

RELAZIONE FINALE
PROGETTO DI RICERCA E MONITORAGGIO
DELL' AMBIENTALE MARINO NELL'AREA COMPRESA TRA
MARINA DI TARQUINIA E SANTA SEVERA

Gennaio 2019

INDICE

1. PREMESSE	4
2. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ	6
3. MONITORAGGIO ATTRAVERSO STAZIONI FISSE DI MISURA	8
3.1 Stazione di misura ‘Ambiti Portuali’	8
3.2 Stazione di misura ‘Ambiti Extra-Portuali’	8
3.3 Dati integrativi	12
4. CARATTERIZZAZIONE DELLE ACQUE	19
5. ELEMENTI DI QUALITÀ DELLO STATO ECOLOGICO	27
5.1 Quadro Normativo di riferimento	27
5.2 Fitoplancton	31
6. ELEMENTI DI QUALITÀ DELLO STATO CHIMICO	35
7. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI REFLUITI IN VASCA DI COLMATA	45
8. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI MARINI	49
9. MONITORAGGIO DELLA <i>POSIDONIA OCEANICA</i>	54
9.1 Analisi delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	57
9.2 Monitoraggio del limite inferiore di <i>Posidonia oceanica</i> (L.) Delile	60

10. MONITORAGGIO DELLE BIOCENOSI BENTONICHE	64
10.1 Benthos di fondo mobile	65
10.2 Benthos di fondo duro	72
11. ATTIVITA' SCIENTIFICHE INTEGRATIVE	76
11.1 Studio degli impatti acustici in area portuale e periportuale	77
11.2 Studio delle specie aliene associate ai substrati duri del Porto di Civitavecchia	79
12. RISULTATI DELLA RICERCA	100
13. CONCLUSIONI	105

1. PREMESSE

Il Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica (C.I.P.E.), con le Delibere n. 140 del 21.12.2007 e n. 2 del 25.01.2008 ha approvato, ai sensi e per gli effetti dell'art.166 del D.lgs 163/2006, con le prescrizioni e le raccomandazioni proposte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, prot. DSA_2006_0021173, il progetto definitivo "Opere Strategiche per il Porto di Civitavecchia – Primo lotto funzionale - prolungamento antemurale Cristoforo Colombo, Darsena Traghetti e Servizi".

Tra l'altro, le suddette Delibere prevedono che: "i progetti esecutivi dovranno contenere in forma chiara ed esplicita tutti gli accorgimenti necessari affinché non si superino, durante le fasi di cantiere e di esercizio, i limiti di legge previsti per ciascun agente impattante, verificandoli mediante il monitoraggio ambientale."

L'Autorità Portuale di Civitavecchia pertanto, nell'ambito di tutta una serie di attività promosse con l'obiettivo di definire un quadro unitario di conoscenza dello stato dell'ambiente e al fine di prevedere e predisporre eventuali misure mitigative per la salvaguardia della salute umana e dell'ambiente ha disposto che prima della messa in opera dei dragaggi all'interno del porto di Civitavecchia, durante le fasi di cantiere e di esercizio del "Primo lotto funzionale delle Opere Strategiche per il Porto di Civitavecchia", venisse attuato un Piano di Monitoraggio dell'ambiente marino costiero esteso all'unità fisiografica compresa tra S.Severa (RM) e Lido di Tarquinia (VT).

Le attività di studio e monitoraggio, poste in atto dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (del DEB, Università degli Studi della Toscana) ed oggetto del presente lavoro, hanno avuto come obiettivo quello di definire le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche della colonna d'acqua e dei fondali marini nell'intorno del Porto di Civitavecchia durante le diverse fasi operative, al fine di valutare gli eventuali effetti delle attività portuali sull'ambiente marino.

Il progetto di ricerca e monitoraggio dell'ambiente marino svolto in questi anni ha previsto la realizzazione di una serie di attività, come di seguito elencate:

- studio e monitoraggio delle caratteristiche chimiche, fisiche e bio-ottiche delle acque attraverso stazioni fisse di misura, durante l'intero arco del progetto;
- caratterizzazione chimica, fisica e bio-ottica della colonna d'acqua prima dell'inizio delle

- operazioni di dragaggio, durante la fase di dragaggio e nei successivi 4 anni;
- caratterizzazione fisico-chimica dei fondali marini durante la fase di cantiere;
 - caratterizzazione della qualità dei materiali dragati e refluiti in cassa di colmata;
 - studio delle praterie di *Posidonia oceanica*;
 - studio delle biocenosi bentoniche di fondo mobile e duro.

Oltre alle attività sopra riportate, sono state integrate tutta in serie di attività di ricerca aggiuntive, al fine di rendere il sistema sempre più avanzato e completo e conforme alle richieste e le necessità delle politiche ambientali europee, in primis la Marine Strategy Framework Directive (MSFD - 2008/56/EC).

Di seguito vengono riassunte le attività che sono state effettuate durante l'intero arco del progetto di ricerca, nel periodo compreso tra il 2012 e il 2018.

2. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'

Il progetto di ricerca ha avuto come obiettivo lo studio e il monitoraggio dell'ambiente marino limitrofo al porto di Civitavecchia attraverso lo svolgimento delle seguenti attività:

- gestione delle stazioni di monitoraggio fisse, installate nell'ambito del monitoraggio di cui al Dec. VIA n.2935 del 22.12.1997, al fine di acquisire i dati di qualità delle acque all'interno e nell'intorno del porto di Civitavecchia, che verranno utilizzati per le verifiche di ottemperanza di cui alle Delibere CIPE 140/2007 e 2/2008. Il DEB provvederà ad installare, presso le suddette stazioni di monitoraggio (stazione 'Ambiti Extra-Portuali' al largo del porto di Civitavecchia e stazione di prossimità 'Ambiti Portuali' presso la banchina n.26 del porto) i pacchi strumentali necessari all'acquisizione dei principali parametri chimici, fisici e bio-ottici;
- monitoraggio della colonna d'acqua in tre punti significativi (selezionati in accordo con ARPA), prima e durante le attività di dragaggio, al fine di rilevare gli eventuali inquinanti nello strato superficiale e in colonna d'acqua;
- monitoraggio dei fondali marini durante i dragaggi, al fine di rilevare gli eventuali sedimenti che si depositano sui fondali provenienti dalle attività di dragaggio connesse alla realizzazione delle opere di cui al I lotto funzionale;
- monitoraggio della qualità dei materiali dragati e refluiti in cassa di colmata, al fine di accertare in corso d'opera l'idoneità fisico-chimico-biologica dei sedimenti dragati che saranno, eventualmente, refluiti in cassa di colmata come stabilito dal D.M. 24.01.1996 e ss.mm.ii., secondo le modalità indicate nella lettera a) delle attività di monitoraggio di cui al manuale delle attività operative approvato dal Ministero dell'Ambiente per il monitoraggio dell'ambiente marino previsto dal Dec. V.I.A. 2935/1997;
- monitoraggio della colonna d'acqua per i quattro anni successivi alle attività di dragaggio, al fine di rilevare gli eventuali inquinanti nello strato superficiale e in colonna d'acqua;
- monitoraggio delle biocenosi bentoniche di fondo mobile e duro e della *Posidonia Oceanica* nelle aree direttamente o indirettamente interessate dall'eventuale risospensione del sedimento dragato, attraverso due campagne di monitoraggio: la prima al termine delle

attività di dragaggio; la seconda passati quattro anni dalla conclusione della campagna sopra indicata;

- attività di monitoraggio accessorie, dati integrativi, e pubblicazione della ricerca: il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina ha messo a disposizione negli anni i dati raccolti attraverso i diversi progetti di ricerca svolti nel tratto di costa oggetto dello studio, integrando gli studi e le ricerche effettuati, anche ai fini delle attività di cui alle Delibere CIPE; ha messo inoltre a disposizione dell'Autorità Portuale di Civitavecchia le proprie conoscenze e capacità per la redazione di pubblicazioni su riviste internazionali referate inerenti i dati raccolti durante il progetto di ricerca, per la pubblicizzazione della ricerca svolta sia in ambito nazionale che internazionale, nonché per la redazione di reportistica scientifica integrativa rispetto a quella di cui alle Delibere CIPE.
- tutti i dati raccolti sono stati quotidianamente (per quanto attiene le stazioni di monitoraggio in continuo) e periodicamente aggiornati sulla sezione “monitoraggio ambiente marino“ del portale informatico dell'Autorità Portuale.

3. MONITORAGGIO ATTRAVERSO STAZIONI FISSE DI MISURA

3.1 Stazione di misura 'Ambiti Portuali'

La stazione di prossimità ‘Ambiti Portuali’, installata presso la banchina n.26 del Porto di Civitavecchia, è costituita da un insieme di sensori assemblati *ad hoc* per la misura dei parametri temperatura, conducibilità (salinità, densità), pH, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla *a*, torbidità, e da un sistema di acquisizione dei dati, programmato in modo tale da acquisire dati ogni 20 minuti. I dati vengono trasmessi giornalmente al CED dell'Autorità Portuale, dopo essere stati sottoposti ad un processo di controllo di qualità da parte del personale del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina.



Fig.1 Stazione banchina – stazione ‘Ambiti Portuali’

I dati sono stati utili a costruire delle serie temporali al fine di poter studiare le variazioni nel tempo delle caratteristiche delle masse d'acqua che interessano l'area di scambio tra la parte interna e l'imboccatura del Porto di Civitavecchia.

Nel corso delle varie fasi di lavoro non sono state rilevate particolari anomalie ed i dati sono

stati utilizzati per diverse pubblicazioni su riviste internazionali e per la presentazione di lavori in convegni internazionali.

3.2 Stazione di misura 'Ambiti Extra-Portuali'

La stazione di zero 'Ambiti Extra-Portuali', installata il 16 febbraio 2012 a circa 1 miglio di distanza dall'antemurale del Porto di Civitavecchia, era costituita da una piattaforma galleggiante, equipaggiata con un sistema di sensori di sensori assemblati *ad hoc* per la misura dei seguenti parametri: temperatura, conducibilità (salinità, densità), pH, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla *a*, torbidità. I sensori erano gestiti da un sistema di acquisizione dati, programmato in modo tale da acquisire dati ogni 20 minuti, che venivano trasmessi giornalmente al CED dell'Autorità Portuale, dopo essere stati sottoposti ad un processo di controllo di qualità da parte del personale del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina.

