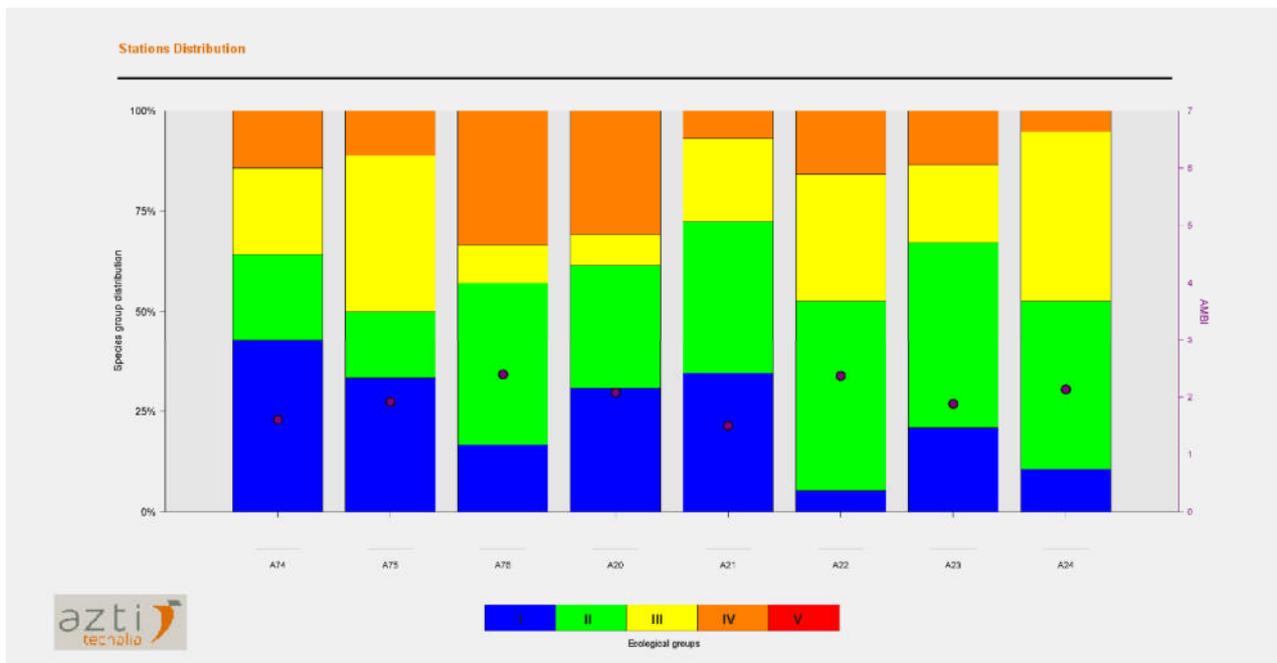


Figura 3.6.1.3.3. Andamento dell'indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all'interno di ciascuna stazione nell'area di immersione dei sedimenti.

In tutte le stazioni l'indice ha evidenziato valori compresi $1,2 < \text{AMBI} < 3$ indicanti un ambiente leggermente disturbato ed un ECoQ buono. (Figura 3.6.1.3.4).

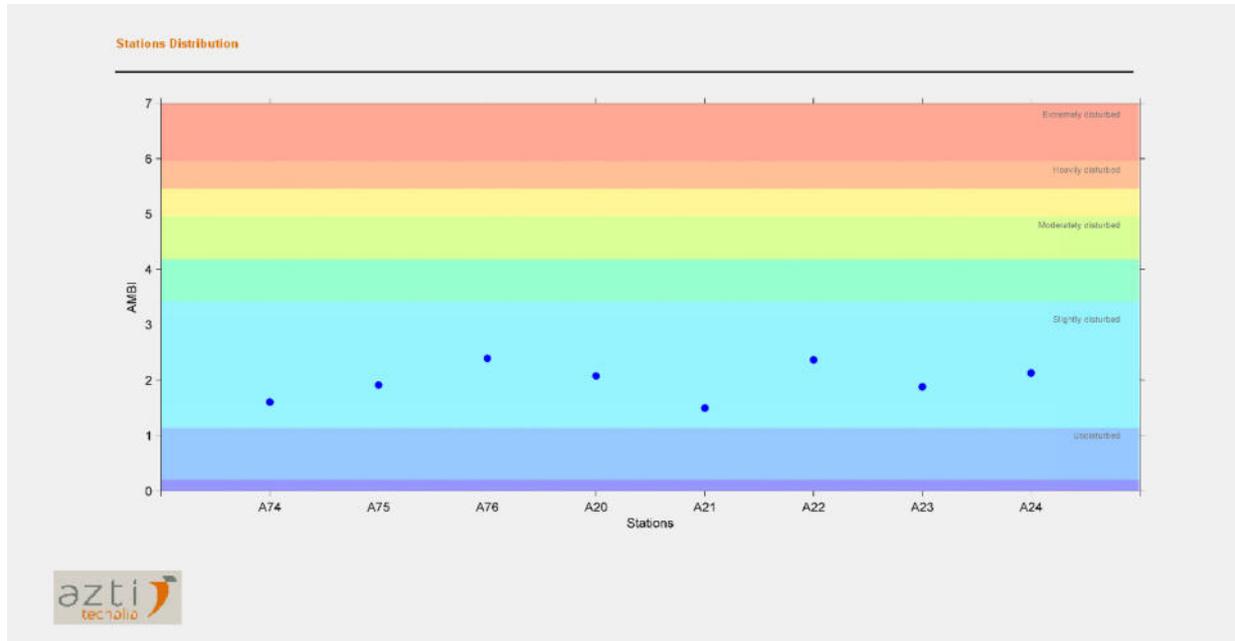
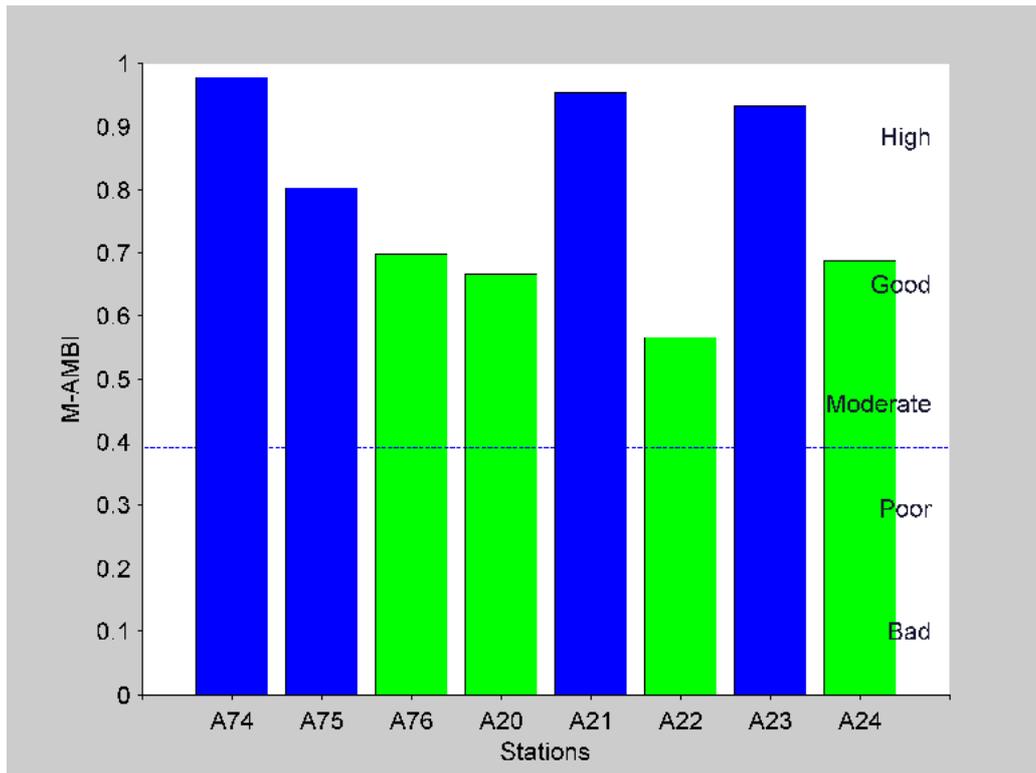


Figura 3.6.1.3.4. Indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni dell'area di immersione.

In figura 3.6.1.3.5 vengono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Il 50% delle stazioni presentano un RQE *High*, le altre stazioni presentano un RQE *Good* (verde).

Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna ante-operam mostra nella campagna in Corso d'Opera valori superiori ed il rapporto di Qualità ecologica (RQE) che presenta un miglioramento per le stazioni A75, A21 e A23 con un RQE *High* (blu), solo la stazione A76 ha una riduzione nel RQE con un RQE *Good* (verde). Tale miglioramento può essere attribuito al differente periodo di monitoraggio, inverno Ante-Operam, primavera Corso-d'Opera. La stagionalità ha un ruolo importante sui cicli di riproduzione degli organismi bentonici. Infatti primavera ed autunno sono i periodi di maggiore riproduzione degli organismi.



Stations	AMBI	Diversity	Richness	X	Y	Z	M-AMBI	Status
Bad	6	0	0	50.917	-44.677	-0.39764	0	Bad
High	1.5	4.18	21	-17.184	18.582	0.15307	1	High

Figura 3.6.1.3.5. Andamento dell'indice M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nell'area di immersione.

L'elaborazione dei dati ha fornito un'analisi sulla composizione e sulla struttura della comunità. La composizione bionomica ha messo in evidenza che si tratta di un popolamento estremamente influenzato dalla componente fangosa del sedimento. È un dato comprensibile dal momento che il *range* batimetrico delle stazioni considerate varia da poche centinaia di metri a circa quattrocento metri di profondità. Si tratta, per la maggior parte, di specie che, indipendentemente dalla loro abbondanza, vivono preferenzialmente o esclusivamente in quel particolare biotopo. Ricontriamo, infatti, principalmente specie vasicole in senso stretto, tolleranti o esclusive di particolari biocenosi (VTC, VP, SVMC) e specie a larga ripartizione ecologica (Lre).

Dal punto di vista strutturale, gli indici di ricchezza specifica e di diversità evidenziano un popolamento diversificato. L'indice di equità di Pielou, presentando valori elevati quasi in tutte le stazioni, evidenzia una distribuzione omogenea degli individui all'interno delle specie.

3.6.1.4 Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione - Analisi Strutturale

L'analisi tassonomica delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione è stata fatta identificando due aree, diverse per substrato e molto distanziate fra di loro spazialmente.

L'area corrispondente alla Costiera amalfitana (A47, A50, A53) e l'area del litorale della Piana del Sele (A59, A62, A65, A68).

Area Costiera amalfitana

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area della Costiera amalfitana ha condotto all'individuazione complessiva di 1547 individui e di 107 taxa. Il 45% degli individui è costituito dai due molluschi *Varicabula gibba* e *Spisula subtruncata* che spesso si presentano in associazione fra loro nella biocenosi delle SFBC. Da notare la presenza dei due policheti limivori *Owenia fusiformis* e *Galathowenia oculata* con il 16,7% degli individui, specie che insieme a *Varicabula gibba* sono indicatrici di elevata concentrazione di materia organica.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento ricco ed abbastanza diversificato nelle tre stazioni dell'area. Il numero delle specie è risultato particolarmente elevato nella stazione A53 (Figure 3.6.1.4.1-3.6.1.4.2). L'indice di equiripartizione di Pielou (J) mostra una riduzione proprio nella stazione A53 in quanto il popolamento della stazione ha un grande numero di individui appartenenti alle due specie di molluschi sopracitati *Varicabula gibba* e *Spisula subtruncata* (Figura 3.6.1.4.2).

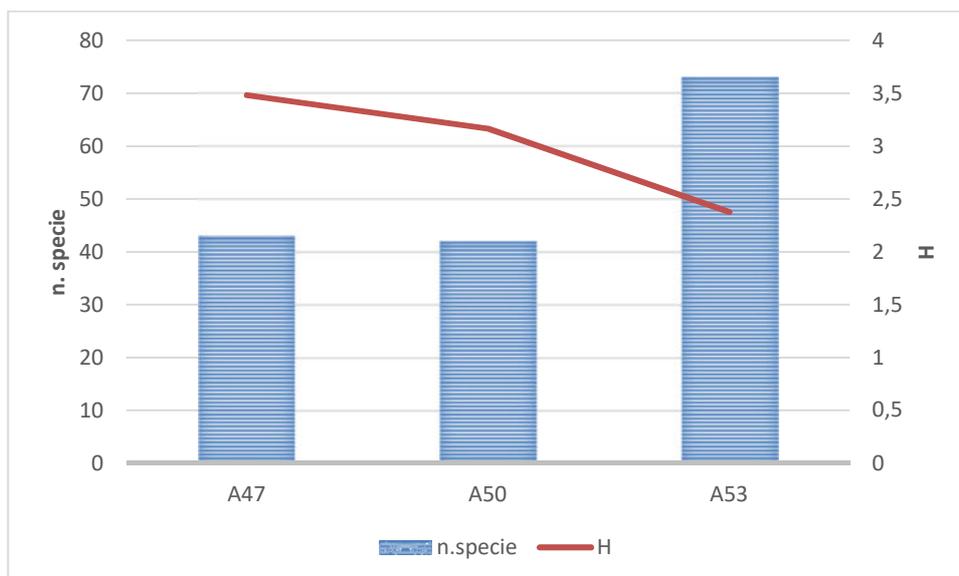


Figura 3.6.1.4.1. Indice di diversità specifica di Shannon Weaver nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

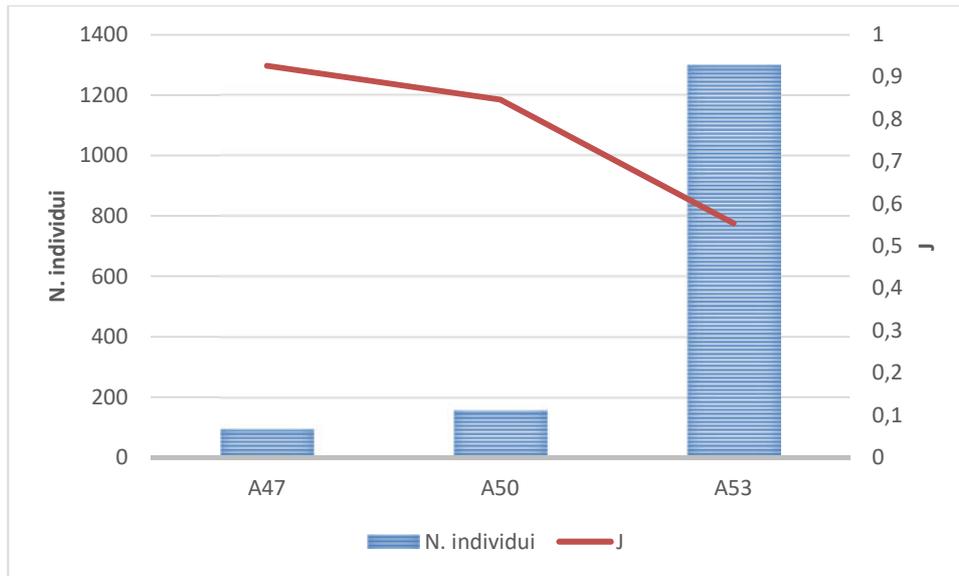


Figura 3.6.1.4.2. Indice di equiripartizione di Pielou nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

Il calcolo dell'indice AMBI e la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico è stato riportato nei seguenti grafici. I gruppi ecologici GI, GII hanno i più alti valori percentuali. I rimanenti gruppi si distribuiscono diversamente in ciascuna stazione (Figura 3.6.1.4.3). L'indice AMBI presenta invece valori inferiori a 2 (Figura 3.6.1.4.3) indicanti un ambiente non disturbato o leggermente disturbato con un ECOQ alto e buono (Figura 3.6.1.4.4).

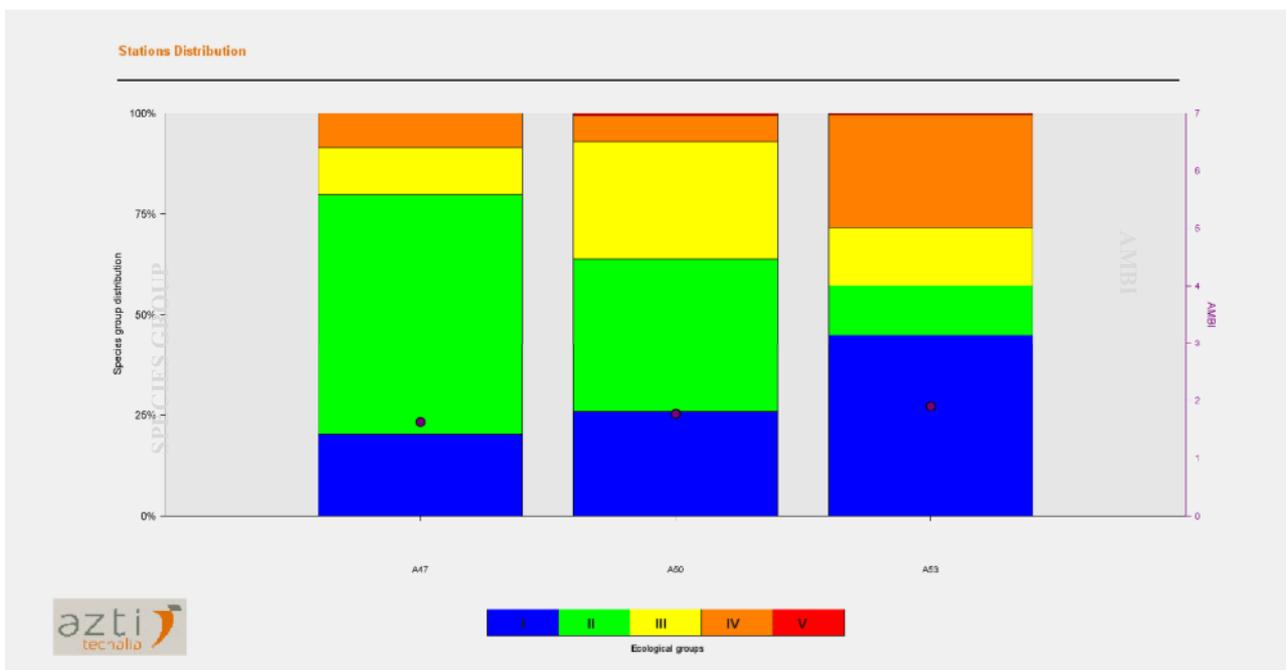


Figura 3.6.1.4.3. Indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all'interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

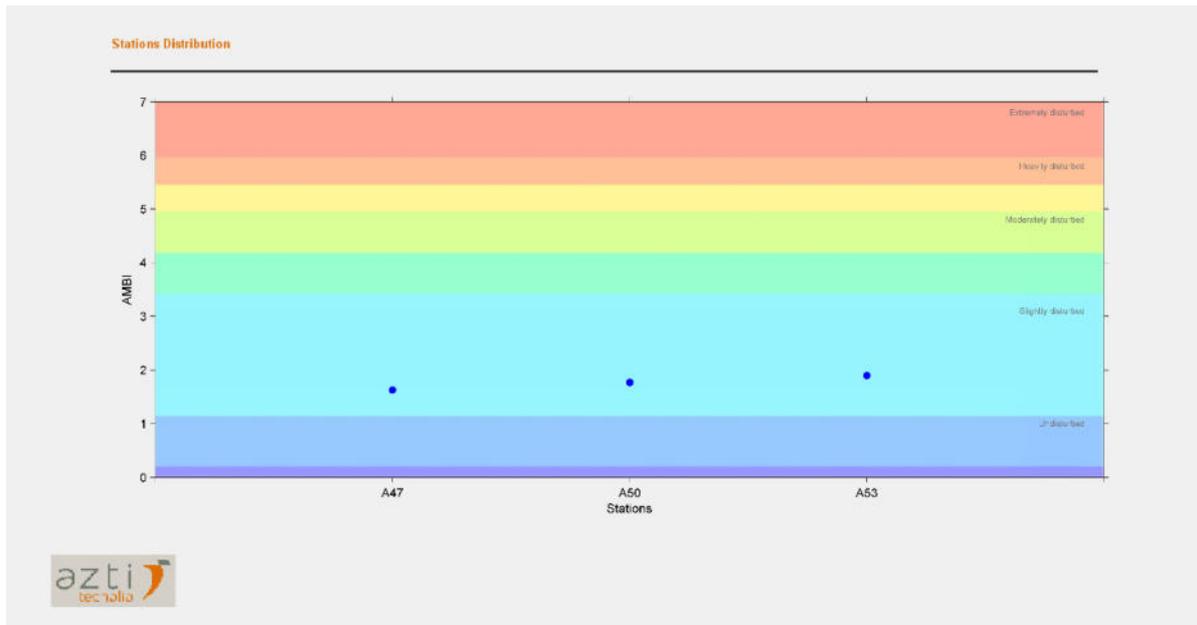


Figura 3.6.1.4.4. Indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

In figura 3.6.1.4.5 sono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Tutte le stazioni presentano un RQE High (blu).

Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna ante-operam mostra nella campagna in Corso d'Opera valori superiori ed il rapporto di Qualità ecologica (RQE) che presenta un miglioramento per le tre stazioni con un RQE *High* (blu). Tale miglioramento può essere attribuito al differente periodo di monitoraggio, inverno Ante-Operam, primavera Corso-d'Opera. La stagionalità ha un ruolo importante sui cicli di riproduzione degli organismi bentonici. Infatti primavera ed autunno sono i periodi di maggiore riproduzione degli organismi.

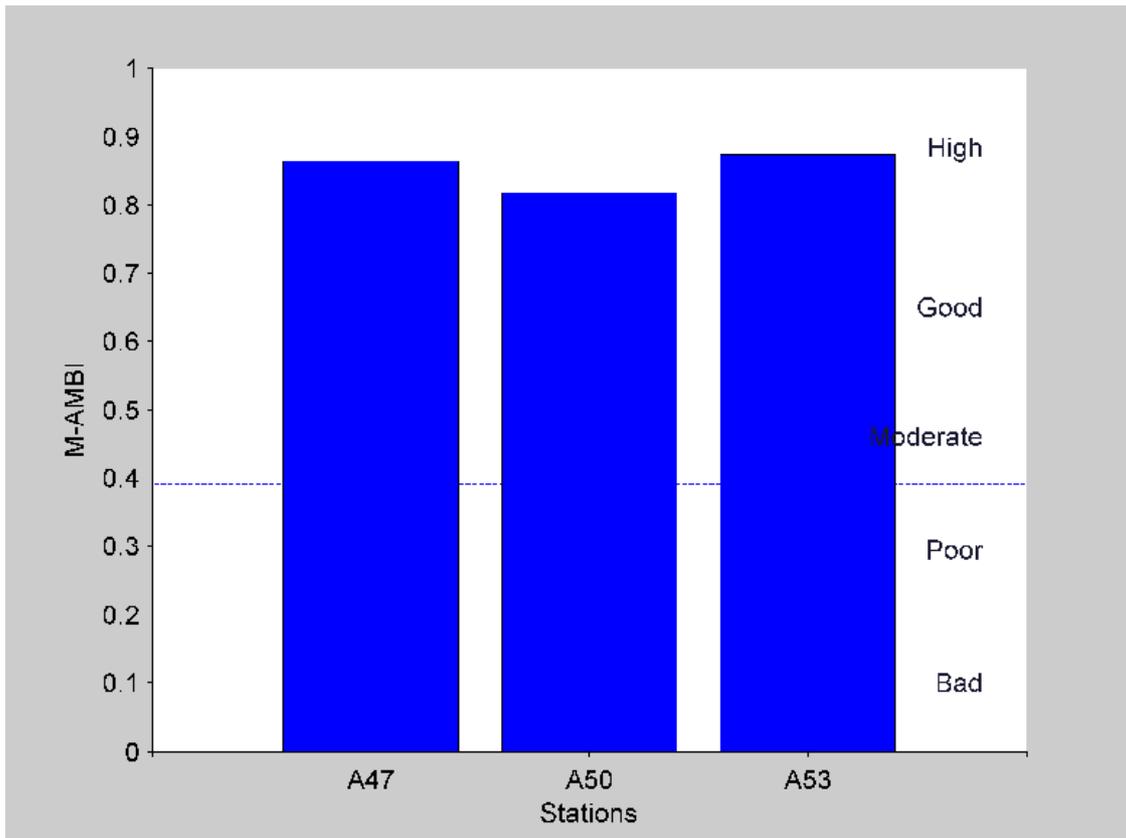


Figura 3.6.1.4.5. Andamento dell'indice M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nelle aree potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione.

Stations	AMBI	Diversity	Richness	X	Y	Z	M-AMBI	Status
Bad	6	0	0	36.989	30.366	0.25598	0	Bad
High	1.63	5.03	73	-14.112	-13.427	0.076421	1	High

Area litorale della Piana del Sele

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area del litorale della Piana del Sele ha condotto all'individuazione complessiva di 11.173 individui e 120 taxa. L'elevato numero di individui è dovuto alla presenza del mollusco bivalve *Spisula subtruncata* con 9744 individui rappresenta l'87% del popolamento dell'area, la maggior parte degli individui di tale bivalve sono stati trovati nelle stazioni A65 e A68.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento ricco e diversificato. Il numero delle specie e il numero degli individui è risultato particolarmente elevato nelle stazioni A59, A65 e A68 (Figure 3.6.1.4.6-3.6.1.4.7). L'indice di diversità di Shannon Weaver (H') mostra valori maggiori di 3 in A59 e A62 con un minimo nella stazione A62 (Figura 3.6.1.4.6). L'indice di equiripartizione di Pielou (J) invece mostra un punto di cuspidè in corrispondenza della stazione A65 con il valore più basso dovuto all'elevata abbondanza del mollusco *Spisula subtruncata* (Figura 3.6.1.4.7).

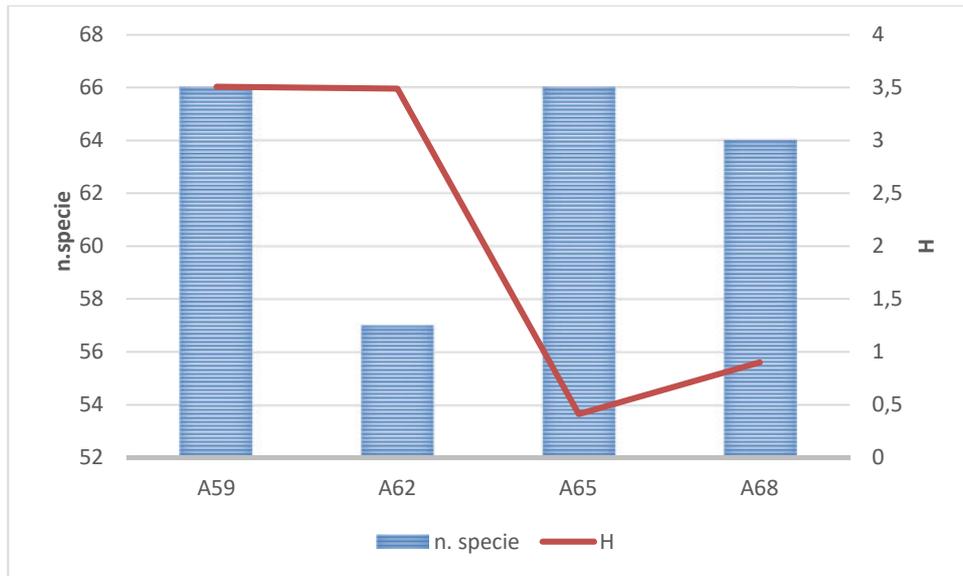


Figura 3.6.1.4.6. Indice di diversità specifica di Shannon Weaver nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

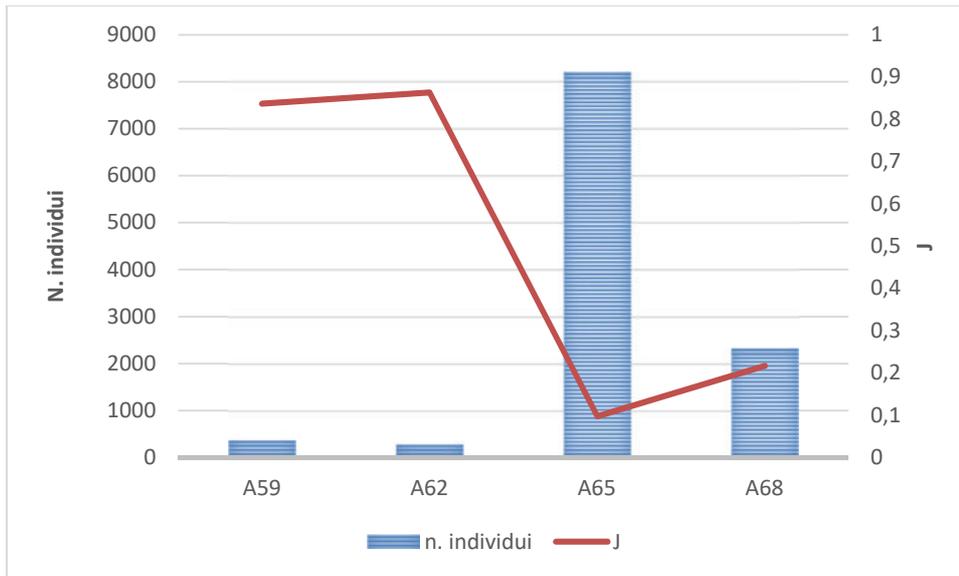


Figura 3.6.1.4.7. Indice di equiripartizione di Pielou nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

Nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio il calcolo dell'indice AMBI e la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico sono stati riportati nei seguenti grafici. I gruppi ecologici GI, GII oltre ad essere presenti in tutte le stazioni hanno i più alti valori percentuali. L'indice AMBI presenta invece valori inferiori o uguali a 2 (Figura 3.6.1.4.8) indicanti un ambiente non disturbato o leggermente disturbato con un ECoQ alto e buono (Figura 3.6.1.4.9).

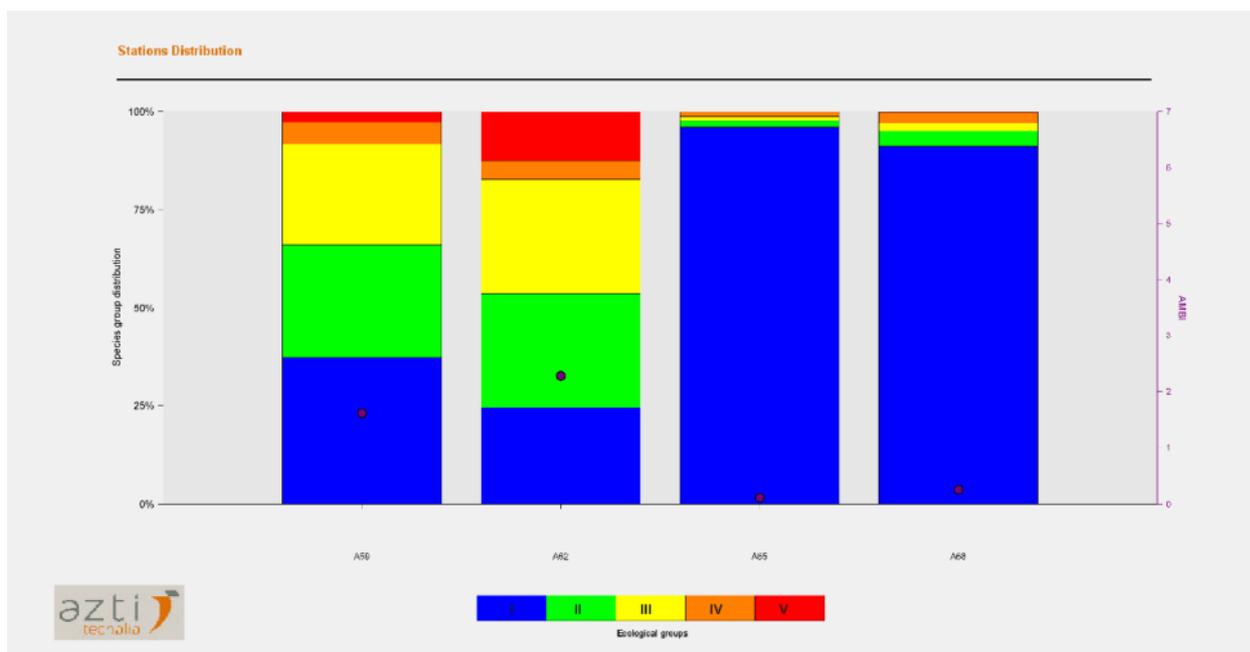


Figura 3.6.1.4.8. Indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all'interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

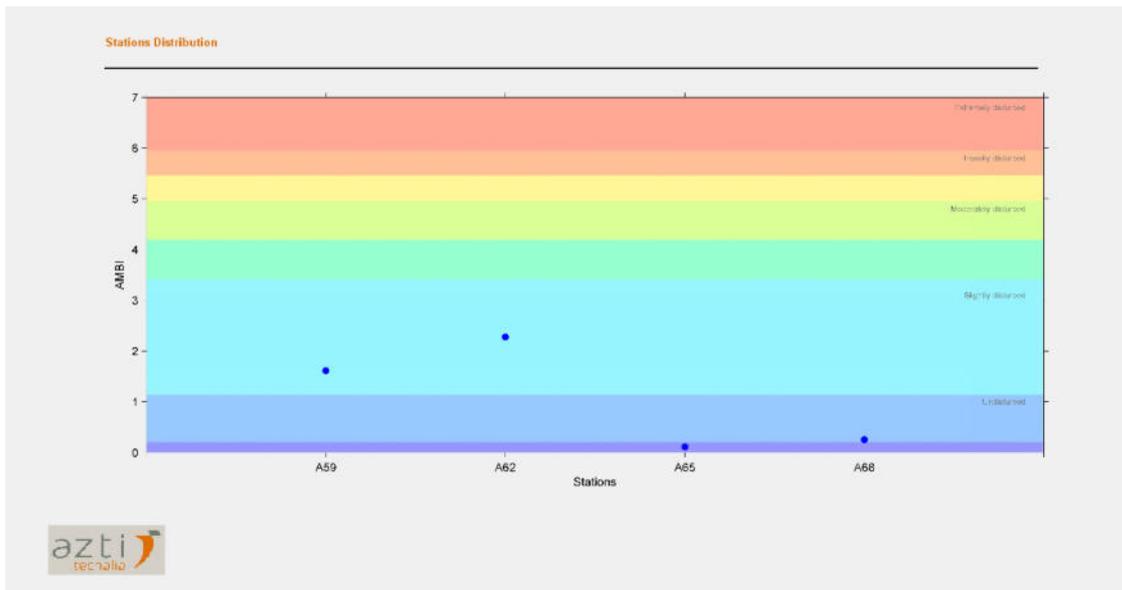
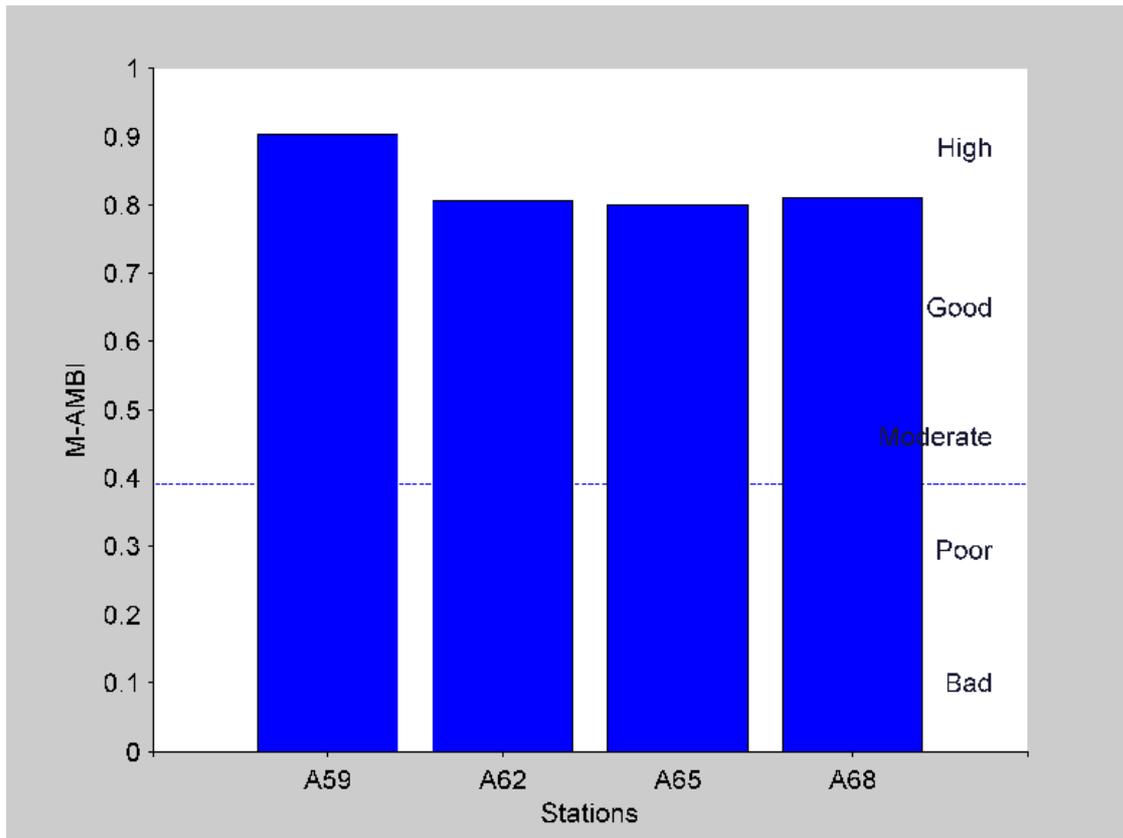


Figura 3.6.1.4.9. Indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

In figura 3.6.1.4.10 sono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Tutte le stazioni considerate un RQE High (blu).

Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna ante-operam mostra nella campagna in Corso d'Opera valori simili con il rapporto di Qualità ecologica (RQE) che si assesta per tutte le stazioni su valori elevati con un RQE *High* (blu).



Stations	AMBI	Diversity	Richness	X	Y	Z	M-AMBI	Status
Bad	6	0	0	39.696	-20.538	0.15817	1,85E-12	Bad
High	0.12	5.06	66	-13.378	11.365	0.028227	1	High

Figura 3.6.1.4.10. Andamento dell'indice M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nelle aree potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione.

3.5.1 Inquinanti prioritari nelle comunità macro-zoobentoniche

L'unico organismo campionato è il bivalve *Callista spp.* riportato in Figura 3.6.2.1. Le analisi hanno evidenziato concentrazioni sempre al di sotto del limite di rilevabilità per tutti i composti analizzati tra pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili (PCB), polibromodifenil eteri ed altri ritardanti di fiamma organo brominati (Tabella 3.6.2.1). Va tuttavia rimarcato che l'esiguità del tessuto, la mancanza di replicati e di campioni provenienti da più siti rende poco significativi e non interpretabili i risultati ottenuti su questo organismo.

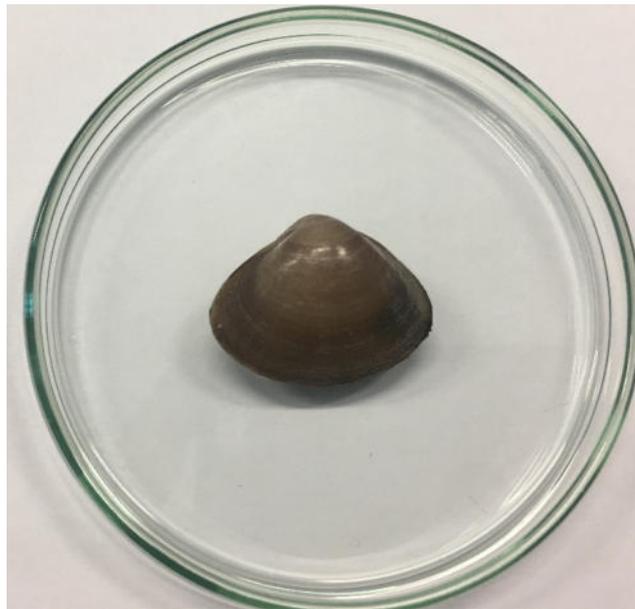


Figura 3.6.2.1. Campione di organismo bentonico, bivalve *Callista spp.*, recuperato nella stazione SF-65.