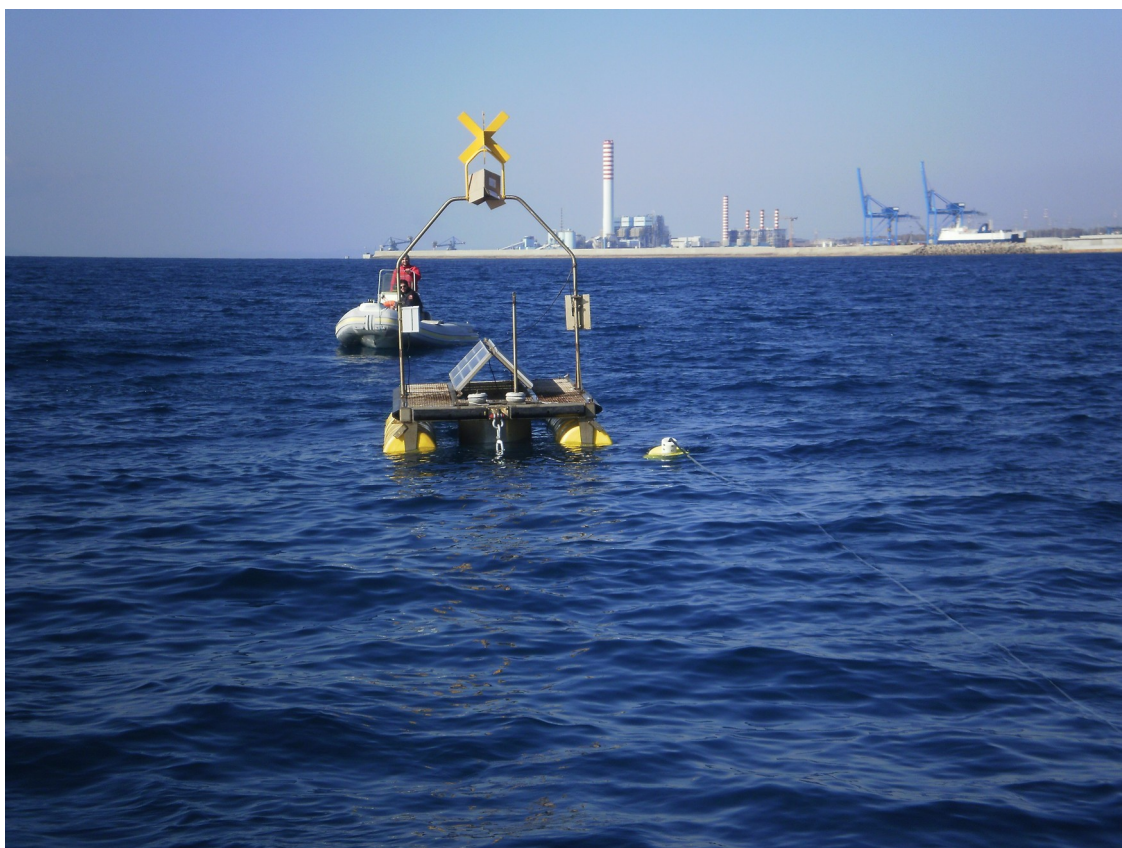


Fig.2 Boa oceanografica – stazione 'Ambiti Extra-Portuali'

Nel corso delle varie fasi di lavoro si è intercorsi in diverse problematiche (ribaltamento in data 31.08.2012 ed infine scomparsa in data 03.12.2012), che hanno portato alla variazione del punto di installazione della stazione di zero in un sito più idoneo e che garantisca allo stesso tempo un buon idrodinamismo ed una maggiore sicurezza nella continuità del dato.

Dai diversi sopralluoghi effettuati nell'area è stato individuato il sito più idoneo all'installazione della stazione di misura: il porticciolo del Villaggio del Fanciullo. E' stato quindi firmato un Protocollo d'Intesa, tra il LOSEM DEB dell'Università degli Studi della Toscana ed il rappresentante della Repubblica dei Ragazzi, per concordare attività congiunte e l'installazione della stazione di misura fissa. Il giorno 14.05.2014 il personale tecnico scientifico del LOSEM ha effettuato l'installazione della stazione fissa, anche attraverso il supporto degli Operatori Tecnici Subacquei (OTS) della ditta CO.SE.PO., che si sono occupati del fissaggio della struttura alla banchina.

La stazione di misura è costituita da una serie di sensori per la misura dei seguenti parametri: temperatura, conducibilità (salinità e densità), ossigeno disciolto, pH, fluorescenza della clorofilla a, torbidità. I sensori vengono gestiti da un sistema di acquisizione dati, il datalogger CR1000, che integra anche il dispositivo di trasmissione dei dati GSM. Il sistema di alimentazione è costituito da un pannello solare e da un accumulatore che fornisce energia in mancanza di illuminazione solare, al fine di garantire il funzionamento della stazione anche in caso di maltempo.

I dati, acquisiti ad intervalli di 20 minuti, vengono inviati ad un portale creato *ad hoc* dal LOSEM, e, dopo un processo di controllo di qualità e calibrazione, vengono trasferiti sul sito *ftp* dell'Autorità Portuale di Civitavecchia per la visualizzazione all'interno del portale ambientale dell'Autorità stessa.



Fig.3 Stazione ‘Ambiti Extra-Portuali’ installata presso il Villaggio del Fanciullo

Ad integrazione delle misure acquisite attraverso le stazioni di misura in continuo, dal periodo della scomparsa della boa oceanografica, è stata sviluppata una strategia integrata di monitoraggio e analisi. È stato quindi portato avanti un sistema che integrasse una serie di campagne di misura in corrispondenza del sito di ormeggio della boa oceanografica con sonde multiparametriche, campagne di campionamento dell'acqua per l'analisi della biomassa fitoplanctonica e del solido sospeso ed analisi dei dati satellitari di clorofilla *a* e solido sospeso dell'area oggetto di studio. I risultati ottenuti dalle varie attività hanno permesso di raccogliere dati utili ad integrare la mancanza dei dati acquisiti dalla boa oceanografica ed ad effettuare un confronto con la stazione di misura all'interno del porto.

Il monitoraggio delle acque marine è quindi costituito da un sistema integrato composto da:

- stazione di misura fissa ‘Ambiti Portuali’ in Banchina n.26;
- stazione di Zero ‘Ambiti Extra-Portuali’ installata presso il Villaggio del Fanciullo;
- campagne di misura con sonde multiparametriche e campionamenti di acqua presso il punto boa precedentemente identificato;

- elaborazione di dati satellitari di clorofilla *a* e solido sospeso superficiale.

Le stazioni di misura hanno permesso di acquisire serie temporali utili ad analizzare i fenomeni ed i processi dinamici che avvengono in un'area influenzata dalle attività portuali e in un'area esterna che invece viene influenzata dalle dinamiche naturali e antropiche locali. Nel corso delle varie fasi di lavoro non sono state rilevate particolari anomalie ed i dati sono stati utilizzati per diverse pubblicazioni su riviste internazionali e per la presentazione di lavori in convegni internazionali.

3.3 Dati integrativi

Ad integrazione delle misure acquisite attraverso le stazioni di misura fisse è stata sviluppata una strategia integrata di monitoraggio e analisi. E' stato quindi portato avanti un sistema che integrasse una serie di campagne di misura in corrispondenza del sito di ormeggio della boa oceanografica con sonde multiparametriche, campagne di campionamento dell'acqua per l'analisi della biomassa fitoplanctonica e del solido sospeso. Sono state inoltre elaborate una serie di immagini satellitari della zona, per i parametri di clorofilla *a* e solido sospeso, per integrare le informazioni nel periodo di interesse. Le immagini sono elaborate dai dati provenienti dal sensore MODIS Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), spettroradiometro montato sul satellite EOS PM per la misura sia della concentrazione della clorofilla *a* che del solido sospeso totale.

Le campagne di misura effettuate in corrispondenza del punto in cui era ormeggiata la boa oceanografica hanno permesso di acquisire una lunga serie temporale di dati, che ha consentito di analizzare le variazioni nel tempo delle variabili oggetto di studio. Di seguito si riportano le rappresentazioni temporali dell'andamento di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH e clorofilla *a*.

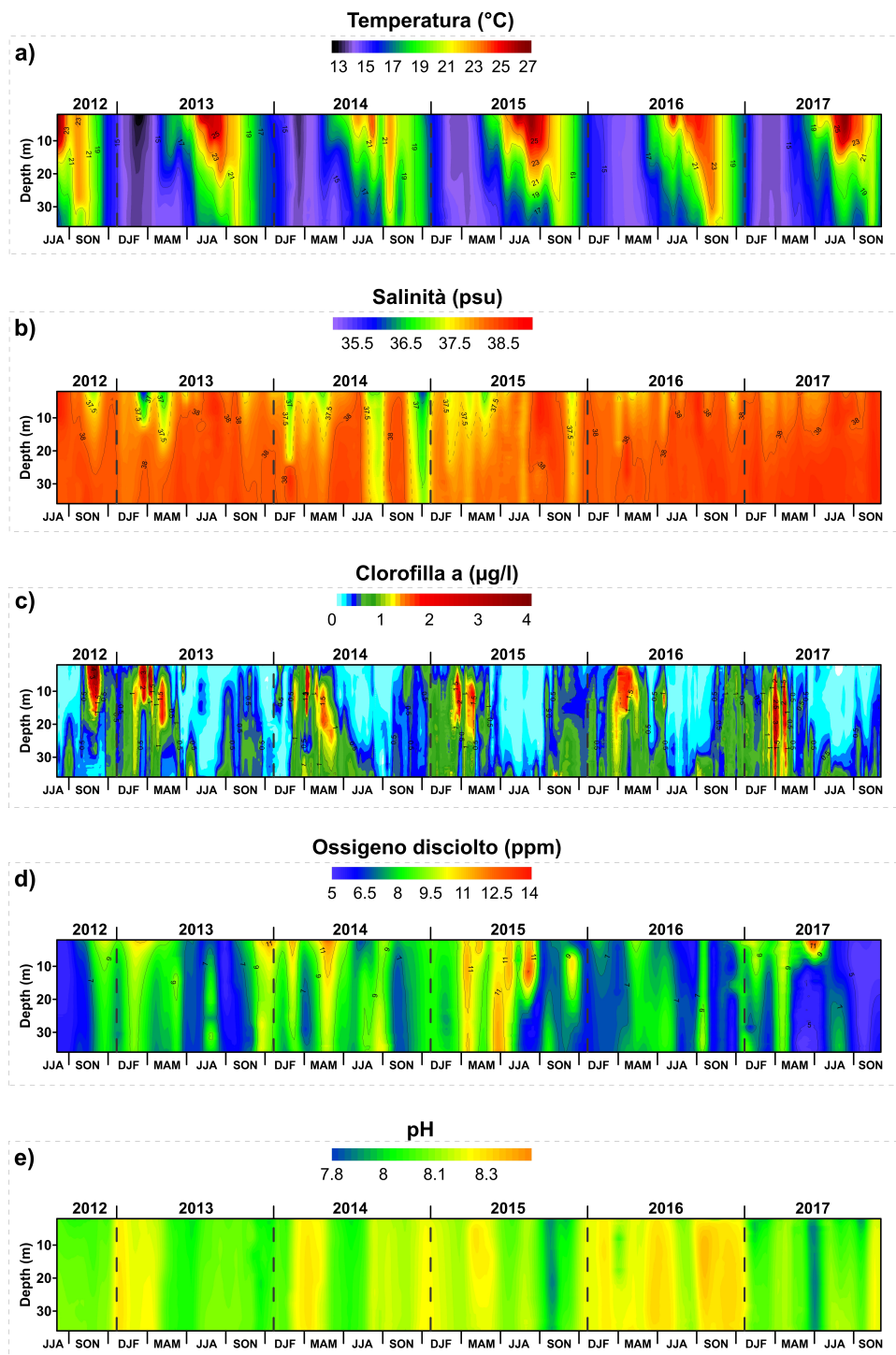


Fig.4 Andamento della distribuzione di Temperatura (a), Salinità (b), Clorofilla a (c) e Ossigeno disciolto (d) nella stazione BOA tra il 2012 e il 2017

L'andamento della struttura termica della colonna d'acqua mostrano il tipico andamento stagionale; è possibile osservare durante la stagione invernale una colonna d'acqua ben mescolata caratterizzata da temperature comprese tra i 12.5 °C e i 13.5°C. La stagione invernale 2013 è caratterizzata da valori di temperature più bassi, mentre quella del 2016 dalle temperature maggiori. La stagione primaverile è generalmente caratterizzata da un graduale riscaldamento che causa l'aumento della stratificazione termica lungo la colonna d'acqua, che raggiunge il massimo durante il periodo estivo. Dall'analisi delle stagioni estive risulta evidente che l'estate 2014 è stata caratterizzata da temperature notevolmente inferiori rispetto alle altre; il massimo termico è stato registrato nelle estati del 2013 e del 2015. È possibile inoltre osservare una notevole variazione nella distribuzione termica lungo la colonna d'acqua: il 2016 presenta temperature elevate (23°C) che raggiungono i 30 metri di profondità; durante gli altri anni invece l'isoterma dei 23°C è generalmente osservata a 20 metri di profondità. La stagione autunnale è caratterizzata in tutto il periodo da temperature omogenee con valori di circa 19°C e da una colonna d'acqua ben mescolata. Non si osservano variazioni significative tra i differenti anni.