Tabella 3.6.2.1. Concentrazioni di composti organici persistenti, che includono pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili, polibromo-difenil eteri, altri ritardanti di fiamma organo brominati.

SF-65		
Pesticidi (ng/g p.s.)	Aldrin	< 0.1
	a-Chlordane	< 0.1
	g-Chlordane	< 0.1
	p,p'-DDD	< 0.1
	p,p'-DDE	< 0.1
	p,p'-DDT	< 0.1
	Dichlorobenzidine	< 0.1
	Dieldrin	< 0.1
	Endosulfan I	< 0.1
	Endosulfan II	< 0.1
	Endosulfan sulfate	< 0.1
	Endrin	< 0.1
	Endrin aldehyde	< 0.1
	Endrin ketone	< 0.1
	Heptachlor	< 0.1
	Heptachlor epoxide	< 0.1
	Hexachlorobenzene	< 0.1
	Hexachlorobutadiene	< 0.1
	a-Lindane	< 0.1
	b-Lindane	< 0.1
	d-Lindane	< 0.1
	g-Lindane	< 0.1
	Methoxychlor	< 0.1
	Mirex	< 0.1
Clorofenoli (ng/g p.s.)	2-Chlorophenol	< 0.1
	4-Chlorophenol	< 0.1
	2,4-Dichlorophenol	< 0.1
	2,4,6-Trichlorophenol	< 0.1

SF-65		
Pesticidi organo-fosfati (ng/g p.s.)	Azinphos-methyl	< 0.1
	Chlorpyrifos	< 0.1
	Dichlorvos	< 0.1
	Disulfoton	< 0.1
	Ethoprophos	< 0.1
	Fenchlorphos	< 0.1
	Methyl parathion	< 0.1
	Metolcarb	< 0.1
	Prothiofos	< 0.1
Ritardanti di fiamma (ng/g p.s.)	PBDE28	< 0.1
	PBDE47	< 0.1
	PBDE99	< 0.1
	PBDE100	< 0.1
	PBDE153	< 0.1
	PBDE154	< 0.1
	PBDE183	< 0.1
	Hexabromocyclododecane	< 0.1
	Tetrabromobisphenol A	< 0.1

Tabella 3.6.2.1. Continua...

SF-65		
Policlorobifenili (ng/g p.s.)	2-Chlorobiphenyl	< 0.1
	3-Chlorobiphenyl	< 0.1
	4-Chlorobiphenyl	< 0.1
	PCB4	< 0.1
	PCB7	< 0.1
	PCB8	< 0.1
	PCB11	< 0.1
	PCB13	< 0.1
	PCB15	< 0.1
	PCB16	< 0.1
	PCB17	< 0.1
	PCB18	< 0.1
	PCB19	< 0.1
	PCB23	< 0.1
	PCB26	< 0.1
	PCB28	< 0.1
	PCB32	< 0.1
	PCB33	< 0.1
	PCB36	< 0.1
	PCB38	< 0.1
PCB40	< 0.1	
PCB42	< 0.1	
PCB44	< 0.1	
PCB45	< 0.1	
PCB46	< 0.1	
PCB47	< 0.1	
PCB52	< 0.1	

SF-65		
Policlorobifenili (ng/g p.s.)	PCB58	< 0.1
	PCB66	< 0.1
	PCB70	< 0.1
	PCB77	< 0.1
	PCB81	< 0.1
	PCB90	< 0.1
	PCB101	< 0.1
	PCB105	< 0.1
	PCB118	< 0.1
	PCB126	< 0.1
	PCB127	< 0.1
	PCB128	< 0.1
	PCB130	< 0.1
	PCB138	< 0.1
	PCB146	< 0.1
	PCB153	< 0.1
	PCB156	< 0.1
	PCB169	< 0.1
	PCB170	< 0.1
	PCB175	< 0.1
PCB180	< 0.1	
PCB182	< 0.1	
PCB187	< 0.1	
PCB195	< 0.1	
PCB206	< 0.1	
PCB209	< 0.1	
PCB totali	< 0.1	

Tabella 3.6.2.1. Continua...

SF-65		
Policlorobifenili (ng/g p.s.)	2-Chlorobiphenyl	< 0.1
	3-Chlorobiphenyl	< 0.1
	4-Chlorobiphenyl	< 0.1
	PCB4	< 0.1
	PCB7	< 0.1
	PCB8	< 0.1
	PCB11	< 0.1
	PCB13	< 0.1
	PCB15	< 0.1
	PCB16	< 0.1
	PCB17	< 0.1
	PCB18	< 0.1
	PCB19	< 0.1
	PCB23	< 0.1
	PCB26	< 0.1
	PCB28	< 0.1
	PCB32	< 0.1
	PCB33	< 0.1
	PCB36	< 0.1
	PCB38	< 0.1
PCB40	< 0.1	
PCB42	< 0.1	
PCB44	< 0.1	
PCB45	< 0.1	
PCB46	< 0.1	
PCB47	< 0.1	
PCB52	< 0.1	

SF-65		
Policlorobifenili (ng/g p.s.)	PCB58	< 0.1
	PCB66	< 0.1
	PCB70	< 0.1
	PCB77	< 0.1
	PCB81	< 0.1
	PCB90	< 0.1
	PCB101	< 0.1
	PCB105	< 0.1
	PCB118	< 0.1
	PCB126	< 0.1
	PCB127	< 0.1
	PCB128	< 0.1
	PCB130	< 0.1
	PCB138	< 0.1
	PCB146	< 0.1
	PCB153	< 0.1
	PCB156	< 0.1
	PCB169	< 0.1
	PCB170	< 0.1
	PCB175	< 0.1
PCB180	< 0.1	
PCB182	< 0.1	
PCB187	< 0.1	
PCB195	< 0.1	
PCB206	< 0.1	
PCB209	< 0.1	
PCB totali	< 0.1	

4 Risultati – Biota

4.1 Bioaccumulo di contaminanti organici e inorganici

La Tabella 4.1.1 e la Figura 4.1.1 mostrano i risultati di bioaccumulo ottenuti per i mitili di riferimento (controllo al tempo=0) e per quelli traslocati nei siti denominati MW1, MW3, MW4, MW5: si ricorda che non sono stati ritrovati i mitili del sito MW2.

Per quanto riguarda i metalli, i valori sono bassi e rientrano sempre all'interno dei normali range di variabilità stagionale noti per questi organismi (Fattorini et al., 2008). Livelli tissutali tendenzialmente maggiori sono stati osservati per i mitili di MW1 e MW3, per quanto riguarda alluminio (Al), arsenico (As), cadmio (Cd), ferro (Fe), manganese (Mn), piombo (Pb), vanadio (V) e stagno totale (Sn). Tra questi, solo Cd, Fe, Pb e V riflettono una biodisponibilità mediamente superiore nelle zone relative ai siti interessati, mentre per tutti gli altri elementi le differenze non appaiono biologicamente rilevanti.

Bassi sono risultati anche i livelli dei composti organostannici e del TBT, benché quest'ultimo mostri una concentrazione tendenzialmente maggiore nei tessuti dei mitili traslocati nel sito MW3.

Valori bassi e privi di variazioni significative sono stati ottenuti per gli idrocarburi alifatici (C10-C40) e per gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), che mostrano livelli del tutto simili a quelli che possono essere ottenuti in popolazioni di mitili di riferimento, non soggette a fenomeni di contaminazione (Bocchetti et al., 2008; Benedetti et al., 2014; Etiope et al., 2014; Regoli et al., 2019).

Anche se con una distribuzione generalmente limitata ad alcune aree, i mitili traslocati in tutta l'area oggetto di studio hanno evidenziato livelli misurabili di alcuni pesticidi clorurati, tra i quali Endrin, Endrin aldehyde, Endrin ketone, Methoxychlor e Mirex, oltre ad alcuni pesticidi organofosfati, tra i quali Clorpyrifos, Disulfoton, Ethoprophos e Metolcarb. Benché le concentrazioni non risultino particolarmente elevate, la biodisponibilità di queste specie chimiche è da considerarsi comunque degna di nota e conferma quanto precedentemente osservato nei sedimenti, suggerendo attenzione.

Non sono stati misurati altri pesticidi o policlorobifenili (PCB), né ritardanti di fiamma e polibromodifenileteri (PBDE), in nessuna delle popolazioni di mitili traslocate.

I risultati complessivi del bioaccumulo sono stati elaborati utilizzando il software SediquaSoft per ottenere una classificazione del pericolo per la biodisponibilità. **L'elaborazione dei risultati tramite i criteri di integrazione ponderata evidenzia un livello di bioaccumulo Assente/Basso negli organismi trapiantati nelle stazioni MW4 e MW5 e un livello Medio negli organismi trapiantati nei siti MW1 e MW3 ottenuto a causa prevalentemente dell'aumento delle concentrazioni tissutali di Methoxychlor per MW1 e Methoxychlor, Disulfoton, Metolcarb per MW3 (Tabella 4.1.2).**

Tabella 4.1.1. Concentrazioni di metalli, composti organo-stannici, idrocarburi alifatici, idrocarburi policiclici aromatici e composti organici persistenti nei tessuti dei mitili traslocati ($\mu\text{g/g}$ o ng/g , peso secco, valori espressi come media \pm deviazione standard).

	CTRL	MW1	MW3	MW4	MW5
Metalli					
Al	46.7 \pm 6.43	380 \pm 109	310 \pm 89.7	131 \pm 65.4	145 \pm 87.6
As	17.7 \pm 1.04	25.7 \pm 4.05	20.1 \pm 5.41	20.9 \pm 2.21	19.1 \pm 0.738
Cd	0.664 \pm 0.108	1.2 \pm 0.286	0.715 \pm 0.155	0.613 \pm 0.0307	0.577 \pm 0.0732
Cr	0.717 \pm 0.121	0.949 \pm 0.297	0.676 \pm 0.106	0.476 \pm 0.048	0.492 \pm 0.115
Cu	3.97 \pm 1.08	7.96 \pm 1.8	5.47 \pm 1.23	3.86 \pm 0.369	4.12 \pm 0.5
Fe	292 \pm 33.2	1368 \pm 385	1120 \pm 414	552 \pm 179	692 \pm 403
Hg	0.0901 \pm 0.0106	0.122 \pm 0.00949	0.0681 \pm 0.0171	0.0698 \pm 0.00553	0.054 \pm 0.00903
Mn	6.48 \pm 0.71	18.3 \pm 4.9	11.6 \pm 2.49	7.06 \pm 1.48	9.59 \pm 8.16
Ni	1.21 \pm 0.271	1.7 \pm 0.332	1.13 \pm 0.156	0.736 \pm 0.269	0.757 \pm 0.281
Pb	0.975 \pm 0.231	3.29 \pm 0.93	2.37 \pm 1.07	1.13 \pm 0.439	1.48 \pm 0.36
V	1.24 \pm 0.278	6.68 \pm 1.83	2.95 \pm 0.613	2.03 \pm 0.808	2.75 \pm 0.995
Zn	164 \pm 91.7	340 \pm 115	156 \pm 50.5	194 \pm 38.1	210 \pm 46.5
Stagno ed organostannici					
Sn	2.57 \pm 1.02	7.12 \pm 2.93	8.09 \pm 1.1	4.83 \pm 2.33	4.02 \pm 1.89
OSn	0.715 \pm 0.242	1.59 \pm 1.91	1.05 \pm 0.998	0.387 \pm 0.0764	0.317 \pm 0.0565
TBT	0.00934 \pm 0.0054	0.00888 \pm 0.00428	0.0223 \pm 0.0128	0.0118 \pm 0.00124	0.0103 \pm 0.0142
Idrocarburi alifatici (C10-C40)					
>C10-C12	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
>C12-C14	1.01 \pm 0.446	1.12 \pm 0.571	2.55 \pm 2.32	2.66 \pm 2.79	1.21 \pm 0.465
>C14-C16	3.94 \pm 1.87	4.76 \pm 2.44	5.99 \pm 2.38	13.7 \pm 12.7	7.4 \pm 3.22
>C16-C18	17.3 \pm 6.32	19.4 \pm 5.16	30 \pm 7.46	26.3 \pm 8.78	28 \pm 10.8
>C18-C20	29.6 \pm 9.82	31.8 \pm 4.66	40.5 \pm 4.94	49.8 \pm 19	41.5 \pm 15.9
>C20-C22	30.5 \pm 7.23	33.4 \pm 7.77	36.9 \pm 9.04	50.3 \pm 22.1	34.2 \pm 16.7
>C22-C24	15.6 \pm 6.38	15.8 \pm 10.9	17 \pm 1.07	32.2 \pm 14.6	13.7 \pm 0.921
>C24-C26	12.5 \pm 4.2	13.9 \pm 4.21	14.1 \pm 3.47	12.2 \pm 7.86	7.62 \pm 4.01
>C26-C28	2.84 \pm 1.33	3.87 \pm 2.14	4.58 \pm 2	4.3 \pm 1.21	3.23 \pm 1.28
>C28-C30	6.3 \pm 3.31	6.37 \pm 1.83	9.09 \pm 2.26	8.53 \pm 4.38	9.47 \pm 3.86
>C30-C32	105 \pm 35.2	116 \pm 27.7	175 \pm 39.3	147 \pm 75.9	128 \pm 32.7
>C32-C34	38.1 \pm 21.6	36.1 \pm 6.99	61.4 \pm 10.6	41.1 \pm 30.9	42.4 \pm 18.5
>C34-C36	16.7 \pm 2.67	21.4 \pm 4.57	27.2 \pm 6.63	26.5 \pm 9.21	23.5 \pm 5.46
>C36-C38	7.31 \pm 2.25	8.39 \pm 1.91	11.1 \pm 2.8	12.4 \pm 4.31	9.33 \pm 3.08
>C38-C40	< 0.01	0.459 \pm 0.778	1.23 \pm 0.375	0.549 \pm 0.934	0.341 \pm 0.573
Idrocarburi totali	287 \pm 96.8	313 \pm 70.4	437 \pm 73.3	428 \pm 193	350 \pm 82

Tabella 4.1.1. Continua...

	CTRL	MW1	MW3	MW4	MW5	
Idrocarburi policiclici aromatici ng/g (ps)	Naftalene	58.5 ± 7.13	86.4 ± 24	36.7 ± 6.16	51 ± 8.03	
	Acenafilene	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	
	1-Metilnaftalene	8.59 ± 2.12	11.2 ± 4.05	20.3 ± 11.8	19.1 ± 22.2	7.6 ± 4.92
	2-Metilnaftalene	19.5 ± 1.24	15.9 ± 1.52	20.7 ± 1.65	12.2 ± 8.07	15.8 ± 2.62
	Acenaftene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Fluorene	2.56 ± 0.793	2.02 ± 0.179	3.1 ± 0.891	2.13 ± 0.0923	2.21 ± 0.148
	Fenantrene	12.2 ± 1.17	10 ± 0.508	12.5 ± 1.71	7.27 ± 6.22	10.8 ± 1.54
	Antracene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Fluorantene	3.8 ± 2.84	2.83 ± 0.99	5.27 ± 2.18	2.56 ± 1.42	2.04 ± 0.591
	Pirene	1.16 ± 0.253	0.827 ± 0.276	0.818 ± 0.204	0.458 ± 0.302	0.351 ± 0.0625
	Benzo(a)antracene	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Crisene	< 0.01	0.591 ± 0.223	1.24 ± 0.216	< 0.01	0.35 ± 0.0489
	7,12-Dimetilbenzo(a)antracene	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	Benzo(b)fluorantene	< 0.001	0.859 ± 0.589	0.64 ± 0.134	0.392 ± 0.248	0.44 ± 0.234
	Benzo(k)fluorantene	0.331 ± 0.18	0.227 ± 0.0643	0.251 ± 0.0716	0.147 ± 0.112	0.141 ± 0.0367
Benzo(a)pirene	0.17 ± 0.043	0.117 ± 0.0306	0.16 ± 0.0337	0.153 ± 0.0438	0.112 ± 0.0263	
Dibenzo(ah)antracene	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.147 ± 0.254	0.147 ± 0.253	
Benzo(ghi)perilene	< 0.001	0.221 ± 0.0818	0.246 ± 0.188	0.196 ± 0.176	0.214 ± 0.0109	
Indeno(123cd)pirene	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	
IPA basso PM	101 ± 10.6	83.7 ± 11.6	143 ± 37.5	77.4 ± 31.3	87.5 ± 16	
IPA alto PM	5.46 ± 3.07	5.67 ± 1.39	8.63 ± 2.57	4.06 ± 1.95	3.8 ± 0.684	
IPA totali	106 ± 11.1	89.4 ± 11.8	151 ± 40	81.5 ± 32.9	91.3 ± 15.7	
Pesticidi organoclorurati ng/g (ps)	Endrin	< 0.1	< 0.1	152 ± 263	64.4 ± 111	
	Endrin aldehyde	< 0.1	125 ± 216	< 0.1	20.2 ± 19.2	
	Endrin ketone	< 0.1	16.8 ± 28.9	< 0.1	13.9 ± 23.9	
Pesticidi organofosfati ng/g (ps)	Methoxychlor	< 0.1	6.04 ± 10.2	< 0.1	< 0.1	
	Mirex	< 0.1	0.65 ± 0.953	< 0.1	< 0.1	
	Azinphos-methyl	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
Pesticidi organofosfati ng/g (ps)	Clorpirifos	< 0.1	< 0.1	46.1 ± 79.7	6.93 ± 11.8	
	Disulfoton	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	Ethoprophos	< 0.1	< 0.1	< 0.1	36.5 ± 63.1	
	Methyl paration	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	Metolcarb	< 0.1	< 0.1	2.54 ± 4.22	1.04 ± 1.64	

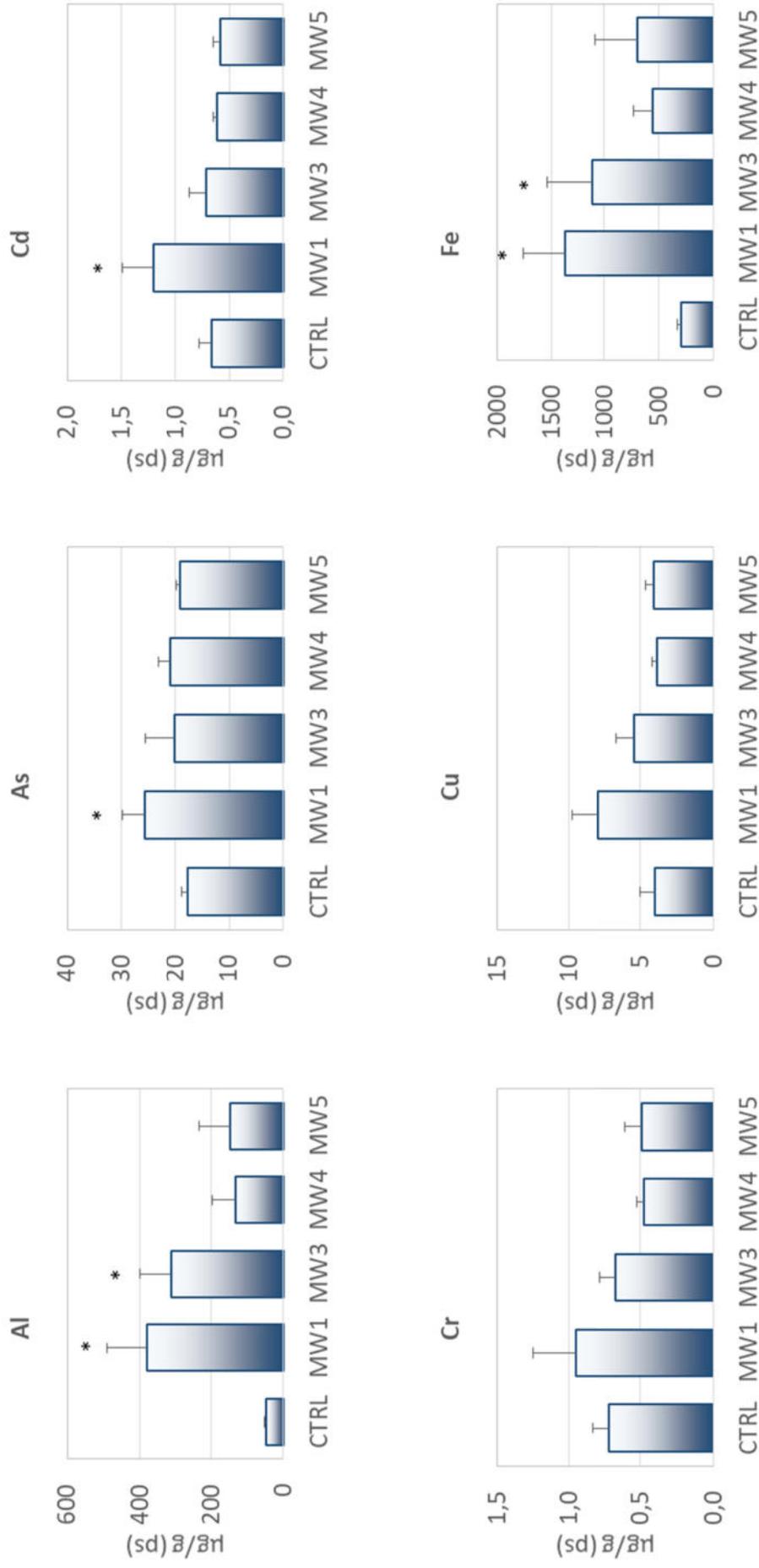


Figura 4.1.1 - Concentrazioni di metalli, composti organo-stannici, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e composti organici persistenti nei mitili traslocati (valori medi \pm deviazione standard).

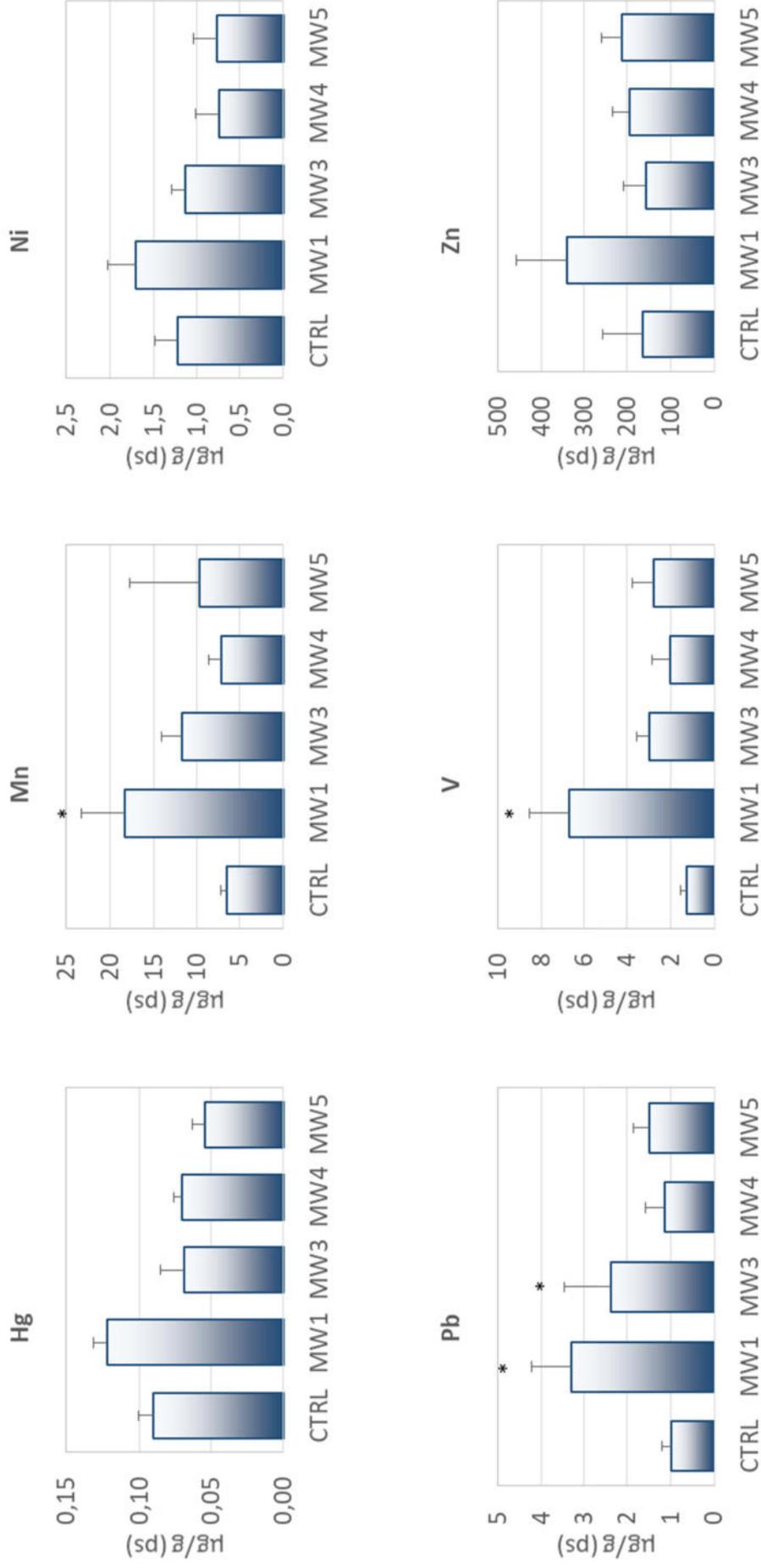


Figura 4.1.1. Continua...

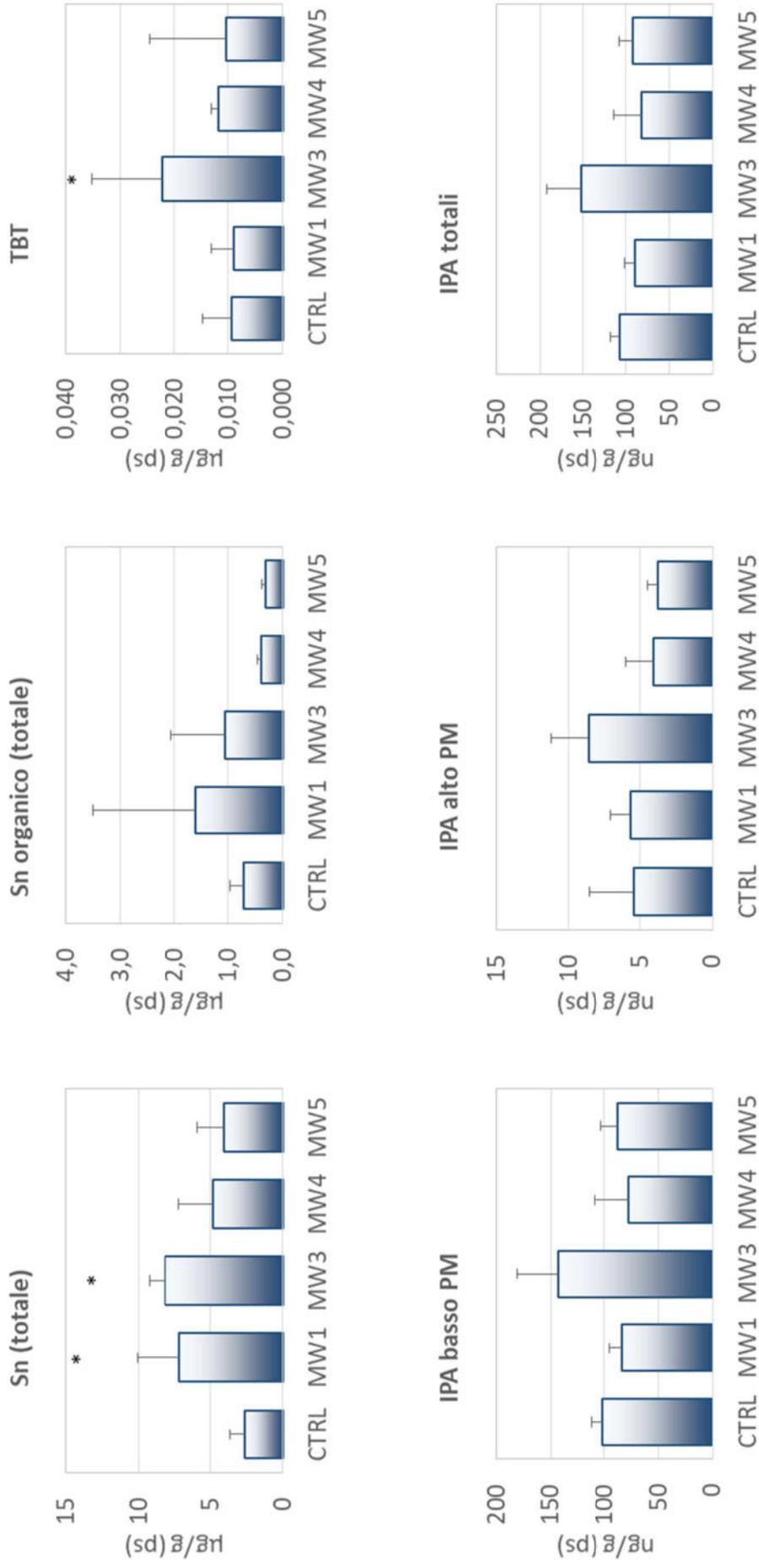


Figura 4.1.1. Continua...

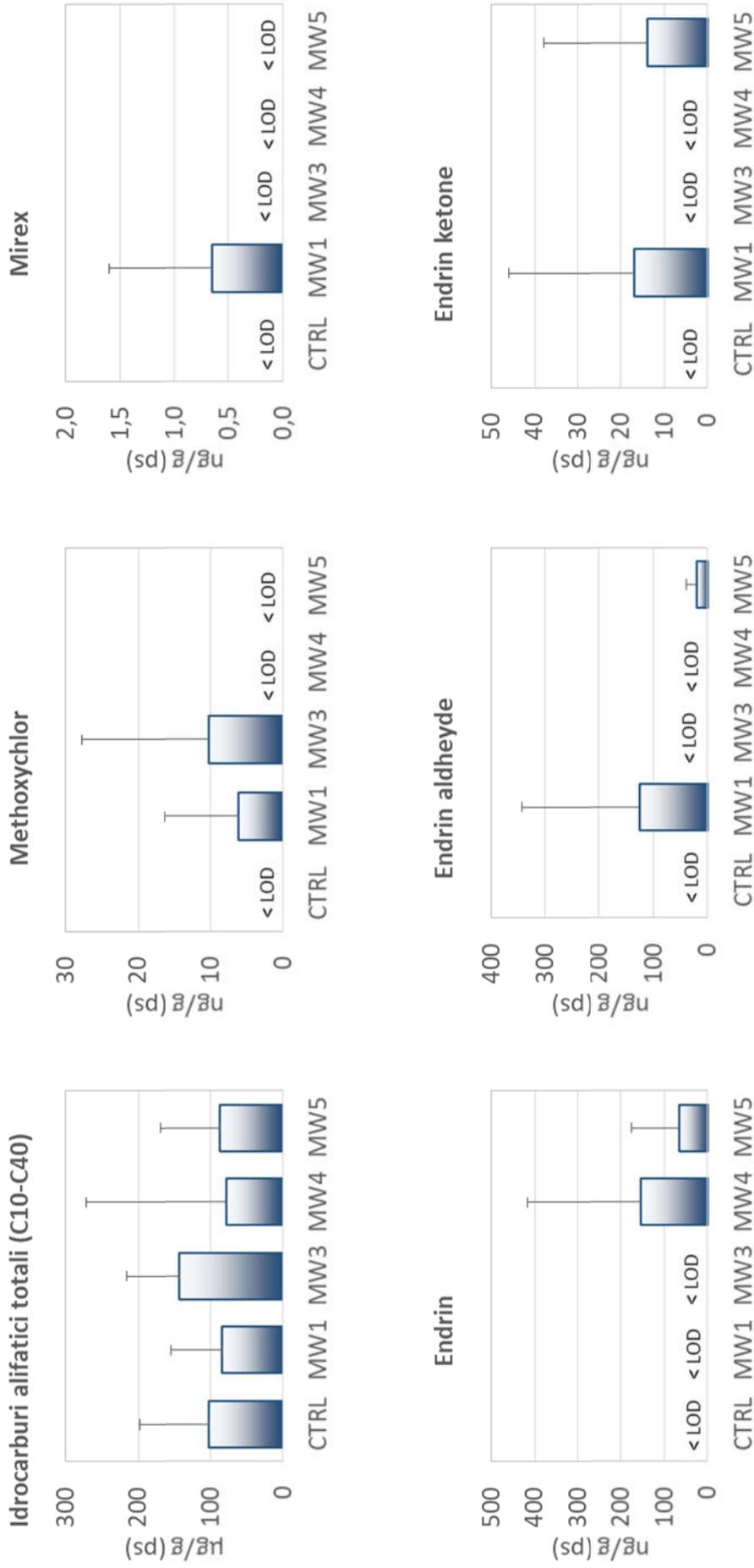


Figura 4.1.1. Continua...

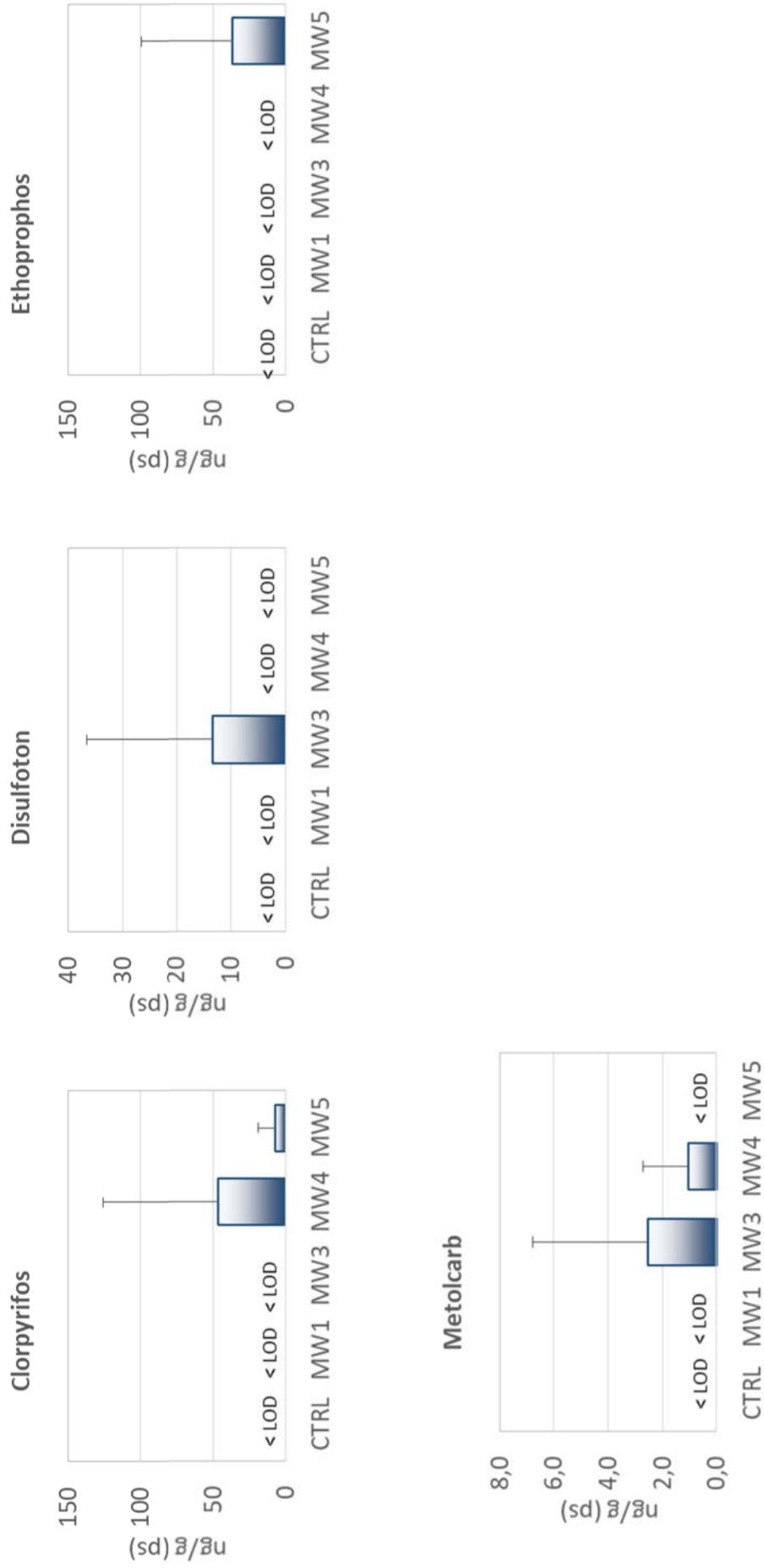


Figura 4.1.1.1. Continua...

Tabella 4.1.2 – Risultati della elaborazione complessiva del pericolo di bioaccumulo di metalli, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e composti organici di sintesi nei mitili trapiantati.

Codice Campione	Numero parametri assegnati alle diverse classi					Livello di bioaccumulo
	Assente	Basso	Medio	Alto	Molto Alto	
MW1	39	7	3 Hg, Cd, Al	0	1 Methoxychlor	MEDIO 
MW3	44	2	1 S IPA (HMW)	1 Metolcarb	2 Methoxychlor, Disulfoton	MEDIO 
MW4	48	1	1 Metolcarb	0	0	BASSO 
MW5	50	0	0	0	0	ASSENTE 

4.2 Analisi di biomarker

Analogamente a quanto misurato nel 2018, i biomarker cellulari analizzati nei mitili trapiantati in questo piano di monitoraggio sono stati i seguenti: alterazione nella percentuale di fagocitosi e rapporto granulociti/ialinociti indicativi di alterazioni di tipo immunitario; stabilità delle membrane lisosomiali, parametro estremamente sensibile, indicativo dello stato di salute generale dell'organismo e della comparsa precoce di condizioni di stress ossidativo; attività dell'acetilcolinesterasi scelta come biomarker di neurotossicità indotta dalla presenza di pesticidi, organofosforici e carbammati; attività dell'acilCoA ossidasi enzima indicatore della proliferazione perossisomiale, coinvolto nella beta-ossidazione degli acidi grassi, e marker di esposizione a composti organici di vario tipo tra cui idrocarburi policiclici aromatici; insorgenza dei micronuclei, parametro indicativi di alterazione genotossica; analisi delle difese antiossidanti, utilizzate come biomarker generali dello stato di salute degli organismi, estremamente sensibili nell'evidenziare variate condizioni di pressione ossidativa (catalasi, glutazione S-transferasi, glutazione reductasi, glutazione perossidasi Se-dipendenti e Se-indipendenti, glutazione); capacità antiossidante totale, che misura l'efficienza complessiva dei tessuti di neutralizzare diverse forme di specie reattive dell'ossigeno, integrando i risultati delle singole difese antiossidanti, con un importante valore predittivo sull'insorgenza di possibili forme di tossicità a livello cellulare e di organismo.

Le risposte dei biomarker ottenute nei mitili trapiantati nelle aree interne ed esterne al porto sono riportate nelle Figure 4.2.1, 4.2.2 e in Tabella 4.2.1. A causa di problemi legati al trasporto presso i laboratori dell'Università politecnica delle Marche dei mitili utilizzati come tempo zero (CTRL T0), che ne hanno determinato una ridotta vitalità, per la discussione dei risultati vengono utilizzati come controlli quelli ottenuti nei mitili trapiantati nella stazione MW5 esterna all'area portuale; quelli relativi al tempo zero sono comunque mostrati in tabella 4.2.1.