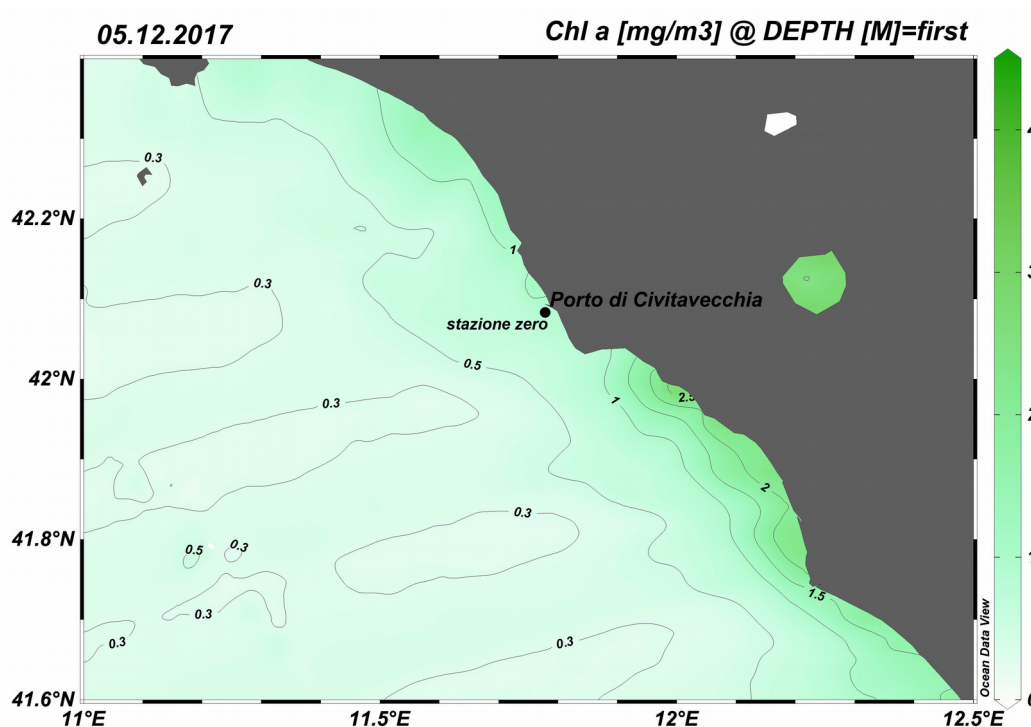
La salinità durante il periodo di indagine varia tra 35.5 psu e 38.5 psu. In generale si osserva che durante il periodo autunnale e invernale i valori superficiali di salinità sono inferiori ai 37.5 psu, mentre gli strati in prossimità del fondo sono caratterizzati da salinità superiori ai 38 psu. I valori minori si possono osservare nella stagione invernale del 2013, con valori di salinità che raggiungono i 36.5 psu. Il 2014 è caratterizzato dai valori minori; la salinità durante la stagione estiva che presenta valori di 37.5 psu in tutta la colonna d'acqua. L'autunno del 2014 è caratterizzato da salinità molto basse che coinvolgono l'intera colonna d'acqua; in questa stagione si osserva un pronunciato gradiente alino superficie fondo. Nel 2016 e nel 2017 si osservano i valori più elevati in tutta la colonna d'acqua; il gradiente superficie fondo è meno marcato e la salinità superficiale non presenta mai valori inferiori ai 37.5 psu. Nel 2017 è possibile osservare i valori di salinità più elevati che negli strati in prossimità del fondo raggiungono valori di 38.3 psu.

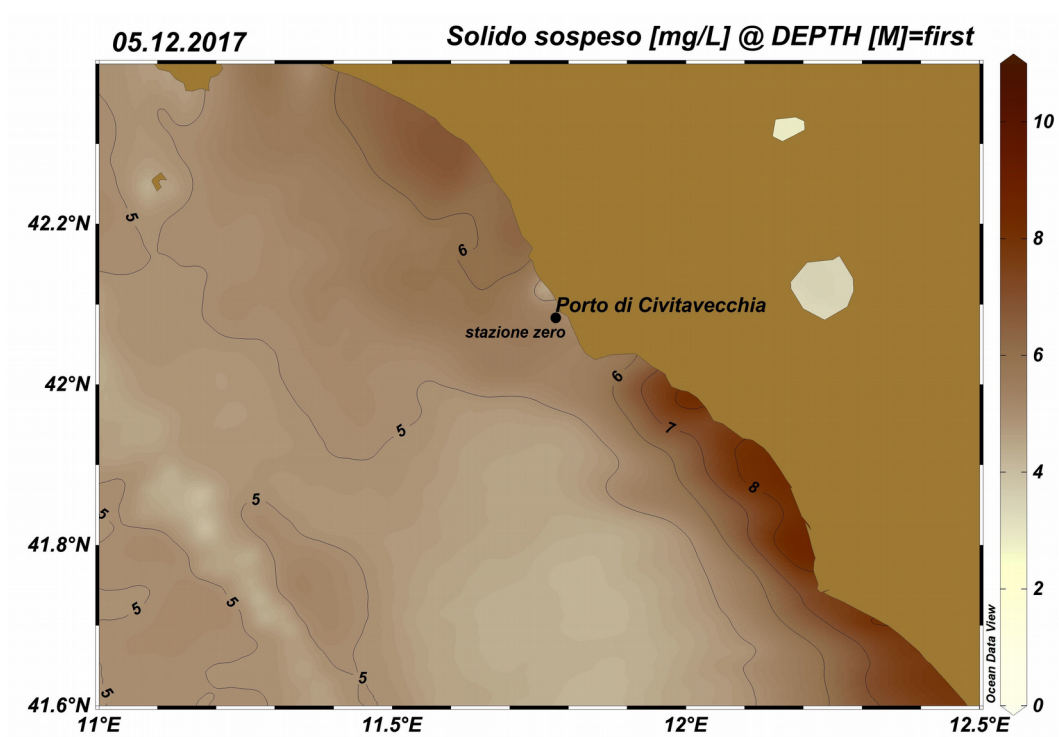
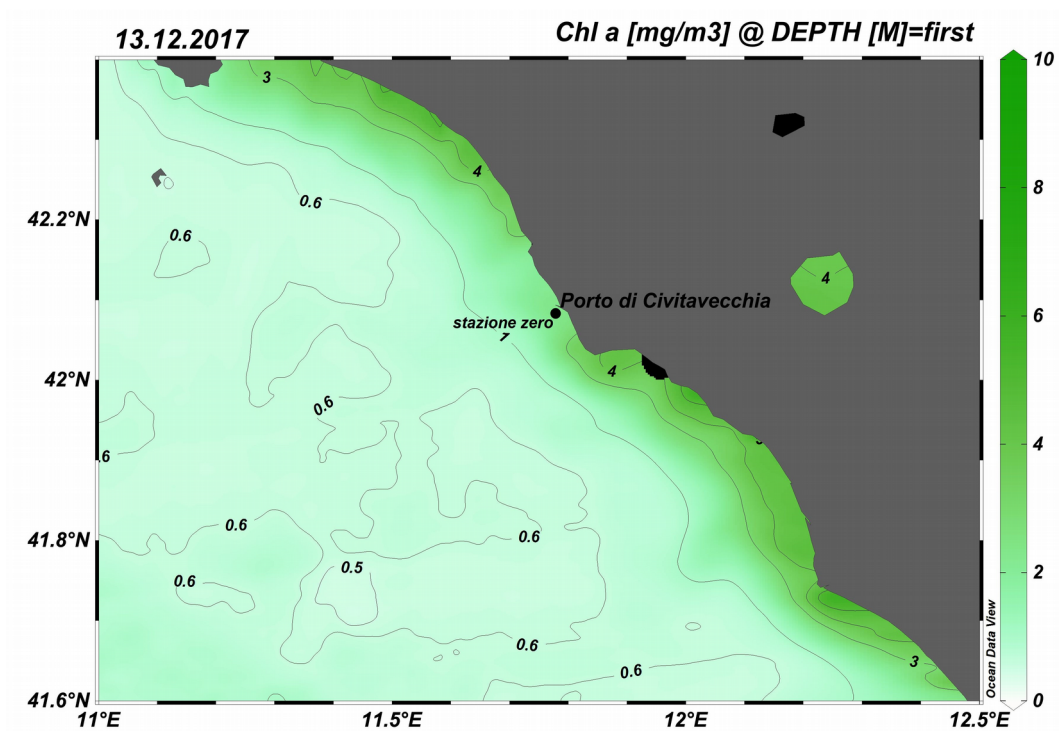
L'ossigeno disciolto lungo la colonna d'acqua presenta valori minimi di 5.5 ppm e massimi di 12 ppm; il periodo in cui si osservano i valori minimi è la stagione estiva, poiché la concentrazione di ossigeno in un fluido è inversamente proporzionale alla temperatura. I valori più elevati di ossigeno si osservano tra la fine della stagione invernale e quella primaverile. Il 2014 e il 2015 sono i periodi in cui si osservano i valori più elevati. Da notare durante la stagione estiva valori più elevati di ossigeno disciolto in prossimità del fondo.

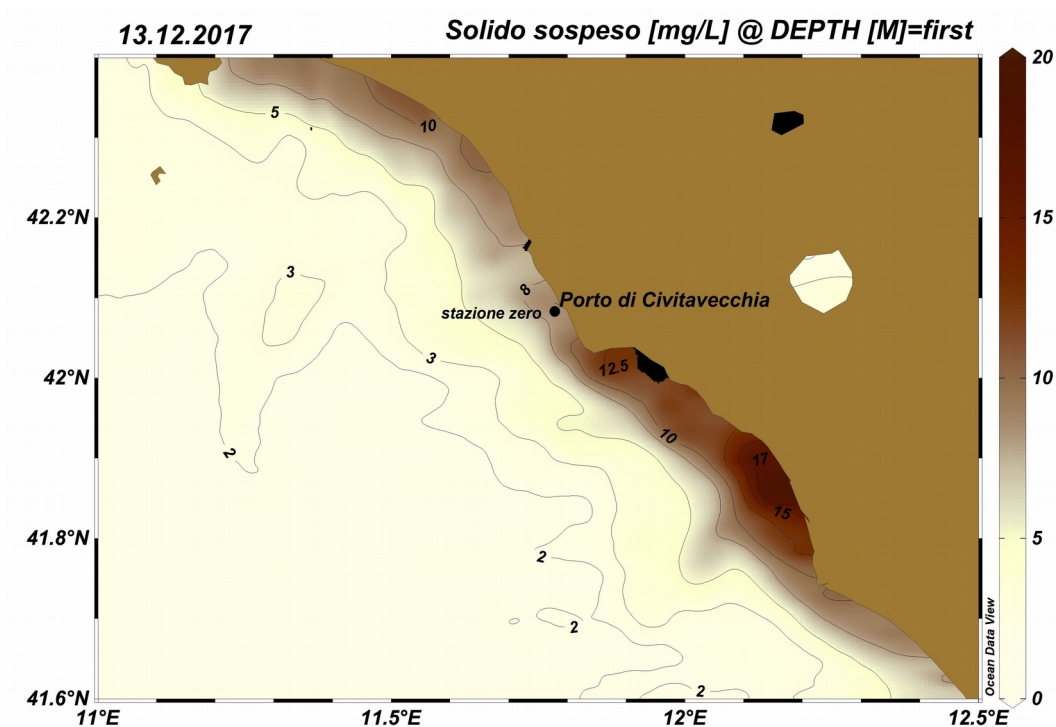
La distribuzione della clorofilla *a* segue chiaramente il tipico andamento osservabile alle medie latitudini, caratterizzato da due grandi fioriture annuali che avvengono tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera e durante l'autunno.

In corrispondenza del medesimo punto in cui venivano effettuate le misure tramite sonda multiparametrica sono stati effettuati una serie di campionamento di acqua per l'analisi del solido sospeso e della clorofilla *a*. Il campione di acqua, una volta prelevato, è stato trasportato in laboratorio, filtrato ed analizzato con lo spettrofotometro (ISPRA 'Metodologie di studio del plancton marino' 56/2010) per quanto attiene la concentrazione della clorofilla *a*, filtrato, essiccato e pesato (2090 APAT-IRSA/CNR 29/2003) per quanto attiene il solido sospeso.