Per quanto riguarda i biomarker di risposta immunitaria, una lieve variazione statisticamente significativa è stata osservata rispetto agli organismi di controllo (MW5) per quanto riguarda il rapporto tra granulociti e ialinociti, con valori che passano da $17,83 \pm 4,09$ nella stazione MW5 a $7,85 \pm 1,59$ e $7,51 \pm 2,92$ rispettivamente per le stazioni MW3 (interna al porto) e MW4 (esterna al porto) (Figura 4.2.1). Al contrario nessuna variazione statisticamente significativa è stata osservata, rispetto ai mitili di riferimento, per la capacità fagocitaria negli organismi prelevati nelle diverse aree portuali con valori compresi tra 34,42 e 39,95 (Figura 4.2.1). L'analisi della stabilità delle membrane lisosomiali misurata nell'emolinfa dei mitili con il test del tempo di ritenzione del rosso neutro non ha mostrato differenze tra gli organismi provenienti dai diversi siti, con valori che, seppur apparente più bassi rispetto a quelli che si osservano in aree di riferimento oscillano tra $53,35 \pm 5,91$ e $67,19 \pm 13,06$ minuti (Figura 4.2.1). Per quanto riguarda l'attività delle acetilcolinesterasi un aumento statisticamente significativo rispetto alla stazione di riferimento è stato osservato nei mitili trapiantati nel sito MW1 con valori che passano da $95,21 \pm 7,82$ nmol/min/mg proteine

nell'area di riferimento a $158,37 \pm 27,38$ nmol/min/mg proteine nei mitili trapiantati nella stazione interna la porto MW1 (Figura 4.2.1). Analogamente, anche per quanto riguarda l'attività dell'AcilCoA ossidasi un aumento statisticamente significativo rispetto all'area di riferimento è stato osservato nei mitili trapiantati nella stazione interna al porto MW1 con valori che passano da $0,74 \pm 0,10$ nmol/min/mg proteine a $0,98 \pm 0,05$ nmol/min/mg proteine (Figura 4.2.1). Per quanto riguarda il danno genotossico, espresso come frequenza dei micronuclei, nessuna differenza statisticamente significativa è stata osservata rispetto al controllo nei mitili provenienti dalle diverse stazioni interne ed esterne all'area portuale con valori comparabili a quelli che si ottengono in mitili provenienti da aree di riferimento e compresi tra $0,2 \pm 0,27$ e $0,4 \pm 0,22$ ‰ (Figura 4.2.1).

Le analisi dei biomarker di stress ossidativo hanno mostrato lievi fluttuazioni limitate ad alcuni parametri nei mitili trapiantati nel sito interno al porto MW1. Il contenuto di glutazione totale non ha mostrato nessuna variazione statisticamente significativa con valori compresi tra $0,81 \pm 0,20$ e $1,23 \pm 0,28$ μ mol/grammi (Figura 4.2.2). Per quanto riguarda gli enzimi antiossidanti, l'attività della glutazione reductasi mostra un aumento statisticamente significativo rispetto alla stazione di riferimento (MW5) nei mitili trapiantati nella stazione MW1 (interno porto) con valori che passano da $17,39 \pm 3,99$ a $32,89 \pm 9,06$ nmol/min/mg proteine (Figura 4.2.2); nessuna differenza statisticamente significativa rispetto al controllo è stata osservata per l'attività della catalasi con valori compresi tra $31,37 \pm 1,32$ e $49,27 \pm 0,69$ μ mol/min/mg proteine, delle glutazione S-transferasi, con valori compresi tra $103,85 \pm 21,72$ e $157,1 \pm 49,15$ nmol/min/mg proteine, e delle glutazione perossidasi Se-Dipendenti e totali con valori compresi rispettivamente tra $4,99 \pm 1,34$ e $8,45 \pm 1,97$ nmol/min/mg proteine e tra $12,29 \pm 2,95$ e $18,27 \pm 4,54$ n mol/min/mg proteine (Figura 4.2.2). Valori comparabili con quelli misurati nei mitili di riferimento sono stati ottenuti per quanto riguarda l'analisi della capacità antiossidante totale nei confronti del radicale perossilico (TOSC ROO•) che ha mostrato valori compresi tra $403,79 \pm 84,63$ e $512,52 \pm 18,59$ UTOSC/ mg di proteine (Figura 4.2.2); al contrario, una significativa induzione rispetto agli organismi di riferimento è stata osservata nuovamente nei mitili provenienti dalla stazione interna la porto MW1 con valori che da $330,61 \pm 103,98$ UTOSC/mg proteine del controllo sono passati a $581,87 \pm 133,57$ UTOSC/mg proteine del sito interno al porto (Figura 4.2.2).

I risultati dei biomarker ottenuti per gli organismi traslocati sono stati elaborati tramite l'applicazione di criteri di integrazione ponderata che riassumono un indice di pericolo basato sul numero e sulla rilevanza tossicologica dei biomarker analizzati, sulla significatività statistica e sull'entità delle variazioni osservate rispetto a specifiche soglie di riferimento; i risultati di queste elaborazioni sono rappresentati nella Tabella 4.2.2. Il pericolo elaborato per i biomarker è stato Assente/Basso per tutte le quattro stazioni.

Analogamente a quanto osservato nel monitoraggio del 2018, le analisi dei biomarker, nel complesso, evidenziano un buono stato di salute degli organismi trapiantati nei diversi siti dell'area interessata dal monitoraggio ambientale con valori comparabili a quelli misurati in aree di riferimento e permettono di

escludere particolari fenomeni di criticità ambientale.

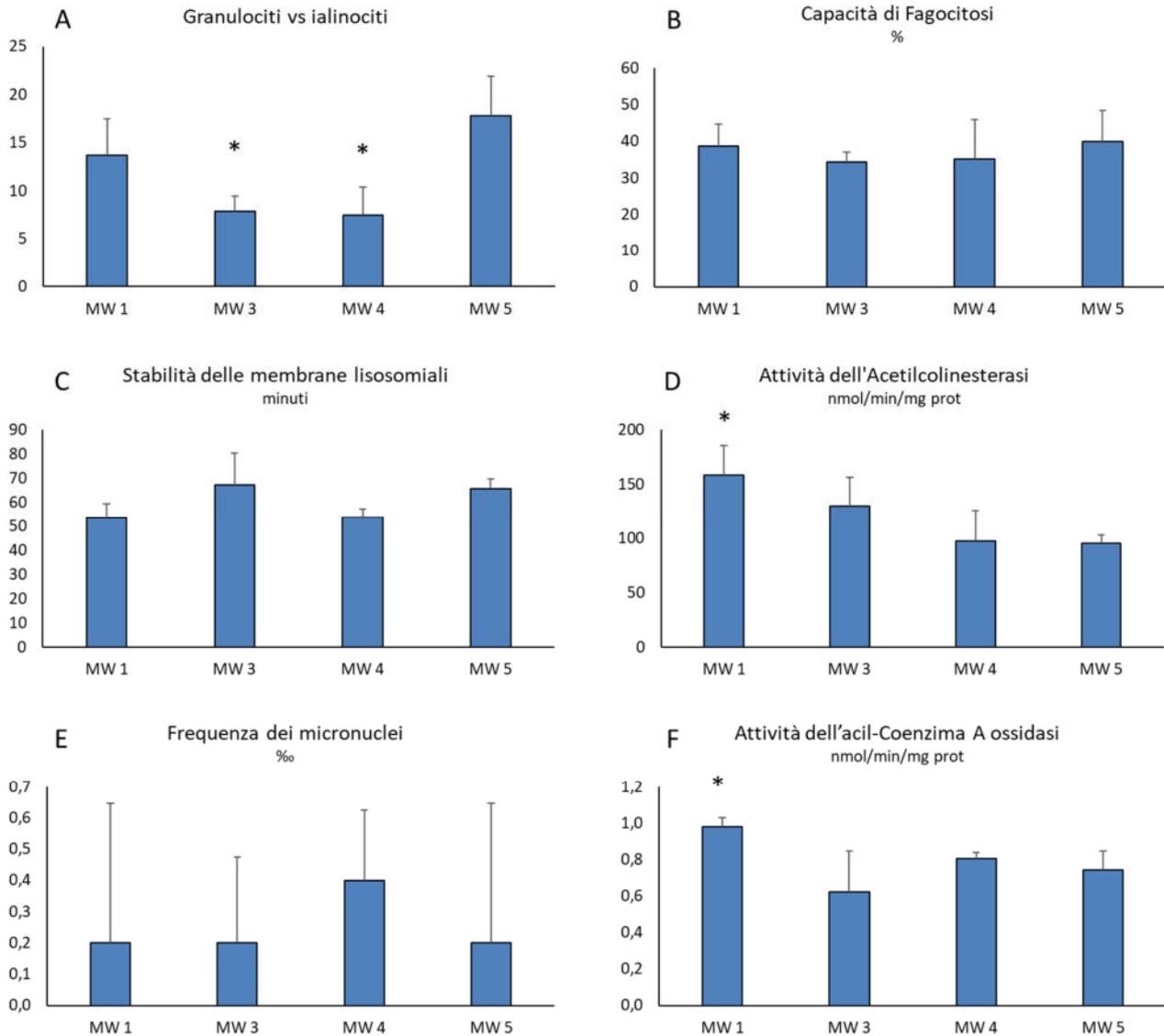


Figura 4.2.1. Risultati delle analisi dei biomarker condotte sull'emolinfia dei mitili trapiantati nei diversi siti. Rapporto granulociti/ialinociti (A), fagocitosi (B), stabilità delle membrane lisosomiali (C), attività dell'acetilcolinesterasi (D), frequenza dei micronuclei (E), attività dell'acil-Coenzima A ossidasi (F). Dati espressi come valori medi \pm deviazioni standard. Gli asterischi rappresentano delle differenze statisticamente significative rispetto alla stazione di riferimento (MW5).

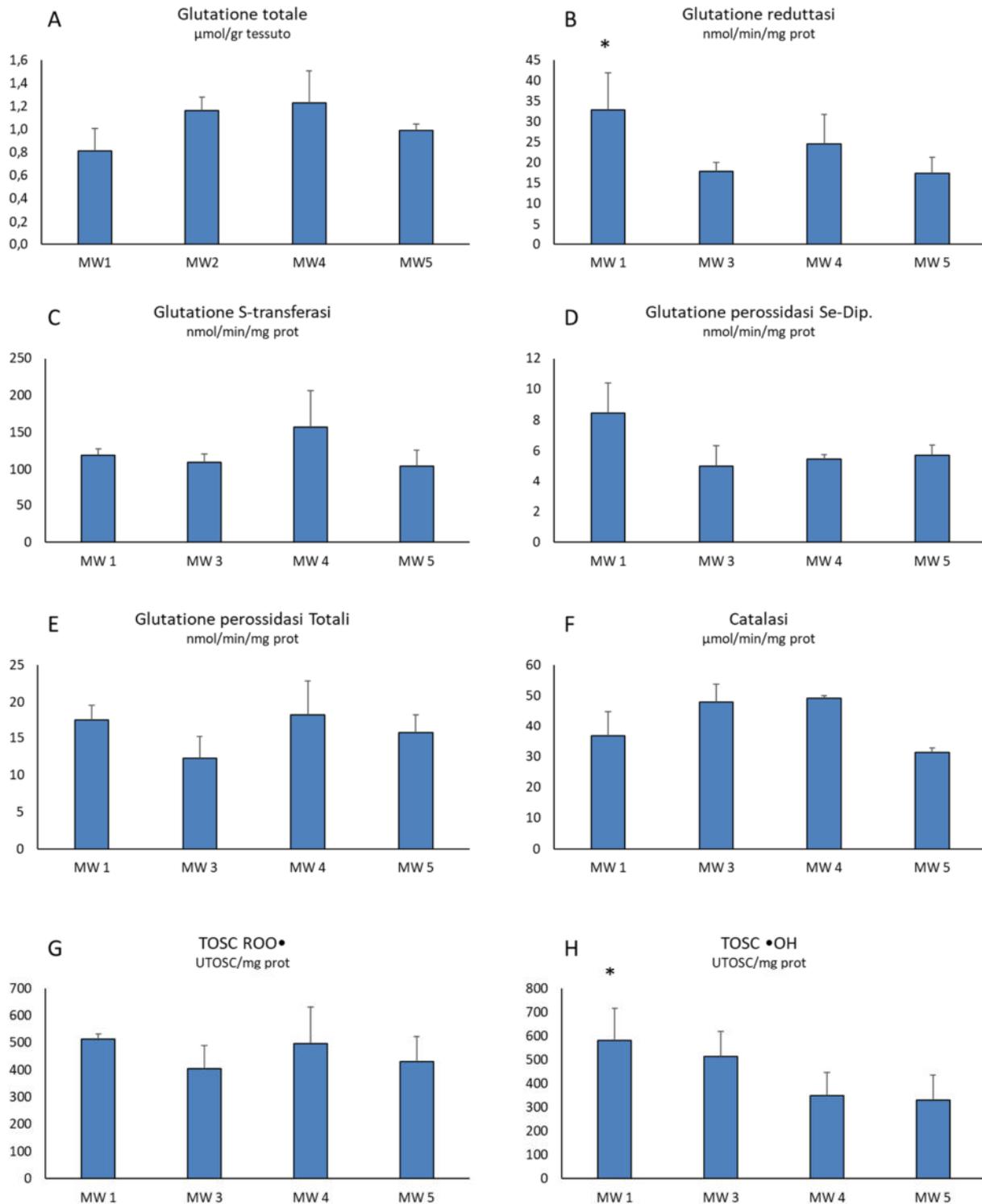
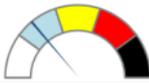


Figura 4.2.2. Risultati delle analisi dei biomarker condotte sui mitili trapiantati nei diversi siti. Glutazione totale (A), glutazione riduttasi (B), glutazione S-transferasi (C), glutazione perossidasi Se-dipendenti (D), glutazione perossidasi totali (E), catalasi (F), capacità antiossidante totale per radicali perossilici (G) e idrossilici (H). Dati espressi come valori medi \pm deviazioni standard. Gli asterischi rappresentano delle differenze statisticamente significative rispetto alla stazione di riferimento (MW5).

Tabella 4.2.1. Risultati delle analisi dei biomarker nei mitili trapiantati nei diversi siti.

Biomarker	CTRL T0	MW1	MW3	MW4	MW5
Acetilcolinesterasi (nmol/min/mg prot)	75,08 ± 5,33	158,37 ± 27,38	129,81 ± 26,61	97,22 ± 28,24	95,21 ± 7,82
Acil-CoA Ossidasi (nmol/min/mg prot)	0,96 ± 0,08	0,98 ± 0,05	0,62 ± 0,22	0,81 ± 0,03	0,74 ± 0,10
Catalasi (µmol/min/mg prot)	51,40 ± 2,24	36,68 ± 8,21	47,89 ± 5,91	49,27 ± 0,69	31,37 ± 1,32
Glutazione totale (µmol/gr tessuto)	0,81 ± 0,19	0,81 ± 0,20	1,16 ± 0,12	1,23 ± 0,28	0,99 ± 0,06
Glutazione reduttasi (nmol/min/mg prot)	27,33 ± 2,50	32,89 ± 9,06	17,88 ± 2,19	24,62 ± 7,08	17,39 ± 3,99
Glutazione S-Transferasi (nmol/min/mg prot)	112,51 ± 20,08	119,14 ± 8,04	109,13 ± 11,16	157,1 ± 49,15	103,85 ± 21,72
Glutazione Perossidasi (Se-Dip.) (nmol/min/mg prot)	8,68 ± 1,41	8,45 ± 1,97	4,99 ± 1,34	5,48 ± 0,28	5,73 ± 0,63
Glutazione Perossidasi (Totali) (nmol/min/mg prot)	15,89 ± 5,78	17,58 ± 2,01	12,29 ± 2,95	18,27 ± 4,54	15,73 ± 2,54
TOSC ROO• (U TOSC/mg prot)	420,77 ± 82,18	512,52 ± 18,59	403,79 ± 84,63	496,59 ± 135,68	431,13 ± 90,48
TOSC HO• (U TOSC/mg prot)	348,98 ± 121,24	581,87 ± 133,57	413,82 ± 105,89	349,28 ± 96,22	330,61 ± 103,98
Stabilità delle membrane lisosomiali (min)	45,12 ± 4,60	53,35 ± 5,91	67,19 ± 13,06	53,9 ± 3,25	65,60 ± 4,01
Fagocitosi (%)	1,49 ± 1,72	38,65 ± 6,14	34,42 ± 2,65	35,1 ± 10,9	39,95 ± 8,48
Rapporto Granulociti vs. Ialinociti	9,20 ± 2,46	13,7 ± 3,80	7,85 ± 1,59	7,51 ± 2,92	17,84 ± 4,09
Micronuclei (‰)	0,2 ± 0,45	0,2 ± 0,45	0,2 ± 0,27	0,4 ± 0,22	0,2 ± 0,45

Tabella 4.2.2. Risultati della elaborazione complessiva del pericolo relativo ai biomarker nei mitili.

Codice Campione	Numero biomarker assegnati alle diverse classi					Livello di pericolo
	Assente	Basso	Medio	Alto	Molto Alto	
MW1	10	4	0	0	0	BASSO 
MW3	12	0	2	0	0	BASSO 
MW4	12	0	2	0	0	BASSO 
MW5	14	0	0	0	0	ASSENTE 

5 Risultati- Monitoraggio satellitare ad alta risoluzione

Il monitoraggio satellitare è stato condotto dal 1° gennaio al 7 di aprile 2020 ovvero da 15 giorni prima delle attività di dragaggio a 15 giorni dopo la conclusione delle attività. Sono state elaborate immagini giornaliere ad alta risoluzione (300 m) per l'analisi della distribuzione del TSM e della biomassa fitoplanctonica (utilizzando come proxy la concentrazione di clorofilla a nelle acque superficiali).

Il TSM è un ottimo indicatore della torbidità e quindi della presenza di materiali di dragaggio non correttamente movimentati nell'intero Golfo di Salerno. Aumenti della torbidità da TSM sono anche associabili alle attività di risospensione in ambiente portuale dovuta al dragaggio. Le immagini sono delle vere e proprie fotografie dell'area in esame dalle quali è possibile individuare, abbastanza facilmente, le zone interessate da input fluviali o alte concentrazioni di materiale sospeso.

Il monitoraggio satellitare è l'unico sistema che ha il vantaggio di poter acquisire i dati di concentrazione e la distribuzione delle variabili considerate in modo sinottico, ovvero nello stesso momento della giornata, nel nostro caso in tutto il Golfo di Salerno.

Le mappe elaborate da alta definizione sono 97. Come di seguito si vedrà le concentrazioni di TSM variano da 0,1 a 50 mg/L. In tal senso le scale di concentrazioni, nelle elaborazioni delle mappe, variano in relazione ai range di concentrazione del TSM per le singole giornate al fine di poter valutare, con accuratezza, le origini degli impatti antropici.

Nelle analisi successive, al fine di rendere agile e sintetica la relazione preliminare, saranno discusse quattro mappe rappresentative delle dinamiche di distribuzione e concentrazione del TSM per ogni mese dando accesso, agli organi di controllo, a tutti i dati raccolti, per eventuali verifiche. Saranno discusse anche le mappe di distribuzione del TSM prima e dopo le operazioni di dragaggio, trasporto e immissione a mare.

Nella Fig. 5.1 sono riportate le immagini satellitari rilevate nei primi 15 giorni di gennaio in assenza delle operazioni di dragaggio.