Ad integrazione dei dati acquisiti in situ, sono state elaborate una serie di immagini satellitari nell'intero periodo oggetto del monitoraggio, al fine di analizzare l'andamento del solido sospeso e della clorofilla *a* nell'intera area. Di seguito si riportano alcuni esempi di mappe della distribuzione delle due variabili ottenute dall'elaborazione dei dati satellitari.







Per capire l'andamento generale e il contributo degli apporti costieri, è stata effettuata una analisi tramite EOF sui dati satellitari di clorofilla e solido sospeso. I pattern di distribuzione della clorofilla mostrano i valori più elevati nella zona costiera, per altro quello con la probabilità maggiore mostra i valori più elevati nell'area a Nord di Civitavecchia. I pattern del solido sospeso invece mostrano i valori più elevati molto vicino a costa suggerendo che gli apporti principali provengono dai corsi d'acqua presenti nell'area di studio.

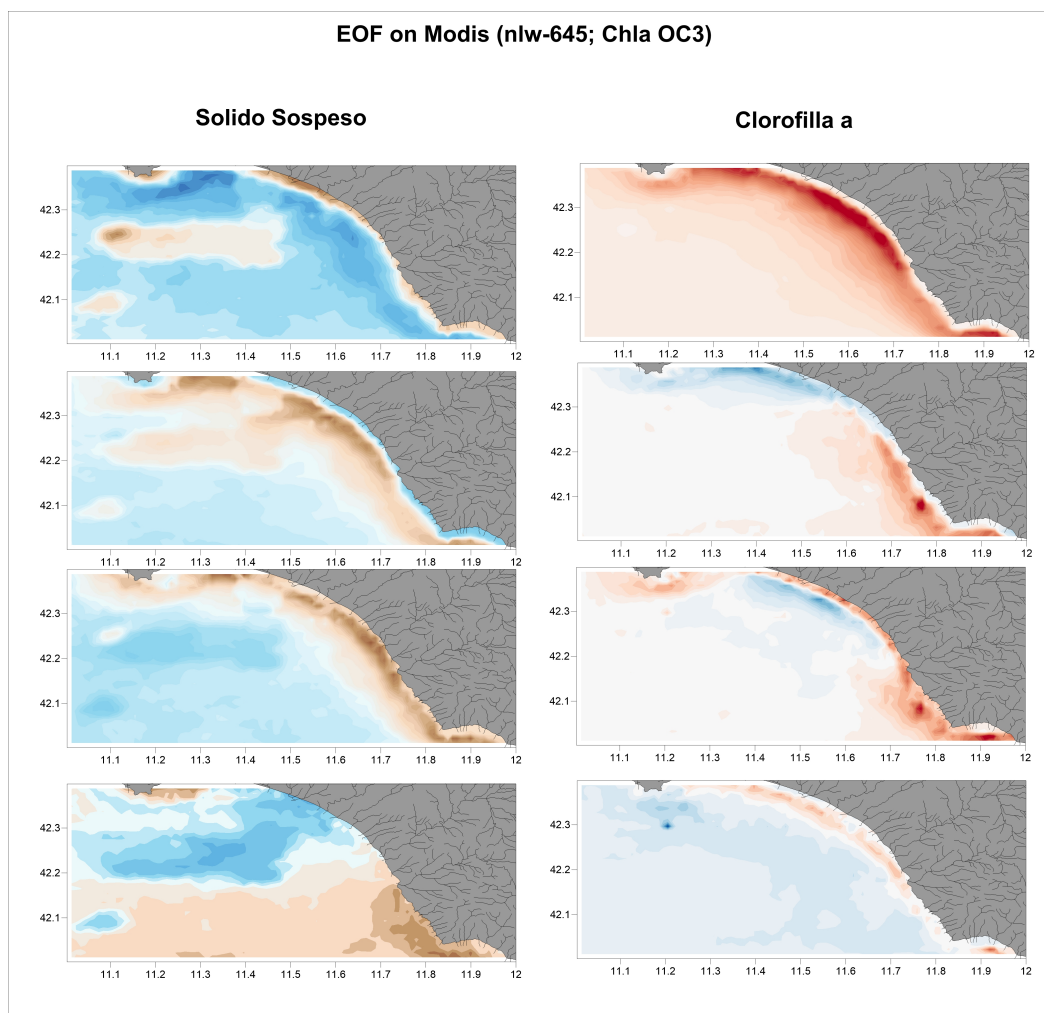


Fig. 5: EOF effettuate sui dati di Solido Sospeso e Clorofilla a relativo al triennio 2015-2017

SS 0.55 (55%), 0.70 (15%), 0.82 (12%), 0.87 (5%), restante 13% eventi poco significativi

CHLA 0.51 (51%), 0.71 (20%), 0.78 (7%), 0.85 (7%), restante 15% eventi poco significativi

4. CARATTERIZZAZIONE DELLE ACQUE

Le attività relative alla caratterizzazione delle acque sono state suddivise in tre fasi: ‘Ante Operam’, ‘Dragaggio’ e ‘Post Operam’:

- durante la fase Ante Operam sono state effettuate n.6 campagne in situ, effettuate tra il 15 settembre e il 25 ottobre 2012, per la raccolta, in totale, di n.18 campioni di acqua di mare;
- durante la fase di dragaggio sono state effettuate n.18 campagne in situ, effettuate tra il 1 novembre 2012 e il 31 marzo 2013, per la raccolta, in totale, di n.54 campioni di acqua di mare;
- durante la fase di Post Operam sono state effettuate n.24 campagne in situ, effettuate tra il 1 giugno 2013 e il 31 maggio 2017, per la raccolta, in totale, di n.72 campioni di acqua di mare;



Fig.6 Piano di campionamento

I campioni di acqua prelevati sono stati sottoposti all'analisi dei seguenti parametri: coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, salmonella, spore di clostridi solfito riduttori, enterovirus, idrocarburi totali, IPA, PCB, pesticidi organoclorurati, azoto totale; fosforo totale, alluminio, mercurio, cadmio, antimonio, arsenico, berillio, cromo, nichel, piombo, rame, selenio, vanadio, zinco, cianuri, composti organostannici.

Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva delle campagne effettuate.

Tabella Campagne di Campionamento Acqua

Fase Ante Operam

Campagna	Data	Nome Stazione	Latitudine	Longitudine	Profondità della Stazione (m)
BA_1	18/09/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
BA_2	02/10/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
BA_3	04/10/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
BA_4	11/10/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
BA_5	17/10/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
BA_6	22/10/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60

Fase Dragaggio

Campagna	Data	Nome Stazione	Latitudine	Longitudine	Profondità della Stazione (m)
FDA_1	19/11/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_2	26/11/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_3	11/12/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_4	13/12/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_5	20/12/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_6	27/12/2012	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_7	08/01/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_8	17/01/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_9	24/01/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15

		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_10	30/01/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_11	13/02/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA12	18/02/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_13	27/02/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_14	28/02/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_15	04/03/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_16	07/03/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_17	14/03/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FDA_18	22/03/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60

Fase Post Operam

Campagna	Data	Nome Stazione	Latitudine	Longitudine	Profondità della Stazione (m)
FPOA_1	18/06/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_2	19/08/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_3	15/10/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_4	18/12/2013	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_5	12/03/2014	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_6	22/05/2014	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_7	23/07/2014	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_8	29/09/2014	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_9	20/11/2014	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_10	18/12/2014	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15

		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_11	08/01/2015	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_12	19/03/2015	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_13	26/05/2015	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_14	08/09/2015	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_15	12/11/2015	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_16	24/02/2016	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_17	29/04/2016	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_18	22/06/2016	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_19	31/08/2016	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_20	27/10/2016	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_21	15/12/2016	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6

		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_22	23/02/2017	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60
FPOA_23	04/05/2017	STPT01	42°07.191'	11°45.809'	6
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'	15
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'	60

In ciascuna campagna i campionamenti dell'acqua sono stati effettuati sulla quota superficiale per quanto attiene i seguenti parametri: coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, salmonella, spore di clostridi solfito riduttori, enterovirus, idrocarburi totali, IPA, PCB, pesticidi organoclorurati, azoto totale; fosforo totale, cianuri, composti organostannici. Per quanto attiene i metalli pesanti (alluminio, mercurio, cadmio, antimonio, arsenico, berillio, cromo, nichel, piombo, rame, selenio, vanadio, zinco) il campionamento è stato effettuato per mezzo di una bottiglia Niskin con la quale è stato possibile prelevare l'acqua a differenti quote per ottenere un campione integrato lungo la colonna d'acqua, come di seguito presentato:

- Quota di prelievo STPT01: superficiale
- Quota di prelievo STPT02: integrata superficie + 7m
- Quota di prelievo STPT03: integrata superficie + 20m + 40m



Fig. 7 Prelievo campioni superficiali

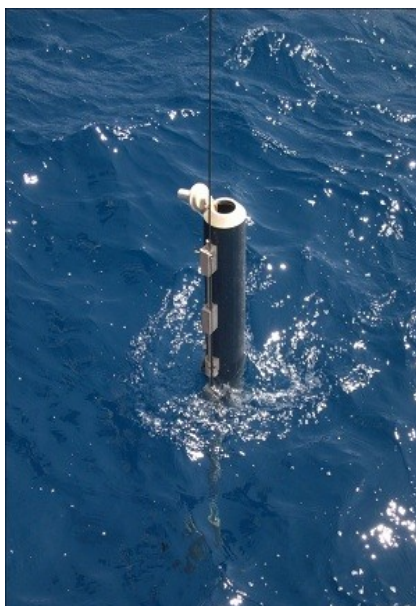


Fig. 8 Prelievo campioni con bottiglia Niskin

Durante ogni campagna, in corrispondenza di ciascuna stazione, sono stati effettuati dei profili verticali dei principali parametri della colonna d'acqua (pressione, temperatura, conducibilità,

salinità, pH, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla a) con una sonda multiparametrica.



Fig. 9 Profili verticali con Sonda multiparametrica

I campioni prelevati sono stati mantenuti all'interno di specifici contenitori alla temperatura di 4°C e trasportati presso il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina per le successive analisi.

Le analisi effettuate nel corso delle diverse campagne non hanno evidenziato valori anomali, per quanto attiene i parametri di riferimento per le acque di scarico superficiali, valori al di sopra dei limiti previsti dalla normativa nazionale (D. Lgs 152/06 Parte Terza, Allegato 5 Tab. 3).

5. ELEMENTI DI QUALITÀ' DELLO STATO ECOLOGICO

5.1 Quadro Normativo di riferimento

La Direttiva 2008/56/CE (Marine Strategy Framework Directive, MSFD), recepita in Italia con il D.Lgs. 190/10, istituisce un quadro all'interno del quale gli Stati membri adottano le misure necessarie per conseguire o mantenere un buono stato ecologico dell'ambiente marino entro il 2020. Il perseguimento o mantenimento di tale obiettivo deve avvenire attraverso l'elaborazione e l'attuazione di strategie finalizzate a proteggere e preservare l'ambiente marino, a prevenirne il degrado oltre che ad impedire e ridurre gli apporti inquinanti nell'ambiente marino stesso. La prospettiva comunitaria cerca di uniformare e standardizzare i diversi metodi di indagine per raggiungere l'obiettivo comune di risanamento e conservazione delle coste e dei mari europei, garantendo allo stesso tempo lo svolgersi di tutte le attività umane connesse. Le strategie adottate devono applicare un approccio ecosistemico alla gestione delle aree marino costiere, assicurando che la pressione collettiva delle molteplici attività antropiche sia mantenuta entro livelli compatibili con il conseguimento di un buono Stato Ecologico e che la capacità degli ecosistemi marini di reagire ai cambiamenti indotti dall'uomo non sia compromessa.

La MSFD indica il monitoraggio ambientale come il principale strumento tecnico-scientifico ed amministrativo per attuare e perfezionare nel tempo le misure di salvaguardia e tutela delle acque marino costiere in Europa. In Italia, il D.Lgs. 152/06 (recepimento della Direttiva 2000/60/CE) ha posto le basi normative per definire la disciplina generale per la tutela delle acque superficiali, marine e sotterranee, individuando i seguenti obiettivi:

- prevenzione e riduzione dell'inquinamento ai fini del risanamento di corpi idrici;
- miglioramento dello stato di qualità delle acque, con adeguate misure di tutela per quelle a destinazione ed usi predefiniti;
- mantenimento della capacità di auto-depurazione dei corpi idrici e conservazione della biodiversità delle comunità animali e vegetali presenti.

Il D.Lgs. 152/06 ed i successivi Decreti attuativi 131/08 e 56/09 nonché il DM 260/10 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare forniscono una specifica definizione delle modalità per la caratterizzazione dei corpi idrici, il monitoraggio e l'identificazione delle condizioni di riferimento ed infine per la classificazione del loro stato di

qualità ambientale, costituendo il riferimento normativo vigente per i piani di monitoraggio ambientale nazionali.

Le attività di ricerca e monitoraggio svolte durante il quinquennio 2012-2017 hanno permesso di acquisire un set di dati utili per la valutazione dello Stato Ecologico e Chimico delle acque marino costiere antistanti il porto di Civitavecchia ai sensi del DM 260/10 in corrispondenza delle stazioni di misura. La frequenza di campionamento e delle misure effettuate in corrispondenza del transetto “Tre Punti” e della stazione “Boa” (rispettivamente bimestrale e di circa sette volte al mese) risultano in linea con i requisiti minimi di un ciclo di monitoraggio operativo, che ha una durata di 3 anni e prevede il monitoraggio degli elementi qualitativi (elementi di qualità biologica e sostanze inquinanti prioritarie e non prioritarie) ritenuti più sensibili alle pressioni presenti sul corpo idrico indagato ai fini della classificazione dello Stato Ecologico e dello Stato Chimico.

Il presente documento costituisce un'integrazione alla relazione sopracitata relativamente all'uso dei dati raccolti dal sistema integrato di monitoraggio per la valutazione dell'Elemento di Qualità Biologica (EQB) Fitoplancton, degli elementi chimico-fisici a sostegno degli EQB, le sostanze dell'elenco di priorità (Tab. 1/A DM 260/10) ed alcune delle sostanze non appartenenti all'elenco di priorità (Tab. 1/B DM 260/10).



Fig.10 Stazioni di campionamento del Transetto “Tre Punti”

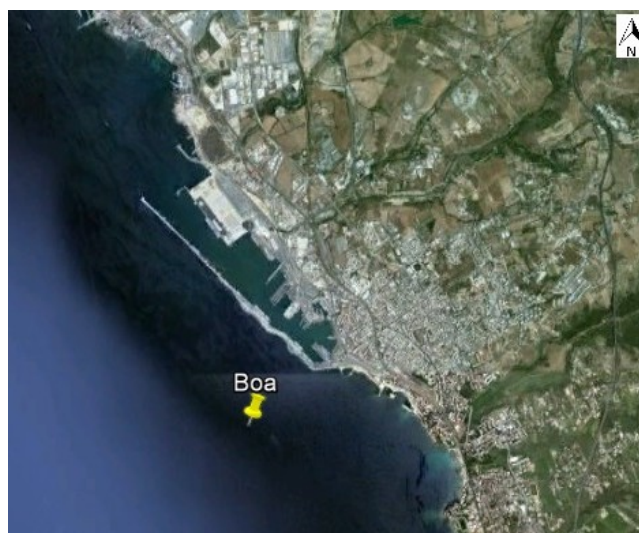


Fig.11 Stazione di monitoraggio “Punto Boa”

5.2 Fitoplancton

L'analisi quantitativa della biomassa fitoplanctonica si basa sulla determinazione dei pigmenti fotosintetici presenti in concentrazione ($\mu\text{g/L}$) nel campione di acqua marina. Il fitoplancton è valutato attraverso il parametro Clorofilla "a" misurato in superficie, scelto come indicatore di biomassa.

Le analisi quantitative dei popolamenti fitoplanctonici nelle acque marine permettono di valutare la produttività primaria del sistema, fornendo un elemento importante nella valutazione dello stato qualitativo dell'ecosistema, perché l'abbondanza del fitoplancton influisce su altrettanti parametri fisico-chimici delle acque come le concentrazioni di ossigeno disciolto, la variazione della trasparenza ed il pH, determinando il livello di eutrofizzazione delle acque.

Al fine di poter classificare l'area di studio per l'EQB Fitoplancton è stato necessario definire la tipo-specificità dell'area di studio sulla base dei 3 Macrotipi indicati nella Tab. 4.3/a del DM260/2010. La definizione del Macrotipo marino-costiero è stata effettuata su base idrologica secondo la procedura indicata nell'allegato 1 del D.lgs 131/08, per il calcolo della stabilità verticale della colonna d'acqua in corrispondenza delle stazioni ST02PT ed ST03PT. Il valore medio nel triennio 2013-2016 di stabilità verticale è risultato in entrambe le stazioni inferiore a limite di 0.15 posto dalla normativa, attribuendo all'area una condizione di bassa stabilità caratteristica del Macrotipo 3, definito come sito costiero non influenzato da apporti d'acqua dolce continentale.

Tab 1. Calcolo della stabilità verticale in corrispondenza della stazione ST02PT

Date	Depth picno	avg ro S	avg ro F	dro	avg ro	dens anomaly	alfa	Delta depth	Stabilità N
08/01/2013	24	28.52	28.61	0.09	1028.54	28.54	0.03504028	14.95	0.05
04/03/2013	8	27.98	28.63	0.65	1028.45	28.45	0.03514504	14.95	0.12
18/06/2013	4	26.92	28.06	1.14	1027.95	27.95	0.03577671	14.95	0.16
19/08/2013	7	25.59	27	1.41	1026.67	26.67	0.03749923	14.95	0.19
15/10/2013	15	26.61	26.68	0.07	1026.65	26.65	0.03753033	14.95	0.04
18/12/2013	15	27.99	28.06	0.07	1028.03	28.03	0.03568197	14.95	0.04
12/03/2014	15	28.23	28.32	0.09	1028.28	28.28	0.03536618	14.95	0.05
22/05/2014	7	27.63	28.37	0.74	1028.22	28.22	0.03544065	14.95	0.13
23/07/2014	15	25.25	26.72	1.47	1025.96	25.96	0.03851341	14.95	0.19
29/09/2014	15	25.94	26.08	0.14	1026.01	26.01	0.03844947	14.95	0.06
20/11/2014	29	27.09	27.51	0.42	1027.10	27.10	0.03690699	14.95	0.10
18/12/2014	15	27.64	27.83	0.19	1027.73	27.73	0.03606469	14.95	0.07
08/01/2015	15	28.11	28.24	0.13	1028.18	28.18	0.03548915	14.95	0.06
19/03/2015	8	28.01	28.27	0.26	1028.20	28.20	0.03546484	14.95	0.08
26/05/2015	12	27.24	28.1	0.86	1027.80	27.80	0.03597422	14.95	0.14
08/09/2015	15	26.05	27.21	1.16	1026.61	26.61	0.03757597	14.95	0.17
12/11/2015	24	27.11	27.26	0.15	1027.14	27.14	0.03684946	14.95	0.06
17/12/2015	15	28.07	28.14	0.07	1028.11	28.11	0.03557831	14.95	0.04
24/02/2016	8	28.4	28.52	0.12	1028.49	28.49	0.0351014	14.95	0.05
04/05/2016	24	28.05	28.27	0.22	1028.09	28.09	0.03560028	14.95	0.07
22/06/2016	7	27.11	27.97	0.86	1027.77	27.77	0.0360091	14.95	0.14
31/08/2016	20	26.29	27.49	1.20	1026.66	26.66	0.03750667	14.95	0.17
27/10/2016	10	26.67	27.03	0.36	1026.90	26.90	0.03717393	14.95	0.09
15/12/2016	15	27.94	28.03	0.09	1027.98	27.98	0.03573696	14.95	0.05
Median									0.07
Average									0.10

Tab 2. Calcolo della stabilità verticale in corrispondenza della stazione ST03PT

Date	Depth picno	avg ro S	avg ro F	dro	avg ro	dens anomaly	alfa	Delta depth	Stabilità N
08/01/2013	24	28.52	28.61	0.09	1028.54	28.54	0.03504028	14.95	0.05
04/03/2013	8	27.98	28.63	0.65	1028.45	28.45	0.03514504	14.95	0.12
18/06/2013	4	26.92	28.06	1.14	1027.95	27.95	0.03577671	14.95	0.16
19/08/2013	7	25.59	27	1.41	1026.67	26.67	0.03749923	14.95	0.19
15/10/2013	15	26.61	26.68	0.07	1026.65	26.65	0.03753033	14.95	0.04
18/12/2013	15	27.99	28.06	0.07	1028.03	28.03	0.03568197	14.95	0.04
12/03/2014	15	28.23	28.32	0.09	1028.28	28.28	0.03536618	14.95	0.05
22/05/2014	7	27.63	28.37	0.74	1028.22	28.22	0.03544065	14.95	0.13
23/07/2014	15	25.25	26.72	1.47	1025.96	25.96	0.03851341	14.95	0.19
29/09/2014	15	25.94	26.08	0.14	1026.01	26.01	0.03844947	14.95	0.06
20/11/2014	29	27.09	27.51	0.42	1027.10	27.10	0.03690699	14.95	0.10
18/12/2014	15	27.64	27.83	0.19	1027.73	27.73	0.03606469	14.95	0.07
08/01/2015	15	28.11	28.24	0.13	1028.18	28.18	0.03548915	14.95	0.06
19/03/2015	8	28.01	28.27	0.26	1028.20	28.20	0.03546484	14.95	0.08
26/05/2015	12	27.24	28.1	0.86	1027.80	27.80	0.03597422	14.95	0.14
08/09/2015	15	26.05	27.21	1.16	1026.61	26.61	0.03757597	14.95	0.17
12/11/2015	24	27.11	27.26	0.15	1027.14	27.14	0.03684946	14.95	0.06
17/12/2015	15	28.07	28.14	0.07	1028.11	28.11	0.03557831	14.95	0.04
24/02/2016	8	28.4	28.52	0.12	1028.49	28.49	0.0351014	14.95	0.05
04/05/2016	24	28.05	28.27	0.22	1028.09	28.09	0.03560028	14.95	0.07
22/06/2016	7	27.11	27.97	0.86	1027.77	27.77	0.0360091	14.95	0.14
31/08/2016	20	26.29	27.49	1.20	1026.66	26.66	0.03750667	14.95	0.17
27/10/2016	10	26.67	27.03	0.36	1026.90	26.90	0.03717393	14.95	0.09
15/12/2016	15	27.94	28.03	0.09	1027.98	27.98	0.03573696	14.95	0.05
Median									0.07
Average									0.10

In tabella 3 si riportano i valori medi annui del parametro di clorofilla a, ottenuti dai campionamenti di acqua di mare e successive analisi in laboratorio effettuati ogni anno con cadenza bimestrale nelle 3 stazioni di misura. Per ogni stazione è stato calcolato il 90°percentile, applicato dopo aver normalizzato i singoli dati tramite Log-trasformazione. Lo stato di qualità attribuito a ciascuna stazione si è basato sul calcolo della media dei valori ottenuti per ciascun anno. In particolare, il valore ottenuto è stato confrontato con i limiti indicati dal DM 260/10 (Tab.4.3.1/a) per quanto attiene al Macrotipo 3 sia in termini di concentrazione di clorofilla a, che in termini di Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) rispetto alla condizione di riferimento tipo-specifica.

L'analisi dei dati evidenzia che in tutte e 3 le stazioni lo stato di qualità ottenuto appartiene alla classe ELEVATO/BUONO.