Immagini satellitari ad alta definizione prima dell'inizio delle operazioni di dragaggio

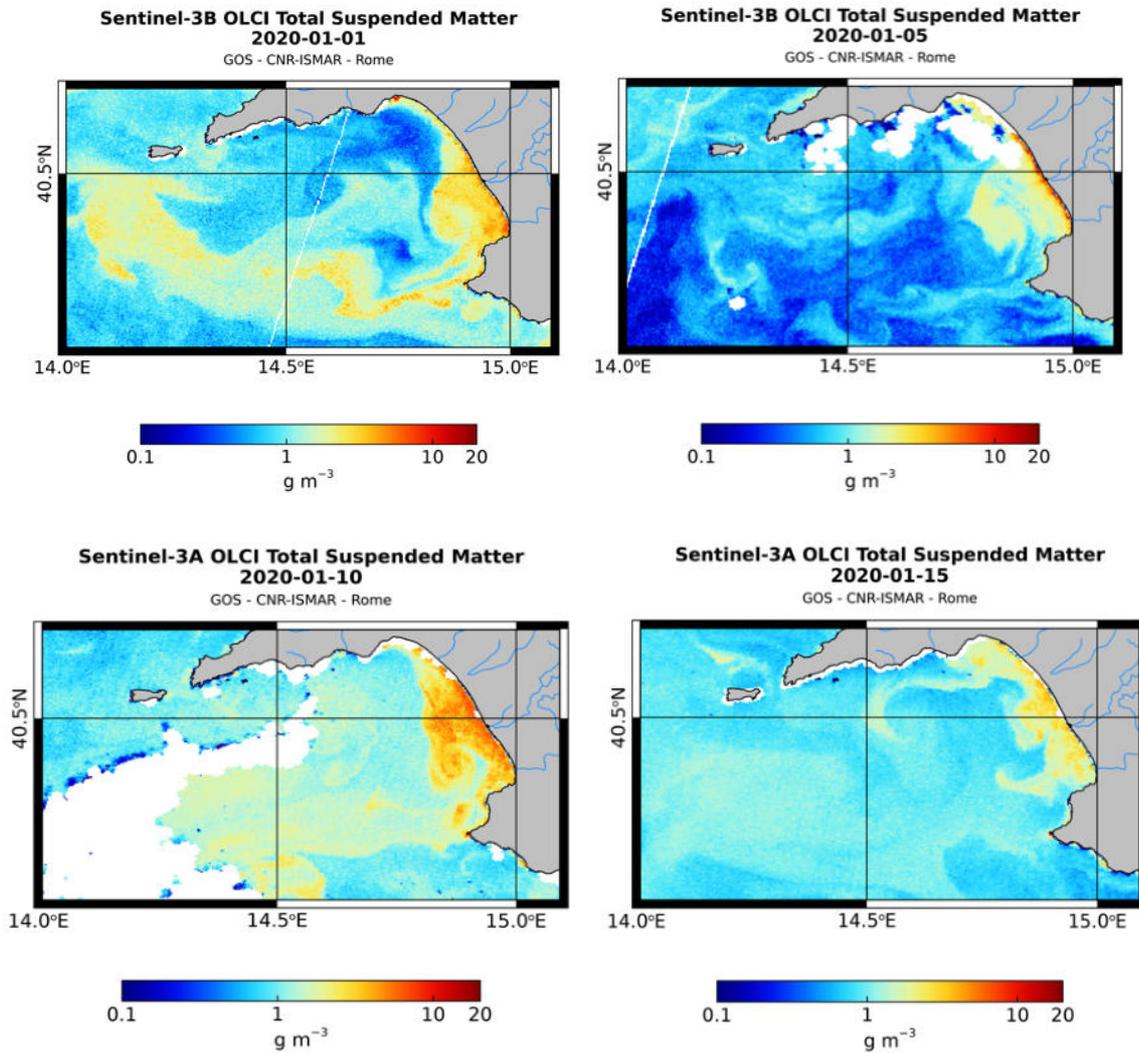


Figura. 5.1 Mappe di distribuzione del TSM nel Golfo di Salerno nei giorni 01, 05, 10 e 15 gennaio.

Le 4 mappe selezionate evidenziano le differenze nella tipologia di distribuzione del TSM. La scala dei range di distribuzione del TSM è identica, il che enfatizza che durante i primi 15 giorni dell'anno il TSM, nell'intero Golfo di Salerno, varia tra 0,1 - 20 mg/L di TSM mostrando valori tipici dell'area e della stagione. Le maggiori concentrazioni sono ascrivibili agli apporti fluviali e innanzitutto a quelli fiume Sele. L'area di maggiore impatto delle acque fluviali è quella centro orientale.

Immagini satellitari ad alta definizione durante le operazioni di dragaggio, di trasporto immersione a mare dei sedimenti dragati.

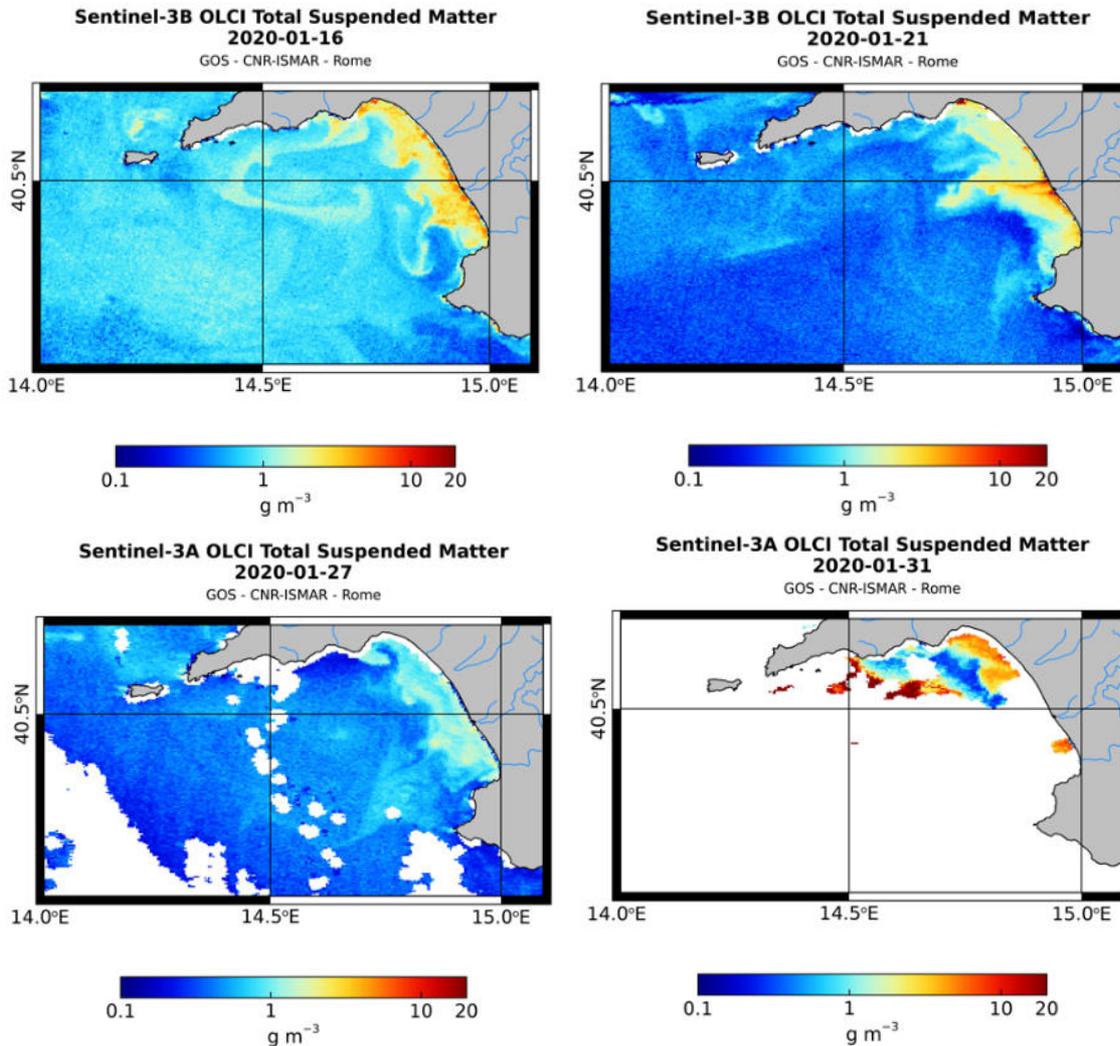


Figura. 5.2. Mappe di distribuzione del TSM durante le operazioni di dragaggio del Porto di Salerno e del canale d'ingresso nei giorni 16, 21, 27 e 31 gennaio.

Le mappe relative alla seconda metà del mese di gennaio (Fig. 5.2), nel pieno delle attività, evidenziano l'assoluta assenza di un eventuale impatto delle attività dragaggio, trasporto e immissione a mare dei sedimenti dragati. La distribuzione e le concentrazioni del TSM replicano andamenti simili a quelli osservati nel primo periodo dell'anno, in assenza di attività.

Immagini satellitari ad alta definizione durante delle operazioni di dragaggio e di immersione a mare dei sedimenti dragati.

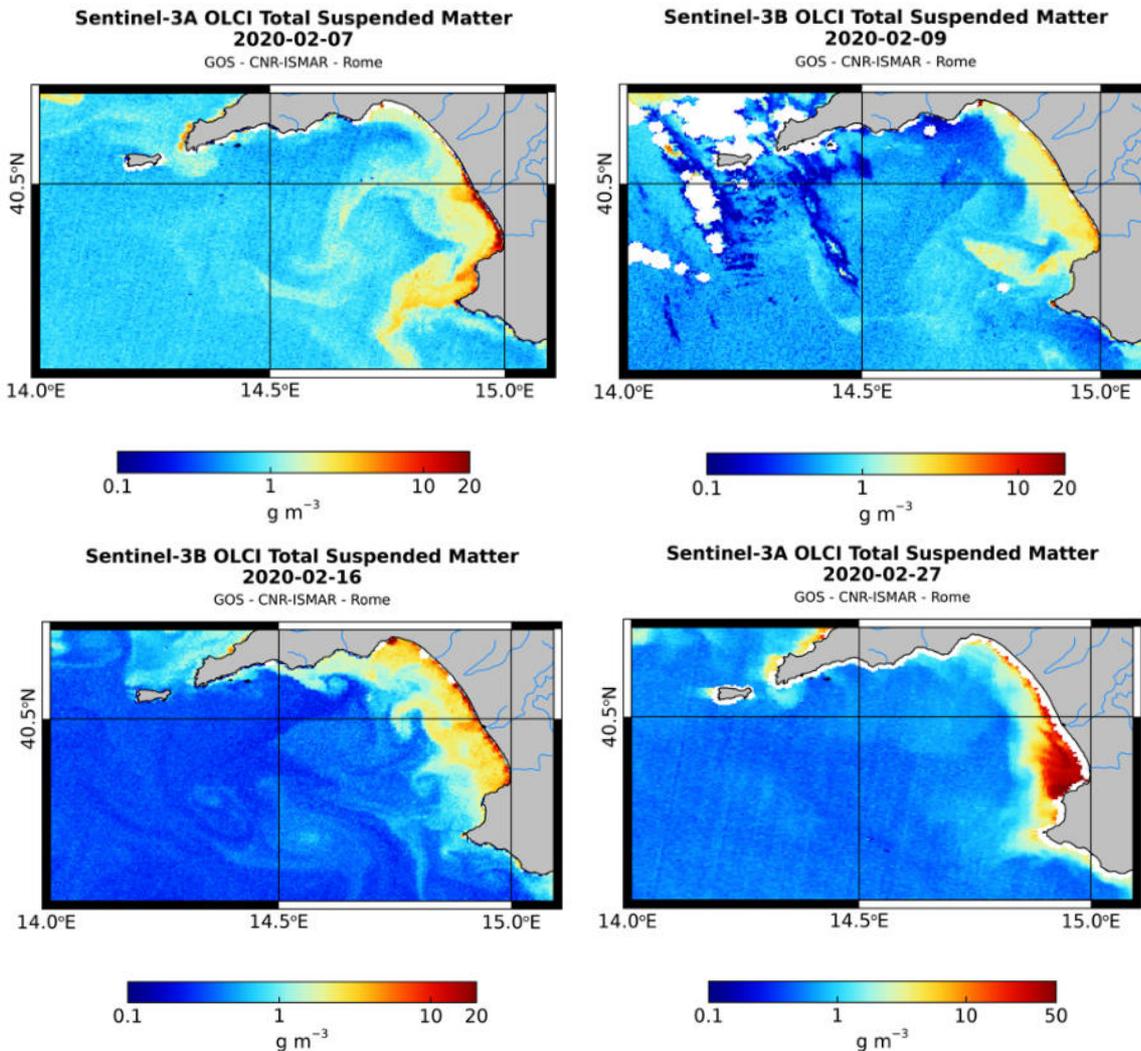


Figura.5.3. Mappe di distribuzione del TSM durante le operazioni di dragaggio del Porto di Salerno e del canale d'ingresso nei giorni 07, 09, 16 e 27 febbraio.

La Fig. 5.3 riporta la distribuzione e la concentrazione del TSM nel mese di febbraio. Le immagini si commentano da sole e evidenziano che, in determinate situazioni legate a dinamiche fisiche locali, le concentrazioni di TSM possono raggiungere valori di concentrazioni di circa 50 ml/L. E' il caso registrato il 27/02. Si noti l'assenza di cambiamenti significativi nell'area di dragaggio.

Immagini satellitari ad alta definizione durante delle operazioni di dragaggio e di immersione a mare dei sedimenti dragati.

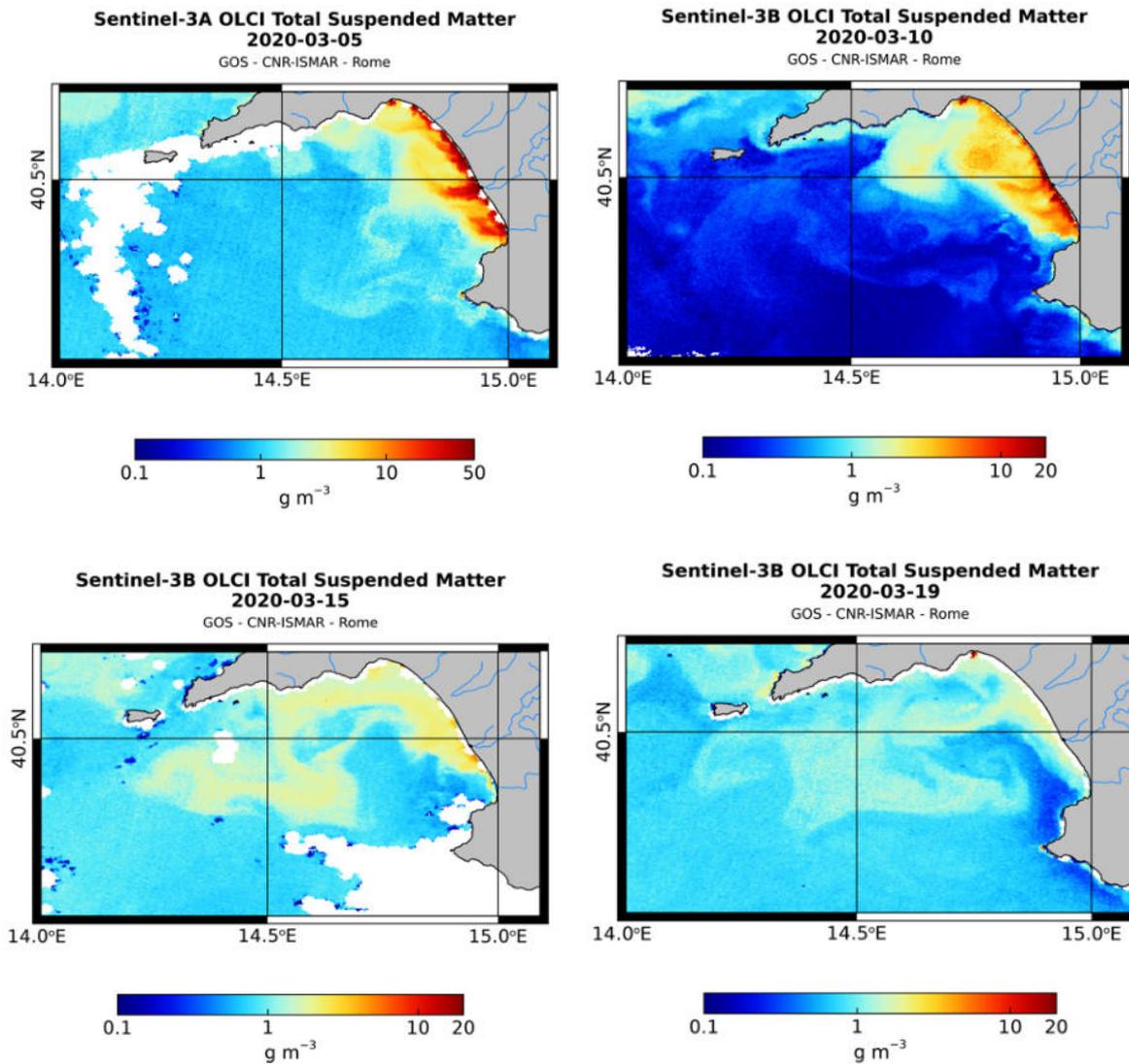


Figura. 5.4. Mappe di distribuzione del TSM durante le operazioni di dragaggio del Porto di Salerno e del canale d'ingresso nei giorni 05, 10, 15 e 19 marzo.

La Fig. 5.4 riporta le immagini relative al mese di marzo. Anche durante questo mese le concentrazioni e la distribuzione del TSM sono tipiche dell'area e della stagione le concentrazioni di TSM non superano i 20 mg/L. Non si evidenziano segnali di impatto da operazioni di dragaggio trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati.

Infine si ritiene utile mostrare anche le mappe di distribuzione del TSM relative alla prima decade di aprile, 15 giorni dopo la conclusione delle attività di dragaggio imposta dal DPCM governativo. In questo periodo sono

state registrate condizioni meteo stabili con apporti fluviali ridotti. La distribuzione del TSM nell'intero Golfo di Salerno, riportata in Fig. 5.5, è simile a quelle precedentemente discusse con l'area centro meridionale maggiormente interessata da questa tipologia d'inquinamento.

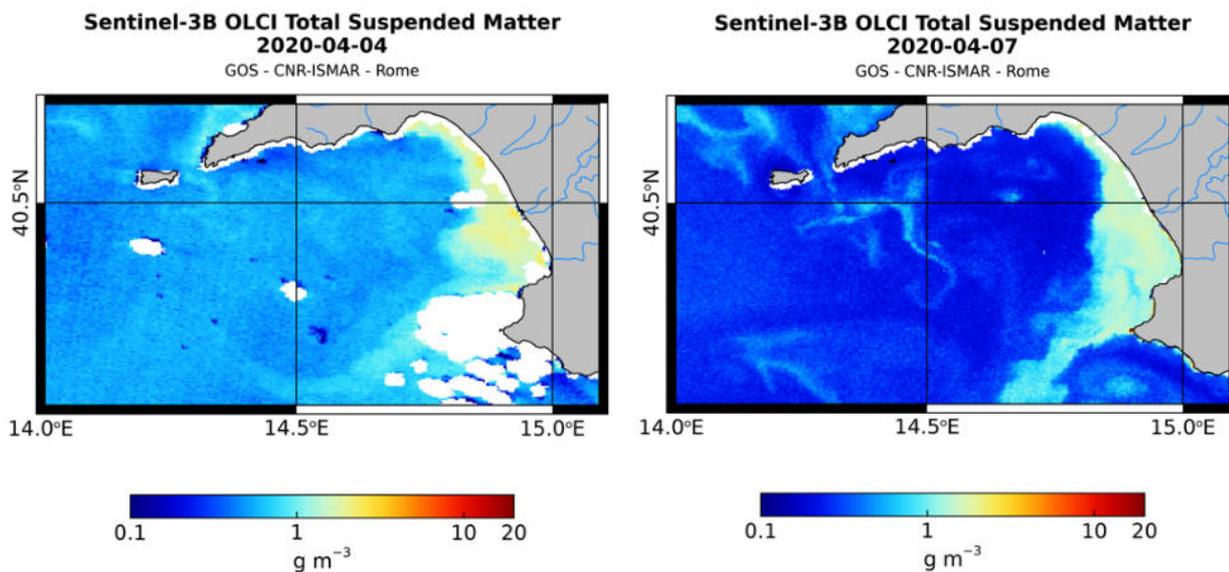


Figura 5.5. Mappe di distribuzione del TSM in assenza delle attività di dragaggio del Porto di Salerno e del canale d'ingresso nei giorni 04 e 07 aprile.

Il monitoraggio satellitare con elaborazione delle immagini ad alta risoluzione è stato condotto, come previsto nel piano di interventi tenendo conto anche dei periodi antecedenti e successivi alle attività di dragaggio del Porto Commerciale, del canale d'ingresso e del trasporto e immersione a mare del materiale dragato.

In sintesi, il monitoraggio satellitare effettuato dal 1° gennaio al 7 di aprile e le elaborazioni delle immagini ad alta risoluzione hanno evidenziato le aree di origine degli impatti antropici. L'analisi delle mappe di distribuzione e concentrazione di TSM evidenziano, chiaramente, che le maggiori concentrazioni si riscontrano nella parte centromeridionale del Golfo di Salerno e sono inequivocabilmente imputabili agli apporti fluviali e, in parte molto minore, nell'area antistante la città di Salerno. Non è stata rilevata nessuna evidenza di un eventuale impatto antropico imputabile all'attività di dragaggio del porto commerciale di Salerno e del canale d'ingresso, e del trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati.

Si ritiene utile sottolineare che dal 21 febbraio del 2020, solo dopo la sottoscrizione formale del contratto di collaborazione con il CNR e la SZN, sono state fornite all'Autorità portuale e all'ARPAC le credenziali di accesso alle immagini satellitari in fase di acquisizione.

6 Conclusioni

I risultati dell'attività di monitoraggio in Corso d'Opera, qui riportati e illustrati, costituiscono parte integrante del contratto di ricerca tra l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centrale e la Stazione Zoologica A. Dohrn di Napoli. I corposi risultati permettono nel loro complesso di formulare un quadro completo ed esaustivo relativamente allo stato di salute degli ecosistemi marine soggetti a impatti potenzialmente derivanti dalle operazioni di dragaggio trasporto e immersione in mare dei sedimenti del Porto di Salerno e del Canale d'ingresso.

In ulteriore sintesi le conclusioni finali definiranno, sulla base dell'elaborazione dei risultati delle attività di monitoraggio, se vi siano evidenti impatti sugli ecosistemi costieri e di largo del Golfo di Salerno imputabili alle attività condotte in Corso d'Opera.

Le principali conclusioni desumibili dall'analisi dei risultati svolti per le singole componenti e attività sono riportate in modo sintetico di seguito.

Colonna d'acqua

Il monitoraggio satellitare è l'unico sistema che ha il vantaggio di poter acquisire in modo sinottico (nello stesso momento della giornata) i dati di concentrazione e la distribuzione di alcune variabili quali il TSM (solidi totali sospesi) e la Clorofilla *a* (biomassa fitoplanctonica) in tutto il Golfo di Salerno. Il TSM è un ottimo indicatore della torbidità in grado di indicare origine, distribuzione e concentrazione delle torbidità. Il monitoraggio satellitare, effettuato dal 1° gennaio al 7 di aprile e le elaborazioni delle immagini ad alta risoluzione hanno evidenziato le aree di origine degli impatti antropici della torbidità nel Golfo di Salerno. L'analisi delle mappe di distribuzione e concentrazione di TSM evidenziano, chiaramente, che le maggiori concentrazioni si riscontrano nella parte centromeridionale del Golfo di Salerno e sono inequivocabilmente imputabili agli apporti fluviali. Non è stata rilevata nessuna evidenza di un eventuale impatto antropico imputabile all'attività di dragaggio del Porto commerciale di Salerno e del Canale d'ingresso, e del trasporto e immersione a mare dei sedimenti dragati. Tale aspetto è altresì confermato dai risultati del monitoraggio in continuo della torbidità attraverso sistemi di rilevamento orario (Boe dotate di torbidimetri e correntometri) che confermano che i valori relativamente alti di torbidità sono confinati all'interno dell'area portuale e non interessano, se non marginalmente lo specchio d'acqua antistante l'area portuale.

L'analisi delle caratteristiche fisiche della colonna d'acqua effettuate con prelievo di campioni ha evidenziato un chiaro ciclo stagionale con il passaggio dal completo rimescolamento invernale all'iniziale stratificazione termica caratteristica del periodo pre-estivo. L'analisi delle mappe superficiali di Temperatura, Salinità, Densità, Torbidità e Fluorescenza in tutte le aree oggetto di intervento e di monitoraggio non mostrano anomalie nella distribuzione dei parametri. Solo all'interno dell'area sottoposta alle operazioni di dragaggio e solo per il parametro Torbidità si sono osservati valori più elevati nelle stazioni più interne, ma con gli stessi in diminuzione nell'area esterna al porto. Tali valori appaiono comunque in linea con quelli che si verificano in ambiente costiero durante fenomeni di risospensione naturale dei sedimenti. Per quanto riguarda la Fluorescenza (utilizzata come proxy delle concentrazioni di clorofilla e quindi di biomassa fitoplanctonica) i dati mostrano condizioni di oligotrofia (bassa concentrazione) praticamente ovunque. Valori superiori sono stati osservati in ambito costiero in aree caratterizzate da apporti terrigeni e con un evidente gradiente decrescente costa-largo.

Le campagne effettuate nel corso d'opera hanno confermato il generale stato di oligotrofia-mesotrofia del Golfo di Salerno anche per quanto riguarda la concentrazione di nutrienti, così come osservato nel corso del monitoraggio *ante operam*. Le nette differenze osservate durante il monitoraggio *ante operam* tra le stazioni oligotrofiche, ubicate in prossimità delle Costiera amalfitana e lungo la costa Cilentana, e le stazioni a carattere mesotrofico (foci fluviali e aree urbane) risultano meno evidenti nel *corso d'opera*. Tale differenza è imputabile a una riduzione del carico di nutrienti nelle aree mesotrofiche, legato essenzialmente alla diversa dinamica stagionale e ad un possibile effetto del lockdown che sembra aver ridotto l'apporto di nutrienti da costa. Nel corso del monitoraggio in corso d'opera sono stati riscontrati fenomeni di arricchimento da nutrienti a carattere locale in prossimità dell'area urbana di Salerno (stazione A14), e quindi non riconducibili alle attività di escavo.

Le concentrazioni dei solidi sospesi (TSS) mostrano, come prevedibile, valori molto elevati durante i lavori di escavo. Tuttavia, le concentrazioni elevate sono state osservate soltanto nelle stazioni interne al Porto (A01-A05) mentre all'esterno (A06 e A07) e nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio, i valori di TSS registrati sono decisamente più bassi e sempre molto inferiori al limite di intervento. Come osservato per i nutrienti, anche il TSS mostra differenze più contenute tra le acque costiere della Costiera Amalfitana e la piana alluvionale del Sele, contrariamente a quanto osservato nel corso dell'*ante operam*. La riduzione di TSS osservata nell'area impattata dal Sele è essenzialmente legata alla riduzione degli input derivante dalle differenti condizioni stagionali.

La composizione delle comunità planctoniche delle acque del Golfo di Salerno nel corso del monitoraggio in corso d'opera (V campagna, 28 maggio-19 giugno 2020) ha evidenziato la presenza di una comunità fitoplanctonica che presenta una struttura e composizione tipica di acque tirreniche costiere oligotrofiche, confermando quanto già riscontrato nel monitoraggio *ante operam*.

Nel corso della V Campagna di monitoraggio in *corso d'opera* (28 maggio-19 giugno 2020) sono stati osservati valori di abbondanza fitoplanctonica relativamente bassi ($1,0 \times 10^5 - 1,4 \times 10^7$ cell. L⁻¹), con valori inferiori nelle stazioni di largo dell'area di immersione (media: $1,0 \times 10^6$ cell. L⁻¹) e valori più elevati nelle stazioni costiere dell'area oggetto di studio (media: $6,4 \times 10^6$ L⁻¹). Nelle stazioni più profonde si osserva la presenza di un massimo subsuperficiale in corrispondenza della profondità dei 75 m che è caratteristica tipica delle acque oligotrofiche del Mediterraneo. Pertanto non sono state rilevate anomalie imputabili alle attività di dragaggio e reimmissione per questa componente.

In tutte le aree campionate, i popolamenti fitoplanctonici sono costituiti prevalentemente da organismi di dimensioni ridotte (<10 µm) e caratterizzati da una netta dominanza di fitoflagellati, seguiti da diatomee e da dinoflagellati. Questo tipo di comunità è simile, sia per abbondanza che per composizione, a quelle riportate in precedenti studi condotti nella stessa area e negli stessi periodi stagionali. In particolare, i valori di abbondanza nel corso della V campagna sono negli stessi ordini di grandezza (tra 10^6 e 10^7 cell. L⁻¹) di quelli rilevati nelle stazioni costiere del Golfo di Salerno nel corso di precedenti programmi di monitoraggio (e.g., Si.Di.Mar 2001-2006), quando i valori più bassi erano osservati nelle stazioni di Punta Tresino e Punta Licosa, situate nella fascia costiera cilentana. Analogamente, nell'ambito della campagna di campionamento Nasa 1, effettuata nel Golfo di Salerno nel luglio 2007, sono state registrate abbondanze fitoplanctoniche comprese tra $4,0 \times 10^2$ e $7,0 \times 10^6$ cell L⁻¹ con valori più bassi alle stazioni di largo. In entrambi gli studi la composizione fitoplanctonica nelle stazioni del Golfo di Salerno era risultata omogenea e fortemente dominata da fitoflagellati.

Infine, il confronto con i dati raccolti nel periodo maggio-giugno 2020 alla stazione a lungo termine LTER-MC nel Golfo di Napoli conferma il carattere oligotrofico del Golfo di Salerno. A differenza di quanto riportato in questo studio, i popolamenti fitoplanctonici di LTER-MC sono caratterizzati da abbondanze più elevate ($8,0 \times 10^6 - 2,3 \times 10^7$ cell. L⁻¹) e da una forte dominanza di diatomee che costituiscono mediamente più del 60% del popolamento totale. Nonostante il diverso livello trofico è interessante notare la presenza in entrambi i Golfi di taxa caratteristici del periodo stagionale, quali *Leptocylindrus danicus*, *L. convexus*, *Chaetoceros tenuissimus* e le specie potenzialmente tossiche *Pseudo-nitzschia galaxiae* e *P. delicatissima*.

L'analisi della comunità mesozooplanctonica rivela elevate differenze in termini di abbondanza tra le stazioni costiere e le stazioni di largo, come già riscontrato nel monitoraggio *ante operam*. In generale, nel corso della V Campagna di monitoraggio sono stati osservati valori di abbondanza zooplanctonica relativamente bassi (inferiori a 500 ind. m⁻³), alle stazioni di largo dell'area di immersione e valori più alti alle stazioni costiere (superiori a 2500 ind. m⁻³) sia alle stazioni considerate per la definizione dell'idrologia dell'area di immersione (A31, A33) che alle stazioni potenzialmente impattate dall'operazione di immersione a mare di sedimenti dragati nel Porto Commerciale di Salerno e nel Canale, d'ingresso (A60, A63).

Lo zooplancton mostra un mancato gradiente orizzontale, le abbondanze più alte si riscontrano nelle stazioni

costiere, così come già precedentemente osservato nel corso del monitoraggio *ante operam* e nelle stazioni del Golfo di Salerno nel corso del programma di monitoraggio Si.Di.Mar (2001-2006).

La comunità zooplanctonica è caratterizzata, nel corso della V campagna (28 maggio-19 giugno 2020), quasi sempre dalla dominanza dei copepodi, che rappresentano dal 35 ad oltre il 70% delle abbondanze totali del mesozooplankton, con la dominanza di poche specie (*Acartia clausi*, *Centropages typicus*, *Paracalanus parvus complex*, *Isias clavipes*). E' stata osservata la presenza di piccoli copepodi ciclopidi dei generi *Oithona* ed *Oncaea* solo in alcune stazioni nelle aree potenzialmente impattate dall'operazione di immersione. Dopo i copepodi il gruppo percentualmente più importante è costituito dai cladoceri con la dominanza della specie *Evadne spinifera*. A copepodi e cladoceri seguono appendicolarie e meroplankton. Il meroplankton è rappresentato maggiormente da larve policheti, ofiuroidei, decapodi, ed eufasiacei, ed è percentualmente più importante nelle stazioni costiere ubivate nell'area della foce dei fiumi Sele e Picentino. Nell'area è stata osservata una comunità zooplanctonica molto omogenea, con una bassa diversità specifica e la dominanza di specie costiere, tipiche del periodo tardo primaverile estivo e perfettamente in accordo con la composizione stagionale delle comunità zooplanctoniche neritiche mediterranee e di quella osservata alla stazione a lungo termine LTER-MC nel Golfo di Napoli nello stesso periodo. Non appaiono quindi evidenti anomalie ascrivibili a questa componente.

Sedimenti e comunità bentoniche

La caratterizzazione chimica dei sedimenti ha evidenziato, nelle aree di immersione e in quelle potenzialmente impattate dalle attività di immersione, un livello di pericolo chimico da Assente-Basso in alcuni campioni (A20, A22, A23, A75, A47, A58, A62, A68), a Medio (A76), fino ad Alto (A21, A50, A59, A65 e A74). In questi ultimi campioni il livello di pericolo chimico è più alto rispetto a quello misurato nel 2018, ma non appare dovuto ad un aumento generalizzato dei livelli di contaminanti, quanto piuttosto ad alcuni valori puntiformi di Endrin e/o composti organostannici. A tal proposito appare utile segnalare che anche durante la campagna *ante operam*, nell'area d'immersione fu rilevata la presenza di composti organostannici. Più simile, rispetto alla campagna *ante operam*, la situazione chimica nell'area interessata dalle operazioni di dragaggio con un livello di pericolo chimico che viene confermato Assente o Basso in tutti i campioni, con l'eccezione di A11 (50%) e A14 (50%) con una classe di pericolo chimico Medio, dovuto ai composti organostannici.

Gli aumentati livelli di pericolo chimico misurati in alcuni campioni dell'area di immersione o potenzialmente impattati dalle operazioni di immersione, non hanno tuttavia evidenziato una significativa variazione del pericolo ecotossicologico (Assente o Basso). Solo nei campioni A21 dell'area di immersione, e A11 (50%) dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio, l'aumento del pericolo chimico è stato corrisposto da un aumento del pericolo ecotossicologico che risulta Medio. Sempre nell'area potenzialmente

impattata dalle operazioni di dragaggio, il campione A08 (pur con un livello di pericolo chimico Assente) ha invece evidenziato una classe di pericolo ecotossicologico Medio, essenzialmente dovuta alla risposta del saggio con *V. fischeri* che ha contribuito maggiormente alla tossicità complessiva della batteria, seguito in misura minore dal saggio di embriotossicità con *C. gigas*.

I criteri di integrazione ponderata del nuovo DM 173/2016 consentono di abbandonare il principio del singolo superamento chimico o del risultato peggiore tra i saggi ecotossicologici, ed ottenere un giudizio integrato di Classe di qualità che riassume il significato chimico e tossicologico complessivo di ampi datasets di risultati analitici, e di effettuare al contempo più chiari confronti tra siti e/o periodi diversi.

Il confronto dell'elaborazione della "Classe di Qualità" dei sedimenti ottenuti nel 2018 e nel 2020 mostra nella maggior parte dei casi una situazione confrontabile senza passaggi di classe, o limitati a quelli tra la Classe A e B. Solo in 6 campioni si osserva tra il 2018 e il 2020 il passaggio dalla Classe A (o B) alla Classe C. In 2 campioni dell'area di immersione e in 2 campioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (A21-A74 e A50-A59), il passaggio alla Classe C, è stato determinato dal peggioramento del pericolo chimico, mentre il pericolo ecotossicologico è rimasto Assente con l'unica eccezione di A21 (dove passa a Medio). Diversa è la situazione per i campioni A8 e A11 dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio, dove il passaggio dalla Classe A alla Classe C non è stato determinato dal pericolo chimico, ma da un aumento del pericolo ecotossicologico.

Per quanto riguarda l'analisi del biota, l'analisi dei valori dell'indice AMBI e M-AMBI non ha evidenziato particolari condizioni di stress nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e le aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione compreso l'area d'immersione stessa, come emerso dai livelli di *Ecological Quality Status* (ECoQ) e i Rapporti di Qualità Ecologica (RQE) riscontrati. Tutte le stazioni presentano un RQE *Hight* (Blu) oppure un RQE *Good* (verde).

Inoltre il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna *ante operam* mostra nella campagna in *Corso d'Opera* valori simili o in alcuni casi migliori, tale miglioramento, come detto in precedenza può essere attribuito al differente periodo di monitoraggio, inverno *Ante Operam*, primavera *Corso d'Opera*. La stagionalità ha un ruolo importante sui cicli di riproduzione degli organismi bentonici.

L'analisi strutturale ha altresì evidenziato, in tutte le aree, una buona diversità specifica ed abbondanze anche rilevanti in alcune aree.

Nell'area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio in totale sono stati rinvenuti 136 taxa e 5.119 individui (media 341,27 individui +/- 376,2 SD, n =15) con una densità pari a 3.412,7 individui al m². Nelle due aree potenzialmente impattate dall'attività di immissione dei sedimenti dragati sono stati rinvenuti un totale 107 taxa e 1.547 individui (media 171,89 individui +/- 215,01 SD, n =9) con una densità pari a 1.718 individui al m² nell'area prospiciente la Costiera Amalfitana, e un totale di 120 taxa e 11.173 individui (media 931,08

individui +/- 1213,95 SD, n=12) con una densità pari a 9.310 individui al m² nell'area del Litorale della Piana del Sele. Nel sito d'immersione sono stati contati un totale di 45 taxa e 251 individui (media 10,46 individui +/- 6,54 SD, n=24) con una densità pari a 104 individui al m².

Abbondanze significative di alcuni organismi come il mollusco bivalve *Spisula subtruncata* sono da considerare normali sia per l'area di ritrovamento che ne è l'habitat caratteristico sia per la stagione primaverile che è quella di crescita demografica.

In riferimento alle attività svolte dalla Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, si evidenzia che durante le campagne di monitoraggio effettuate ante operam e corso d'opera primo anno nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e immersione a mare, nella caratterizzazione delle biocenosi bentoniche, con analisi effettuate su campioni di fondale per la determinazione del macrozoobenthos (60 campioni in 20 stazioni in tre repliche per stazione) nelle aree antistanti e circostanti al porto non è mai evidenziata la presenza di *Cymodocea nodosa*, *Posidonia oceanica* o altre macrofite a elevato pregio naturalistico o protette (ASPIM). Questo a conferma dello studio sulla bionomia bentonica effettuato dall'Autorità Portuale di Salerno nell'ottobre 2013 allegato ai documenti di VIA. Si evidenzia che la Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, sta conducendo ulteriori analisi di censimento visivo, a integrazione di quanto fatto, proprio per confermare i risultati preliminari sopra evidenziati e ampliare a scale spaziali adeguate. I risultati saranno trasmessi con le risultanze della seconda fase.

Bioaccumulo e Biomarkers

I risultati complessivi ottenuti dai sedimenti, i puntiformi aumenti della chimica non si riflettono in effetti biologici preoccupanti. Queste conclusioni trovano conferma in quanto osservato nei mitili (Mussel Watch). Le analisi di bioaccumulo, infatti, hanno evidenziato un aumento sporadico di alcuni inquinanti con un livello di pericolo Medio negli organismi trapiantati nei siti MW1 e MW3 ottenuto a causa prevalentemente dell'aumento delle concentrazioni tissutali di Methoxychlor, Disulfoton, Metolcarb.

Il possibile effetto biologico dell'accumulo di sostanze chimiche nei mitili è stato valutato con un'ampia batteria di biomarker, risposte molto sensibili in grado di evidenziare sia la comparsa dei primi effetti che di forme più evidenti di tossicità dovute ai contaminanti. Analogamente a quanto osservato nel monitoraggio del 2018, le analisi dei biomarker hanno evidenziato un buono stato di salute degli organismi trapiantati nei diversi siti dell'area interessata dal monitoraggio ambientale con valori comparabili a quelli misurati in aree di riferimento, permettendo così di escludere particolari fenomeni di criticità ambientale nell'area utilizzata

Errata corrige

Si precisa che le coordinate del sito di Immersione come riportate nel decreto legislativo vigente, sono errate a causa di una conversione non corretta del formato di coordinate, pertanto si riportano nella Tabella qui di seguito le corrette coordinate.