Tab 3. Classificazione dello stato ecologico secondo l'EQB Fitoplancton

ANNO	Chla ST01PT (mg/m ³)	Chla ST02PT (mg/m ³)	Chla ST03PT (mg/m ³)	RQE ST01PT	RQE ST02PT	RQE ST03PT	STATO
2013	0.25	0.60	0.29	3.61	1.49	3.08	
2014	0.55	1.04	0.79	1.64	0.87	1.14	
2015	0.83	2.08	0.63	1.08	0.43	1.43	
2016	0.65	0.59	0.9	1.38	1.52	0.99	
Media	0.57	1.08	0.65	1.58	0.84	1.38	ELEVATO/ BUONO

6. ELEMENTI DI QUALITÀ DELLO STATO CHIMICO

La valutazione dello stato chimico è stata effettuata in base a quanto previsto dal par. A.4.6.3. del D.M. 260/10 che attribuisce uno stato chimico buono quando il corpo idrico soddisfa, per le sostanze dell'elenco di priorità e per le sostanze non prioritarie, tutti gli Standard di Qualità Ambientale (SQA) di cui alle tabelle 1/A ed 1/B. Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati medi annui delle analisi relative agli elementi monitorati nel corso delle attività di ricerca ed utili ai fini della valutazione dello stato chimico delle acque costiere nelle 3 stazioni di campionamento. I valori ottenuti sono stati confrontati con i limiti di riferimento per i valori medi annui, denominati standard di qualità ambientale medio annui (SQA-MA), e per i valori di concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA). I risultati ottenuti dalle indagini svolte sugli inquinanti nella colonna d'acqua delineano uno stato chimico BUONO delle acque marino costiere monitorate, con valori di concentrazione delle sostanze in esame al di sotto delle soglie standard medie annue e massime ammissibili.

Tab. 4 Standard di Qualità Ambientale medio nell'anno 2013

Numero CAS	ANNO 2013					Unità di misura
	PARAMETRO	SQA-MA rif.	ST01PT	ST02PT	ST03PT	
7440-38-2	Arsenico	5	<0.01	<0.01	<0.01	mg/l
7440-43-9	Cadmio	0.2	<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
74440-47-3	Cromo totale	4	<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-97-6	Mercurio	0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005	mg/l
7440-02-0	Nichel	20	<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-92-1	Piombo	7.2	<0.01	<0.01	<0.01	mg/l
91-20-3	Naftalene	1.2	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0120-12-07	Antracene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
206-44-0	Fluorantene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	I.P.A.		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
205-99-2	Benzo(b)fluorantene	$\Sigma=0.03$	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0207-08-09	Benzo(k)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
50-32-8	Benzo[a]pyrene	0.05	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	$\Sigma=0.002$	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
191-24-2	Benzo[ghi]perylene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	Pesticidi clorurati	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	DDT	0.025	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
60-57-1	Dieldrin	$\Sigma=0.005$	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
309-00-2	Aldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l

Tab. 5 Standard di Qualità Ambientale - concentrazione massima ammissibile nell'anno 2013

Numero CAS	ANNO 2013					
	PARAMETRO	SQA-CMA rif.	ST01PT	ST02PT	ST03PT	Unità di misura
7440-38-2	Arsenico		<0.01	<0.01	<0.01	mg/l
7440-43-9	Cadmio		<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
74440-47-3	Cromo totale		<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-97-6	Mercurio	0.06	<0.0005	<0.0005	<0.0005	mg/l
7440-02-0	Nichel		<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-92-1	Piombo		<0.01	<0.01	<0.01	mg/l
91-20-3	Naftalene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0120-12-07	Antracene	0.4	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
206-44-0	Fluorantene	1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	I.P.A.		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
205-99-2	Benzo(b)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0207-08-09	Benzo(k)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
50-32-8	Benzo[a]pyrene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pyrene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
191-24-2	Benzo[ghi]perylene		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	Pesticidi clorurati		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	DDT		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
60-57-1	Dieldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
309-00-2	Aldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l

Tab. 6 Standard di Qualità Ambientale medio nell'anno 2014

Numero CAS	ANNO 2014					Unità di misura
	PARAMETRO	SQA-MA rif.	ST01PT	ST02PT	ST03PT	
7440-38-2	Arsenico	5	<0.01	<0.01	<0.01	mg/l
7440-43-9	Cadmio	0.2	<0.001	<0.01	<0.001	mg/l
74440-47-3	Cromo totale	4	<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-97-6	Mercurio	0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005	mg/l
7440-02-0	Nichel	20	<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-92-1	Piombo	7.2	<0.01	<0.01	<0.01	mg/l
91-20-3	Naftalene	1.2	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0120-12-07	Antracene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
206-44-0	Fluorantene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	I.P.A.		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
205-99-2	Benzo(b)fluorantene	$\Sigma=0.03$	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0207-08-09	Benzo(k)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
50-32-8	Benzo[a]pyrene	0.05	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pivene	$\Sigma=0.002$	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
191-24-2	Benzo[ghi]perylene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	Pesticidi clorurati	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	DDT	0.025	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
60-57-1	Dieldrin	$\Sigma=0.005$	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
309-00-2	Aldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l

Tab.7 Standard di Qualità Ambientale- concentrazione massima ammissibile nell'anno 2014

Numero CAS	ANNO 2014					Unità di misura
	PARAMETRO	SQA-CMA rif.	ST01PT	ST02PT	ST03PT	
7440-38-2	Arsenico		<0.01	<0.01	<0.01	mg/l
7440-43-9	Cadmio		<0.001	<0.01	<0.001	mg/l
74440-47-3	Cromo totale		<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-97-6	Mercurio	0.06	<0.0005	<0.0005	<0.0005	mg/l
7440-02-0	Nichel		<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-92-1	Piombo		<0.01	<0.01	<0.01	mg/l
91-20-3	Naftalene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0120-12-07	Antracene	0.4	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
206-44-0	Fluorantene	1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	I.P.A.		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
205-99-2	Benzo(b)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0207-08-09	Benzo(k)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
50-32-8	Benzo[a]pyrene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pyrene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
191-24-2	Benzo[ghi]perylene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	Pesticidi clorurati		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	DDT		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
60-57-1	Dieldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
309-00-2	Aldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l

Tab 8. Standard di Qualità Ambientale medio nell'anno 2015

Numero CAS	ANNO 2015					Unità di misura
	PARAMETRO	SQA-MA rif.	ST01PT	ST02PT	ST03PT	
7440-38-2	Arsenico	5	<0.01	<0.001	<0.001	mg/l
7440-43-9	Cadmio	0.2	0.00067	<0.0006	<0.0005	mg/l
74440-47-3	Cromo totale	4	0.0017	<0.0016	<0.001	mg/l
7439-97-6	Mercurio	0.01	0.0055	<0.001	<0.001	mg/l
7440-02-0	Nichel	20	0.0017	<0.002	<0.001	mg/l
7439-92-1	Piombo	7.2	<0.001	<0.0025	<0.001	mg/l
91-20-3	Naftalene	1.2	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0120-12-07	Antracene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
206-44-0	Fluorantene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	I.P.A.		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
205-99-2	Benzo(b)fluorantene	$\Sigma=0.03$	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0207-08-09	Benzo(k)fluoranthene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
50-32-8	Benzo[a]pyrene	0.05	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	$\Sigma=0.002$	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
191-24-2	Benzo[ghi]perylene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	Pesticidi clorurati	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	DDT	0.025	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
60-57-1	Dieldrin	$\Sigma=0.005$	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
309-00-2	Aldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l

Tab. 9 Standard di Qualità Ambientale- concentrazione massima ammissibile nell'anno 2015

Numero CAS	ANNO 2015					
	PARAMETRO	SQA-CMA rif.	ST01PT	ST02PT	ST03PT	Unità di misura
7440-38-2	Arsenico		<0.01	<0.001	<0.01	mg/l
7440-43-9	Cadmio		<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
74440-47-3	Cromo totale		<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-97-6	Mercurio	0.06	<0.005	<0.001	<0.001	mg/l
7440-02-0	Nichel		<0.005	<0.005	<0.005	mg/l
7439-92-1	Piombo		<0.001	<0.01	<0.01	mg/l
91-20-3	Naftalene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0120-12-07	Antracene	0.4	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
206-44-0	Fluorantene	1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	I.P.A.		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
205-99-2	Benzo(b)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0207-08-09	Benzo(k)fluoranthene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
50-32-8	Benzo[a]pyrene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pyrene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
191-24-2	Benzo[ghi]perylene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	Pesticidi clorurati		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	DDT		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
60-57-1	Dieldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
309-00-2	Aldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l

Tab. 10 Standard di Qualità Ambientale - medio annuo

Numero CAS	ANNO 2016					
	PARAMETRO	SQA-MA rif.	ST01PT	ST02PT	ST03PT	Unità di misura
7440-38-2	Arsenico	5	<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
7440-43-9	Cadmio	0.2	<0.0005	<0.0005	<0.0005	mg/l
74440-47-3	Cromo totale	4	<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
7439-97-6	Mercurio	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
7440-02-0	Nichel	20	<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
7439-92-1	Piombo	7.2	<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
91-20-3	Naftalene	1.2	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0120-12-07	Antracene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
206-44-0	Fluorantene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	I.P.A.		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
205-99-2	Benzo(b)fluorantene	$\Sigma=0.03$	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0207-08-09	Benzo(k)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
50-32-8	Benzo[a]pyrene	0.05	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	$\Sigma=0.002$	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
191-24-2	Benzo[ghi]perylene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	Pesticidi clorurati	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	DDT	0.025	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
60-57-1	Dieldrin	$\Sigma=0.005$	<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
309-00-2	Aldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l

Tab. 11 Standard di Qualità Ambientale - concentrazione massima ammissibile

Numero CAS	ANNO 2016					Unità di misura
	PARAMETRO	SQA-CMA rif.	ST01PT	ST02PT	ST03PT	
7440-38-2	Arsenico		0.0029	0.0029	0.0032	mg/l
7440-43-9	Cadmio		<0.0005	<0.0005	<0.0005	mg/l
74440-47-3	Cromo totale		<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
7439-97-6	Mercurio	0.06	<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
7440-02-0	Nichel		0.0096	0.0036	0.0019	mg/l
7439-92-1	Piombo		<0.001	<0.001	<0.001	mg/l
91-20-3	Naftalene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0120-12-07	Antracene	0.4	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
206-44-0	Fluorantene	1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	I.P.A.		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
205-99-2	Benzo(b)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
0207-08-09	Benzo(k)fluorantene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
50-32-8	Benzo[a]pyrene	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
193-39-5	Indeno[1,2,3-cd]pyrene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
191-24-2	Benzo[ghi]perylene		<0.005	<0.005	<0.005	µg/l
	Pesticidi clorurati		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
	DDT		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
60-57-1	Dieldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l
309-00-2	Aldrin		<0.01	<0.01	<0.01	µg/l

Alla luce delle analisi effettuate in questo studio, i dati acquisiti nell'ambito delle attività di ricerca e monitoraggio svolte durante il quinquennio 2012-2017 indicano uno stato ecologico ELEVATO/BUONO per l'Elemento di Qualità Biologica Fitoplancton ed uno stato chimico BUONO delle acque marino costiere antistanti il porto di Civitavecchia ai sensi del DM 260/10.

7. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI REFLUITI IN VASCA DI COLMATA

Durante la Fase di Dragaggio sono stati campionati e analizzati n.40 campioni di sedimento, su cui sono state condotte analisi chimiche, fisiche e microbiologiche, così come previsto dal DM 24 gennaio 1996, Allegato B1 “Materiali di Dragaggio Portuale” per quanto attiene alla caratterizzazione dei sedimenti provenienti da attività di dragaggio portuale, e sulla base delle linee guida individuate dal 'Manuale per la Movimentazione dei Sedimenti Marini' (APAT-ICRAM) nell'ambito della movimentazione e gestione dei sedimenti provenienti da attività di dragaggio portuale. Le attività sono state effettuate al fine di accertare in corso d'opera l'idoneità fisico-chimico-biologica dei sedimenti dragati e refluiti in vasca di colmata.



Fig.12 Draga al lavoro

Le attività relative alla caratterizzazione dei sedimenti da refluire in cassa di colmata è stata effettuata nel periodo compreso tra il 19.11.2012 ed il 31.01.2013, durante il quale sono state

effettuate 9 campagne di campionamento, durante le quali sono stati campionati un totale di n.40 campioni.