ID	COORDINATE – WGS 84			
	AREA CORRETTA		AREA ERRATA	
A	474440,9986	4492504,6687	474589,8900	4491496,2070
B	479825,8498	4487428,9049	479828,1370	4486257,9600
C	474750,0860	4482044,0537	474589,8900	4481019,7130
D	469365,2349	4487119,8175	469351,6430	4486257,9600
Centro	474595,5423	4487274,3612	474589,8900	4486257,9600

Riferimenti bibliografici

- APAT (2003) Proposta di guida tecnica sui metodi di analisi dei suoli contaminati. APAT; Centro Tematico Nazionale Suolo e Siti Contaminati; Centro Tematico Nazionale Territorio e Suolo.
- APAT CNR IRSA 3200 – Metodi analitici per le acque - Manuali e Linee Guida 29/2003.
- Arena P., Bombace G., (1970). Bionomie benthique et faune ichthyologique des fonds de l'étage eirealittoral et bathyal des golfes de Castellammare (Sicile nord-occidentale) et de Patti (Sicile nord-orientale). Journ. ichthyoi. 145-156. XXII CIESM, Roma
- Arena P., Li Greci F. (1973). Indagine sulle condizioni faunistiche e sui rendimenti dei fondali batiali della Sicilia occidentale e della bordura settentrionale dei banchi della soglia Siculo-Tunisina. Quad. Lab. Tecnol. e Pesca, 1973. 4: 157-201.
- ARPAT (1998) Metodologia di saggio algale per il controllo dei corpi idrici e delle acque di scarico: 191 pp.
- ASTM (1995) Standard guide for conducting static acute toxicity tests with echinoid embryos- E 1563-95. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 1029-1046.
- Atlante delle risorse ittiche demersali italiane (1997) Ardizzone G. D. & F. Corsi (eds.) Genova, 479 pp.
- Azur Environmental, 1995. Microtox acute toxicity basic test procedures, 63.
- Benedetti M., Ciaprini F., Piva F., Onorati F., Fattorini D., Notti A., Ausili A., Regoli F. (2012). A multidisciplinary weight of evidence approach toward polluted sediments: integrating sediment chemistry, bioavailability, biomarkers responses and bioassays. Environmental International 38: 17-28.
- Benedetti, M., Gorbi, S., Fattorini, D., d'Errico, G., Piva, F., Pacitti, D., Regoli, F. (2014). Environmental hazards from natural hydrocarbons seepage: Integrated classification of risk from sediment chemistry, bioavailability and biomarkers responses in sentinel species. Environmental Pollution, 185, pp. 116-126.
- Blumer, M., Guillard, R.R.L., Chase, T. (1971). Hydrocarbons of marine phytoplankton. Marine Biology 8, 183–189.
- Bocchetti, R., Fattorini, D., Gambi, M.C., Regoli, F. (2004). Trace Metal Concentrations and Susceptibility to Oxidative Stress in the Polychaete *Sabella spallanzanii* (Gmelin) (Sabellidae): Potential Role of Antioxidants in Revealing Stressful Environmental Conditions in the Mediterranean. Arch. Environ.

- Contam. Toxicol. 46-3: 353-361.
- Bocchetti, R., Fattorini, D., Pisanelli, B., Macchia, S., Oliviero, L., Pilato, F., Pellegrini, D., Regoli, F. 2008. Contaminant accumulation and biomarker responses in caged mussels, *Mytilus galloprovincialis*, to evaluate bioavailability and toxicological effects of remobilized chemicals during dredging and disposal operations in harbor areas. *Aquatic Toxicology*, 89 (4): 257-266.
- Bolch, C.J.S. (1997). The use of sodium polytungstate for the separation and concentration of living dinoflagellate cysts from marine sediments. *Phycologia* 36(6): 472–478.
- Bolognesi, C., Fenech, M., 2012. Mussel micronucleus cytome assay. *Nature Protocols*, 7 (6), pp. 1125-1137.
- Borja, A., Franco, J., Pèrez, V., (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 1100-1114.
- Buurman P., van Lagen B., Velthorst E. J, (1996). *Manual for Soil and Water Analysis*. Backhuys Publishers Leiden, The Netherlands.
- C. (eds). ISPRA, Roma, pp 55-79.
- Carr, R.S., Chapman, D.C. 1995. Comparison of methods for conducting marine and estuarine sediment porewater toxicity tests – extraction, storage and handling techniques. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 28, 69–77.
- Carrada, G. C., T. S. Hopkins, G. Bonaduce, A. Ianora, D. Marino, M. Modigh, M. Ribera d’Alcalà, and B. Scotto di Carlo (1980). Variability in the hydrographic and biological features of the gulf of Naples. *Marine Ecology* 1:105-120.
- Cicero, A. M., Di Girolamo, I., Roma (2001), *Metodologie Analitiche di Riferimento*. Programma di Monitoraggio per il controllo dell'Ambiente marino costiero (Triennio 2001-2003). Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ICRAM.
- Clementson L. A. and Wayte S. E. 1992. The effects of frozen storage of open-ocean seawater sample on the concentration of dissolved Phosphate and Nitrate. *Water Research*, 26 (9): 1171-1176.
- Cozzi, S., F. Margiotta, V. Saggiomo (2010). Azoto e Fosforo Totali e Disciolti. In *Metodologie di studio del plancton marino*. Socal G., Buttino I., Cabrini M., Mangoni O., Penna A., Totti C. (eds). ISPRA, Roma, pp 87-100.
- Di Carlo, M., Giovannelli, D., Fattorini, D., Le Bris, N., Vetriani, C., Regoli, F. (2017). Trace elements and arsenic speciation in tissues of tube dwelling polychaetes from hydrothermal vent ecosystems (East Pacific Rise): An ecological role as antipredatory strategy? *Mar. Environ. Res.* 132: 1-13.
- DM 173 del 15 luglio 2016. Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini. GU Serie Generale n.208 del 06-09-2016 - Suppl. Ordinario n. 40.
- DM 185 del 13 settembre 1999. Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo".GU Serie Generale n.248 del 21-10-1999 - Suppl. Ordinario n. 185.
- Dumas J.B.A. 1831. Procédés de l'analyse organique. *Ann.Chim.Phys.* 247: 198-213.
- Ekpo, B.O., Fubara, E.P., Ekpa, O.D., Marynowski, H.L. (2012). Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and PAH distribution indices in sediments from coastal areas of Bonny River in Niger Delta, Nigeria. *ARNP Journal of Earth Sciences* 1-1:9-20.
- Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres Jr., V., Featherstone, R.M., 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology*, 7 (2), pp. 88-90.
- Environment Canada (1992). Biological test method: fertilization assay using Echinoids (sea urchins and sand dollars). *Environmental Protection Series*. EPS 1/RM/27, Ottawa, Canada.
- Etiopio, G., Panieri, G., Fattorini, D., Regoli, F., Vannoli, P., Italiano, F., Locritani, M., Carmisciano, C. 2014. A

- thermogenic hydrocarbon seep in shallow Adriatic Sea (Italy): Gas origin, sediment contamination and benthic foraminifera. *Marine and Petroleum Geology*, 57: 283-293.
- Fattorini D., Notti A., Di Mento R., Cicero AM., Gabellini M., Russo A., Regoli F. 2008. Seasonal, spatial and inter-annual variations of trace metals in mussels from the Adriatic Sea: a regional gradient for arsenic and implications for monitoring the impact of off-shore activities. *Chemosphere*. 72: 1524–1533.
- Fattorini, D., Notti, A., Halt, M.N., Gambi, M.C., Regoli, F. (2005). Levels and chemical speciation of arsenic in polychaetes: A review. *Mar. Ecol.* 26-3,4: 255-264.
- Fattorini, D., Notti, A., Nigro, M., Regoli, F. (2010). Hyperaccumulation of vanadium in the Antarctic polychaete *Perkinsiana littoralis* as a natural chemical defense against predation. *Environ.Sci. Pollut. Res.* 17-1: 220-228.
- Fenaux L., 1968. Maturation des gonades et cycle saisonnier des larves chez *A. lixula*, *P. lividus* et *P. microtuberculatus* (Echinides) a` Villfranche-Sur-Mer. *Vie Milieu* 19:1–52.
- Fertilization Test. Environmental Research Laboratory, Narragansett, RI, pp 125-131.
- Ficken K.J., Li B., Swain D.E., Eglinton G. 2000. An n-alkane proxy for sedimentary input of submerged/floating fresh water aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry*. 31, 745-759.
- Giani, M., C. De Vittor, F. Savelli, S. Santinelli (2010). Determinazione del Carbonio Organico Disciolto nell'acqua marina. In *Metodologie di studio del plancton marino*. Socal G., Buttino I., Cabrini M., Mangoni O., Penna A., Totti C. (eds). ISPRA, Roma, pp 81-86.
- Gorbi S., Regoli F. (2011). Total oxyradical scavenging capacity assay. In (Abele D., Vazquez-Medina J.P., Zenteno-Savín T. Eds) *Oxidative stress in aquatic ecosystems*. Wiley-Blackwell, pp: 359-366
- Hansen, H.P., Koroleff, F. 1999. Determination of nutrients. In: Grasshoff, K., Kremling, K., Ehrhardt, M., *Methods of Seawater Analysis*, 3rd Edition, Wiley-VCH, Weinheim, 600 pp.
- ICES (2013). International Council for the Exploration of the Sea. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.5082>
- ICES-International Council for the Exploration of the Sea, *Techniques in Marine Environmental Sciences* No. 22, 1998. Biological effects of contaminants: Cholinesterase inhibition by organophosphate and carbamate compounds.
- ICES-International Council for the Exploration of the Sea, *Techniques in Marine Environmental Sciences* No. 56, 2015. Lysosomal membrane stability in mussels.
- ICES-International Council for the Exploration of the Sea, *Techniques in Marine Environmental Sciences* No. 315, 2012. Integrated marine environmental monitoring of chemicals and their effects.
- ISO (2006). Water quality: determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (luminescent bacteria test) – part 3: method using freeze-dried bacteria. ISO/CD 11348-3.
- ISO International Organization for Standardization 2006. Water quality - Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricornutum*. Draft International Standard ISO/DIS 102531. ISO, Genève, Switzerland.
- ISPRA (2011). Batterie di saggi ecotossicologici per sedimenti di acque salate e marine. ISPRA Manuali e linee guida - 67/2011, ISBN 978-88-448-0498-5, <http://www.isprambiente.gov.it/>
- ISPRA (2017). Quaderno di Ecotossicologia. "Saggio di fecondazione e saggio embrionale con il riccio di mare *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata: Echinodea)". <http://www.isprambiente.gov.it/>
- Jeng, W.L., Huh, C.A. (2008). A comparison of sedimentary aliphatic hydrocarbon distribution between East China Sea and southern Okinawa Trough. *Continental Shelf Research*, 28 (4-5), pp. 582-592.
- Lazzara, L., F. Bianchi, L. Massi, M. Ribera D'Alcalà (2010). Pigmenti clorofilliani per lo studio della biomassa fitoplanctonica. In *Metodologie di studio del plancton marino*. Socal G., Buttino I., Cabrini M., Mangoni O., Penna A., Totti C. (eds). ISPRA, Roma, pp 365-377.

- Leverett, Dean, and John Thain. Oyster embryo-larval bioassay (revised). International Council for the Exploration of the Sea, 2013.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J., 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *The Journal of biological chemistry*, 193 (1), pp. 265-275.
- Margalef R. (1958). Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3: 36-71.
- Margiotta F. (2011) Nitrogen and Phosphorous dynamics in coastal areas: common patterns, peculiarities and ecological implications, PhD Thesis, Scienze ed Ingegneria del Mare, Naples: 168 pp.
- Margiotta F., C. Chiaese, A. Passarelli, R. Cioffi, I. Santarpia (2006). Evoluzione temporale delle variabili idrologiche di sette ecosistemi marino – costieri della Regione Campania. In: Gestione e tutela dell’ambiente marino – costiero in Campania. L. Capobianco, V. Saggiomo, E. Zucaro (Eds), ARPAC, Napoli, pp13-28.
- Margiotta, F., O. Mangoni, I. Santarpia, M. Saggiomo, V. Saggiomo, R. Casotti (2013) Response of phytoplankton assemblages to terrigenous pressures in the Southern Tyrrhenian Sea. *Biol. Mar. Mediterr.* 20 (1): 214-215.
- Maurin C (1968) Ecologie ichtyologique des fonds chalutables de la baie ibero-marocaine a la Mauritanie et de la Mediterranee occiedntale. *Rev Trav Inst Pech marit* 32 (1):1-130.
- Montresor, M., A. Zingone, and D. Sarno. (1998). Dinoflagellate cyst production at a coastal Mediterranean site. *Journal of Plankton Research* 20(12): 2291–2312.
- Moore, M.N., 1982. Lysosomes and environmental stress. *Marine Pollution Bulletin*, 13 (2), pp. 42-43.
- Moore, M.N., Icarus Allen, J., McVeigh, A., 2006. Environmental prognostics: An integrated model supporting lysosomal stress responses as predictive biomarkers of animal health status. *Marine Environmental Research*, 61 (3), pp. 278-304.
- Morrone, L., Pinsino, A., Pellegrini, D., Regoli, F., Matranga, V. (2016). Development of a new integrative toxicity index based on an improvement of the sea urchin embryo toxicity test. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 123: 2-7
- Moutin, T. and P. Raimbault (2002). Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in early summer 1996 (MINOS cruise). *Journal of Marine Systems* 33:273-288.
- Muxika, I., Borja, A., Bonne, W., (2005). The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. *Ecol. Indic.* 5 (1), 19–31.
- Neff JM. (2002). Bioaccumulation in Marine Organisms: Effect of Contaminants from Oil Well Produced Waters. Elsevier Ed., 452 pag.
- Pielou E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13, 131-144.
- Piva F., Ciaprini F., Onorati F., Benedetti M., Fattorini D., Ausili A., Regoli F. 2011. Assessing sediment hazard through a Weight of Evidence approach with bioindicator organisms: a practical model to elaborate data from sediment chemistry, bioavailability, biomarkers and ecotoxicological bioassays. *Chemosphere* 83: 475-485.
- Pujo-Pay, M., P. Conan, L. Oriol, V. Cornet-Barthaux, C. Falco, J. F. Ghiglione, C. Goyet, T. Moutin, and L. Prieur (2011). Integrated survey of elemental stoichiometry (C, N, P) from the western to eastern Mediterranean Sea. *Biogeosciences* 8:883-899.
- Ragonese S., Di Stefano L., Bianchini M. L. (2000). Catture e selettività di pesci cartilaginei nella pesca dei gamberi rossi nello Stretto di Sicilia. *Biologia Marina Mediterranea* 7:400-411.
- Regoli F., Bocchetti R., Wilhelm Filho D. (2011). Spectrophotometric assays of antioxidants. In (Abele D., Vazquez-Medina J.P., Zenteno-Savín T. Eds) *Oxidative stress in aquatic ecosystems*. Wiley-Blackwell,

pp: 367-380

- Regoli F., Pellegrini D., Cicero A.M., Nigro N., Benedetti M., Gorbi S., Fattorini D., d'Errico G., Di Carlo M., Nardi A., Gaion A., Scuderi A., Giuliani S., Romanelli G., Berto D., Trabucco B., Guidi, Bernardeschi M., Scarcella V., Frenzilli G. (2014). A multidisciplinary weight of evidence approach for environmental risk assessment at the Costa Concordia wreck: integrative indices from Mussel Watch. *Mar. Environ. Res.* 96: 92-104.
- Regoli, F., 1992. Lysosomal responses as a sensitive stress index in biomonitoring heavy metal pollution. *Marine Ecology Progress Series*, 84 (1), pp. 63-69.
- Regoli, F., d'Errico, G., Nardi, A., Mezzelani, M., Fattorini, D., Benedetti, M., Di Carlo, M., Pellegrini, D., Gorbi, S. 2019. Application of a weight of evidence approach for monitoring complex environmental scenarios: The case-study of off-shore platforms. *Frontiers in Marine Science*. 6; 377.
- Regoli, F., Winston, G.W., 1999. Quantification of total oxidant scavenging capacity of antioxidants for peroxynitrite, peroxy radicals, and hydroxyl radicals. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 156 (2), pp. 96-105.
- Relini G., Peirano A., Tunesi L. (1986). Osservazioni sulle comunità dei fondi strascicabili del Mar Ligure Centro-Orientale. *Boll. Mus. ht. Biol. Univ. Genova* 52 suppl., 139-161.
- Rinelli P., Bottari T., Florio G., Romeo T., Giordano D., Greco, S. (2005) Observations on distribution and biology of *Galeus melastomus* (Chondrichthyes, Scyliorhinidae) in the southern Tyrrhenian Sea (central Mediterranean). *Cybium* 29, 41–46.
- Rubino, F., M. Belmonte, C. Caroppo, and M.G. Giacobbe. (2010). Dinoflagellate cysts from surface sediments of Syracuse Bay (Western Ionian Sea, Mediterranean). *Deep-Sea Research Part II* 57:243–247.
- Saggiomo, V., G. Catalano, F. Corato, M. Ribera D'Alcalà (2010). Metodi automatici di analisi dei nutrienti. In *Metodologie di studio del plancton marino*. Socal G., Buttino I., Cabrini M., Mangoni O., Penna A., Totti C. (eds). ISPRA, Roma, pp 55-79.
- Satta, C.T., S. Anglès, E. Garcés, A. Lugliè, B.M. Padedda, and N. Sechi. (2010). Dinoflagellate cysts in recent sediments from two semi-enclosed areas of the Western Mediterranean Sea subject to high human impact. *Deep-Sea Research Part II* 57: 256–267.
- Ščančar J., Zuliani T., Turk T., Milačič R. (2007). Organotin compounds and selected metals in the marine environment of Northern Adriatic Sea. *Environ. Monit. Assess.* 127: 271–282.
- Shannon C.E., Weaver W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana University Press, 122 pp.
- Squadrone S., Brizio P., Stella C., Prearo M., Pastorino P., Serracca L., Ercolini C., Abete MC. (2016). Presence of trace metals in aquaculture marine ecosystems of the northwestern Mediterranean Sea (Italy). *Environ. Pollut.* 215: 77-83.
- US EPA (1991). *Earl-Standard Operating Procedure Conducting the Sea Urchin *Arbacia punctulata* Fertilization Test*. Environmental Research Laboratory, Narragansett, RI, pp 125-131.
- Wang, M, S. Albanese, A. Lima, C. Cannatelli, A. Cosenza, W. Lu, M. Sacchi, A. Doherty, B. De Vivo (2015). Compositional analysis and pollution impact assessment: A case study in the Gulfs of Naples and Salerno Estuarine, *Coastal and Shelf Science* 160: 22-32
- Wetzel, D.L., Van Vleet, E.S. (2004). Accumulation and distribution of petroleum hydrocarbons found in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in the canals of Venice, Italy. *Marine Pollution Bulletin*, 48 (9-10), pp. 927-936.
- Winston, G.W., Regoli, F., Dugas Jr., A.J., Fong, J.H., Blanchard, K.A., 1998. A rapid gas chromatographic assay for determining oxyradical scavenging capacity of antioxidants and biological fluids. *Free Radical Biology and Medicine*, 24 (3), pp. 480-493.



- Winters, K., Parker, P.L., Van Baalen, C. (1969). Hydrocarbons of bluegreen algae: geochemical significance. *Science* 158, 467–468.
- Zingone, A., C. Totti, D. Sarno, M. Cabrini, C. Caroppo, M. G. Giacobbe, A. Lugliè, C. Nuccio, G. Socal (2010). Fitoplancton: metodiche di analisi quali-quantitativa. In: *Metodologie di studio del plancton marino*. Socal G., Buttino I., Cabrini M., Mangoni
- Zingone, A., R. Siano, D. D'Alelio, D. Sarno (2006). Potentially toxic and harmful microalgae from coastal waters of the Campania region (Tyrrhenian Sea, Mediterranean Sea). *Harmful Algae*, 5 (3), 321-337.

Firmato digitalmente da: MARCO BORRA
Luogo: Napoli
Data: 19/01/2021 19:27:58