Tabella Campagne di Campionamento Sedimenti Refluiti in Colmata

Campagna	Data	Ora	Nome Campione
VC_1	19/11/2012	10:35	DPT01
		14:20	DPT02
VC_2	26/11/2012	08:20	DPT01
		11:20	DPT02
VC_3	11/12/2012	09:20	DPT01
		14:30	DPT02
VC_4	13/12/2012	10:20	DPT01
		14:20	DPT02
VC_5	08/01/2013	10:20	DPT01
		12:20	DPT02
		14:20	DPT03
VC_6	10/01/2013	12:00	DPT01
		14:00	DPT02
		15:00	DPT03
VC_7	17/01/2013	11:00	DPT01
		11:30	DPT02
		12:00	DPT03
		12:30	DPT04
		13:00	DPT05
		13:30	DPT06
		13:45	DPT07
		14:00	DPT08
		14:30	DPT09

		15:00	DPT10
VC_8	20/01/2013	09:00	DPT01
		09:30	DPT02
		10:00	DPT03
		10:30	DPT04
		11:00	DPT05
		11:30	DPT06
		12:00	DPT07
		12:30	DPT08
		13:00	DPT09
		13:30	DPT10
VC_9	22/01/2013	09:30	DPT01
		10:30	DPT02
		11:30	DPT03
		13:30	DPT04
		14:30	DPT05
		15:30	DPT06

I campioni di sedimento prelevati sono stati sottoposti all'analisi dei seguenti parametri:

- caratteristiche fisiche: granulometria (scala Wentworth); % umidità; peso specifico ;
- caratteristiche chimiche: contenuto in mercurio, cadmio, piombo, arsenico, cromo totale, rame, nichel, zinco, alluminio, idrocarburi totali, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), policlorobifenili (PCB), pesticidi organoclorurati, sostanza organica totale, azoto totale, fosforo totale ;
- Caratteristiche microbiologiche: coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, salmonelle, spore di clostridi solfito riduttori.



Fig.13 Punti di prelievo e prelievo dei campioni di sedimento

Dall'analisi dei risultati si vede che, per i parametri considerati nella Tabella 2.3A del 'Manuale per la movimentazione di sedimenti marini' dell'ISPRA, le concentrazioni risultano al di sotto dei valori del LCB (Livello Chimico di Base). Di conseguenza il confronto di queste specie chimiche con le soglie LCB e LCL non è significativo.

- IPA < 0.03 mg/kg (30 µg/kg)
- PCB < 0.001 mg/kg (1 µg/kg)
- Pesticidi organoclorurati < 0.0001 mg/kg (0,1 µg/kg)

8. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI MARINI

Per quanto attiene la caratterizzazione dei sedimenti marini, sono state effettuate n.3 campagne di campionamento in corrispondenza delle n.3 stazioni su cui è stata effettuata la caratterizzazione delle acque.

Le campagne di campionamento sono state così suddivise:

- durante la fase Ante Operam è stata effettuata n.1 campagna in situ per la raccolta, in totale, di n.3 campioni di sedimento;
- durante la fase di Dragaggio sono state effettuate n. 2 campagne in situ (una approssimativamente a metà delle operazioni di dragaggio, l'altra subito dopo la fine delle attività di dragaggio) per la raccolta, in totale, di n.6 campioni di sedimento.

Tabella Campagne di Campionamento Sedimenti

Fase Ante Operam

Campagna	Data	Stazione	Latitudine	Longitudine
BAS_1	11/10/12	STPT01	42°07.191'	11°45.809'
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'

Fase Dragaggio

Campagna	Data	Stazione	Latitudine	Longitudine
FDS_1	10/01/13	STPT01	42°07.191'	11°45.809'
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'
FDS_2	19/02/13	STPT01	42°07.191'	11°45.809'
		STPT02	42°06.831'	11°45.269'
		STPT03	42°06.549'	11°43.048'

I prelievi di sedimento sono stati eseguiti utilizzando un carotiere a gravità leggero (UWITEC) acqua-sedimento con supporto di massa battente in grado di campionare cores di sedimento indisturbato fino alla profondità di circa 1.20 metri. Tutti i campioni sono stati manipolati avendo cura di garantire la sterilità degli utensili adoperati, ed in maniera da ridurre al minimo la possibilità di contaminazione. I campioni prelevati sono stati mantenuti all'interno di specifici contenitori alla temperatura di 4°C e trasportati presso il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina per le successive analisi.

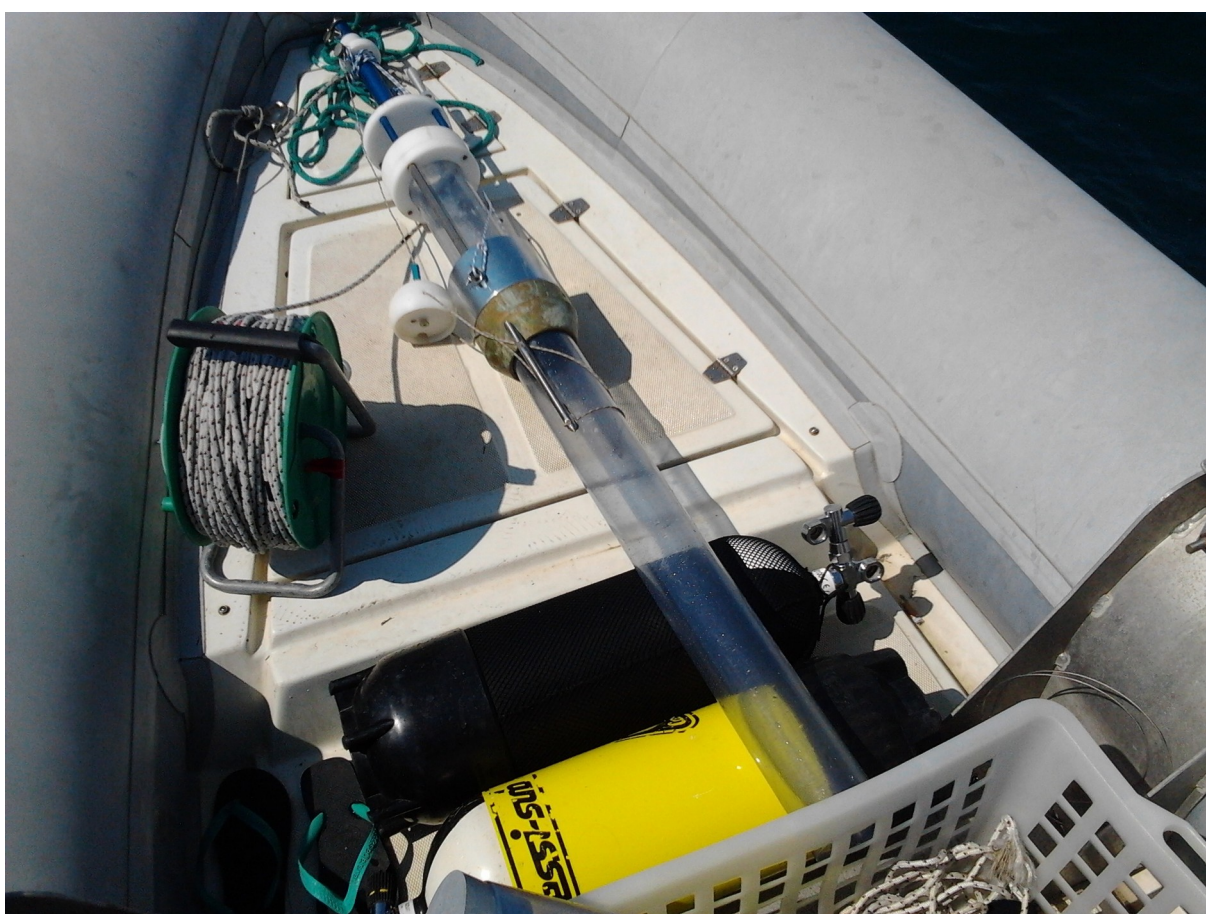


Fig. 14 Campionamento con carotiere

I risultati dell'analisi chimica dei sedimenti marini recuperati nelle tre campagne (Ante-operam, 11/10/2012; Post-operam, 10/01/2013 e 19/02/2013) sono stati confrontati con le soglie LCB (Livello chimico di base) ed LCL (Livello chimico limite) descritte nel manuale per la movimentazione dei sedimenti marini (APAT-ICRAM 2007).

In particolare, i composti confrontati con le soglie sopra citate sono: Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), Policlorobifenili (PCB) e metalli in traccia (Arsenico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco). Tuttavia, le concentrazioni misurate di IPA e PCB sono risultate in gran parte al di sotto del limite di quantificazione utilizzato nelle analisi. Di conseguenza il confronto di queste specie chimiche con le soglie LCB e LCL non è significativo.

Di seguito viene riportato in tabella il confronto completo delle abbondanze dei metalli in traccia rispetto alle soglie LCB (considerando l'abbondanza di pelite in ogni campione) ed LCL.

		Ante-operam (11/10/2012)				Post-operam (10/01/2013)				Post-operam (19/02/2013)			
		Concentrazione		LCB	LCL	Concentrazione		LCB	LCL	Concentrazione		LCB *	LCL
ST01SUP	Arsenico	12.8	mg/kg s.s.	25	32	15.5	mg/kg s.s.	25	32	14.4	mg/kg s.s.	17	32
	Cadmio	0.26	mg/kg s.s.	0.35	0.8	0.12	mg/kg s.s.	0.35	0.8	0.16	mg/kg s.s.	0.2	0.8
	Cromo totale	15.2	mg/kg s.s.	100	360	5.9	mg/kg s.s.	100	360	11.5	mg/kg s.s.	50	360
	Mercurio	0.15	mg/kg s.s.	0.4	0.8	<0.1	mg/kg s.s.	0.4	0.8	0.3	mg/kg s.s.	0.2	0.8
	Nichel	20.0	mg/kg s.s.	70	75	3.3	mg/kg s.s.	70	75	8.5	mg/kg s.s.	40	75
	Piombo	12.0	mg/kg s.s.	40	70	5.5	mg/kg s.s.	40	70	9.1	mg/kg s.s.	25	70
	Rame	11.5	mg/kg s.s.	40	52	3.0	mg/kg s.s.	40	52	7.5	mg/kg s.s.	15	52
	Zinco	63.6	mg/kg s.s.	100	170	13.8	mg/kg s.s.	100	170	12.7	mg/kg s.s.	50	170
ST01BOTT	Arsenico	7.8	mg/kg s.s.	25	32	13.0	mg/kg s.s.	25	32	12.2	mg/kg s.s.	17	32
	Cadmio	0.16	mg/kg s.s.	0.35	0.8	0.11	mg/kg s.s.	0.35	0.8	0.13	mg/kg s.s.	0.2	0.8
	Cromo totale	10.8	mg/kg s.s.	100	360	5.2	mg/kg s.s.	100	360	6	mg/kg s.s.	50	360
	Mercurio	<0.1	mg/kg s.s.	0.4	0.8	<0.1	mg/kg s.s.	0.4	0.8	<0.1	mg/kg s.s.	0.2	0.8
	Nichel	9.7	mg/kg s.s.	70	75	2.5	mg/kg s.s.	70	75	4.3	mg/kg s.s.	40	75
	Piombo	10.0	mg/kg s.s.	40	70	6.2	mg/kg s.s.	40	70	7.9	mg/kg s.s.	25	70
	Rame	5.9	mg/kg s.s.	40	52	2.5	mg/kg s.s.	40	52	2.4	mg/kg s.s.	15	52
	Zinco	47.6	mg/kg s.s.	100	170	14.1	mg/kg s.s.	100	170	19.8	mg/kg s.s.	50	170
		Concentrazione		LCB	LCL	Concentrazione		LCB	LCL	Concentrazione		LCB	LCL
ST02SUP	Arsenico	19.5	mg/kg s.s.	25	32	1.3	mg/kg s.s.	25	32	4.5	mg/kg s.s.	25	32
	Cadmio	0.95	mg/kg s.s.	0.35	0.8	1.0	mg/kg s.s.	0.35	0.8	1.2	mg/kg s.s.	0.35	0.8
	Cromo totale	38.6	mg/kg s.s.	100	360	74.1	mg/kg s.s.	100	360	72	mg/kg s.s.	100	360
	Mercurio	<0.1	mg/kg s.s.	0.4	0.8	1.1	mg/kg s.s.	0.4	0.8	1.1	mg/kg s.s.	0.4	0.8
	Nichel	33.7	mg/kg s.s.	70	75	69.3	mg/kg s.s.	70	75	63.1	mg/kg s.s.	70	75
	Piombo	38.4	mg/kg s.s.	40	70	50.1	mg/kg s.s.	40	70	55.7	mg/kg s.s.	40	70
	Rame	24.3	mg/kg s.s.	40	52	44.1	mg/kg s.s.	40	52	45.1	mg/kg s.s.	40	52
	Zinco	110	mg/kg s.s.	100	170	165	mg/kg s.s.	100	170	162	mg/kg s.s.	100	170
ST02BOTT	Arsenico	22.8	mg/kg s.s.	25	32	1.3	mg/kg s.s.	25	32	4.2	mg/kg s.s.	25	32
	Cadmio	1.0	mg/kg s.s.	0.35	0.8	<0.5	mg/kg s.s.	0.35	0.8	<0.5	mg/kg s.s.	0.35	0.8
	Cromo totale	44.2	mg/kg s.s.	100	360	44.1	mg/kg s.s.	100	360	57	mg/kg s.s.	100	360
	Mercurio	<0.1	mg/kg s.s.	0.4	0.8	1.3	mg/kg s.s.	0.4	0.8	1.2	mg/kg s.s.	0.4	0.8
	Nichel	40.0	mg/kg s.s.	70	75	30.0	mg/kg s.s.	70	75	42.7	mg/kg s.s.	70	75
	Piombo	50.8	mg/kg s.s.	40	70	46.5	mg/kg s.s.	40	70	43.1	mg/kg s.s.	40	70
	Rame	31.6	mg/kg s.s.	40	52	28.8	mg/kg s.s.	40	52	26.5	mg/kg s.s.	40	52
	Zinco	118	mg/kg s.s.	100	170	96.0	mg/kg s.s.	100	170	96.0	mg/kg s.s.	100	170
		Concentrazione		LCB	LCL	Concentrazione		LCB	LCL	Concentrazione		LCB	LCL
ST03SUP	Arsenico	22.8	mg/kg s.s.	25	32	14.1	mg/kg s.s.	25	32	14.9	mg/kg s.s.	25	32
	Cadmio	1.2	mg/kg s.s.	0.35	0.8	0.42	mg/kg s.s.	0.35	0.8	0.43	mg/kg s.s.	0.35	0.8
	Cromo totale	52.7	mg/kg s.s.	100	360	29.3	mg/kg s.s.	100	360	30	mg/kg s.s.	100	360
	Mercurio	0.13	mg/kg s.s.	0.4	0.8	0.22	mg/kg s.s.	0.4	0.8	0.24	mg/kg s.s.	0.4	0.8
	Nichel	47.0	mg/kg s.s.	70	75	25.4	mg/kg s.s.	70	75	26.3	mg/kg s.s.	70	75
	Piombo	50.3	mg/kg s.s.	40	70	28.7	mg/kg s.s.	40	70	28.7	mg/kg s.s.	40	70
	Rame	29.5	mg/kg s.s.	40	52	19.7	mg/kg s.s.	40	52	19.6	mg/kg s.s.	40	52
	Zinco	121	mg/kg s.s.	100	170	140	mg/kg s.s.	100	170	147	mg/kg s.s.	100	170
ST03BOTT	Arsenico	20.4	mg/kg s.s.	25	32	15.5	mg/kg s.s.	25	32	16.1	mg/kg s.s.	25	32
	Cadmio	0.94	mg/kg s.s.	0.35	0.8	0.45	mg/kg s.s.	0.35	0.8	0.5	mg/kg s.s.	0.35	0.8
	Cromo totale	43.0	mg/kg s.s.	100	360	54.3	mg/kg s.s.	100	360	51.3	mg/kg s.s.	100	360
	Mercurio	0.18	mg/kg s.s.	0.4	0.8	0.31	mg/kg s.s.	0.4	0.8	0.37	mg/kg s.s.	0.4	0.8
	Nichel	41.2	mg/kg s.s.	70	75	27.2	mg/kg s.s.	70	75	27.2	mg/kg s.s.	70	75
	Piombo	38.4	mg/kg s.s.	40	70	33.1	mg/kg s.s.	40	70	30.9	mg/kg s.s.	40	70
	Rame	28.1	mg/kg s.s.	40	52	22.8	mg/kg s.s.	40	52	21.3	mg/kg s.s.	40	52
	Zinco	99.3	mg/kg s.s.	100	170	130	mg/kg s.s.	100	170	133	mg/kg s.s.	100	170

*(Pelite > 10%)

Per quanto riguarda le abbondanze di metalli in traccia e ponendo l'attenzione sulla soglia limite superiore (LCL) sono evidenti i seguenti risultati:

- La stazione ST02 ha mostrato concentrazioni di Cadmio superiori a LCL (campione ST02-

SUP e ST02-BOTT) nella campagna ante-operam; concentrazioni di Cadmio (campione ST02-SUP) e Mercurio (campione ST02-SUP e ST02-SUP) superiori a LCL nella prima campagna post-operam; concentrazioni di Cadmio (campione ST02-SUP) e Mercurio (campione ST02-SUP e ST02-BOTT) superiori a LCL nella seconda campagna post-operam.

- La stazione ST03 ha mostrato concentrazioni di Cadmio superiori a LCL (campioni ST03-SUP e ST03-BOTT) nella campagna ante-operam.

E' possibile ricondurre le concentrazioni elevate di mercurio ($x > 0.8$ mg/kg) alla presenza di anomalie geochimiche derivanti dalle caratteristiche geologiche locali (Baldi e Bargagli, 1982; Scanu et al. 2012). Le concentrazioni di Cadmio, seppure superiori a LCL, mostrano un valore per lo più costante nella stazione ST02 (campione ST02-SUP) in tutte e tre le campagne e miglioramenti delle concentrazioni nella stazione ST03, dove il superamento della soglia LCL si verifica solamente nella situazione ante-operam.

9. MONITORAGGIO DELLA *POSIDONIA OCEANICA* (L.) *DELILE*

Le Fanerogame marine rivestono un ruolo di grande importanza negli ambienti marini costieri, ruolo ampiamente riconosciuto dalla comunità scientifica; in particolare, le praterie sommerse di *Posidonia oceanica*, pianta endemica del Mar Mediterraneo, costituiscono una delle realtà più studiate e più rappresentative del piano infralitorale del nostro mare (Duarte, 2002).

Il ruolo della *Posidonia oceanica* nel sistema costiero è spiegato dalle molteplici funzioni che essa svolge a livello ecologico. Le praterie producono ed esportano grandi quantità di biomassa, sono siti importantissimi di fissazione biologica del carbonio ed alimentano sia la catena del pascolo, sia la catena del detrito. Queste due catene formano reti trofiche molto complesse, che si intersecano e si sovrappongono in un insieme di relazioni intra e inter-specifiche in cui sono coinvolti organismi della prateria e delle biocenosi limitrofe, con le quali avviene un reciproco scambio di sostanza organica. L'ecosistema “posidonieto”, in generale, è un sistema complesso, altamente strutturato e con una biomassa fogliare pari in media ad 1 kg/m² in peso secco, un valore paragonabile a quello dei grandi complessi forestali della terraferma. La prateria è, infatti, spesso paragonata ad una foresta di querce, di cui sembra possedere anche le medesime caratteristiche, quali lento accrescimento, riproduzione sessuata rara, debole competitività a breve termine (T. Dolce, 2010).

L'associazione *Posidonietum oceanicae* F U N K BALLESTEROS (1992, 1995), BALLESTEROS & Ros (1989), è altamente strutturata e ospita un elevato numero di specie animali e vegetali. Foglie e rizomi creano un ambiente peculiare che dà rifugio ad una quantità di esseri viventi esigendo, nel contempo, una serie di adattamenti specifici. Un altro motivo che giustifica l'interesse scientifico verso questa fanerogama è l'influenza che essa esercita sulle dinamiche di sedimentazione: la prateria, agendo come barriera naturale, produce un'attenuazione dell'energia del moto ondoso e quindi favorisce la deposizione del particolato sospeso (incluso quello autoctono, prevalentemente organogeno), che viene successivamente compattato dall'intreccio dei rizomi, spesso con formazione di imponenti terrazzamenti (“mattes”); prevenendo in questo modo l'erosione costiera, la *Posidonia oceanica* diviene anche una specie di forte interesse economico per le nostre coste.

Sulla base di quanto accennato, si può comprendere come l'importanza delle praterie di *Posidonia oceanica* nel mantenimento degli equilibri degli ecosistemi costieri del Mediterraneo, sia ormai ampiamente riconosciuta, non solo dai ricercatori, ma anche dai responsabili della gestione delle risorse ambientali, che la pongono al centro di qualsiasi studio finalizzato alla protezione

dell'ambiente marino costiero.

Negli ultimi decenni, l'intenso uso della fascia costiera (costruzione di opere costiere, allargamento di porti, lavori di dragaggio), insieme ad altre attività (quali la pesca a strascico e gli ancoraggi), ha costituito una seria minaccia per l'ambiente marino. In particolare, il tratto di costa preso in considerazione in questo studio, compreso tra Marina di Tarquinia e Santa Severa (nord del Lazio), ospita uno dei porti turistici più grandi d'Europa (Civitavecchia) e un importante polo energetico (Centrale di Torrevaldaliga).

La notevole sensibilità della pianta alle perturbazioni naturali e/o artificiali, ha spinto le autorità nazionali, europee ed internazionali ad azioni volte alla sua protezione.

Possono considerarsi misure di salvaguardia dirette, tutte quelle volte alla protezione dell'habitat. Questa fanerogama marina è stata inclusa nel 1990 nella Lista Rossa delle specie marine del Mediterraneo a rischio di estinzione (Boudouresque et al., 1990). *P. oceanica* è citata nell'Annesso I (specie rigorosamente protette) della Convenzione di Berna e nell'Annesso II (specie minacciate) del Protocollo delle Aree Specialmente Protette della Convenzione di Barcellona; inoltre, nel "Piano d'Azione per la conservazione della vegetazione marina in Mediterraneo", adottato dai paesi mediterranei nell'ambito della Convenzione di Barcellona nel 1999, le nazioni aderenti si sono impegnate a condurre mappature delle praterie di *P. oceanica* presenti lungo le loro coste. Le praterie di *P. oceanica* sono state inserite, inoltre, tra gli habitat prioritari nell'Allegato I della Direttiva EC 92/43/EEC del 21 maggio 1992, relativa alla Conservazione degli Habitat Naturali e della Fauna e della Flora Selvatiche. La Direttiva definisce questi habitat prioritari come Siti di Interesse Comunitario (SIC), la cui conservazione richiede la designazione di Aree Speciali di Conservazione.

L'obiettivo di questa parte del presente progetto è stato quello di studiare le praterie di *Posidonia oceanica* in un'area particolarmente antropizzata e oggetto di numerose opere costiere.

A tal fine il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina ha strutturato un progetto di ricerca con lo scopo di valutare lo stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* lungo il tratto di costa compreso tra S. Severa e Tarquinia, così da poter analizzare i potenziali effetti delle diverse attività, con particolare attenzione alle attività di dragaggio effettuate.

Il progetto prevedeva il campionamento e lo studio delle praterie in due fasi principali: una al termine delle attività di dragaggio, una trascorsi quattro anni dal primo monitoraggio. Il campionamento è stato effettuato in 15 stazioni, comprese tra 7.5 e 16 m di profondità, lungo il

tratto di costa compreso tra Marina di Tarquinia e Santa Severa (Fig. 10).

E' stato inoltre effettuato lo studio annuale del limite inferiore attraverso 4 campagne di campionamento, come successivamente descritto.

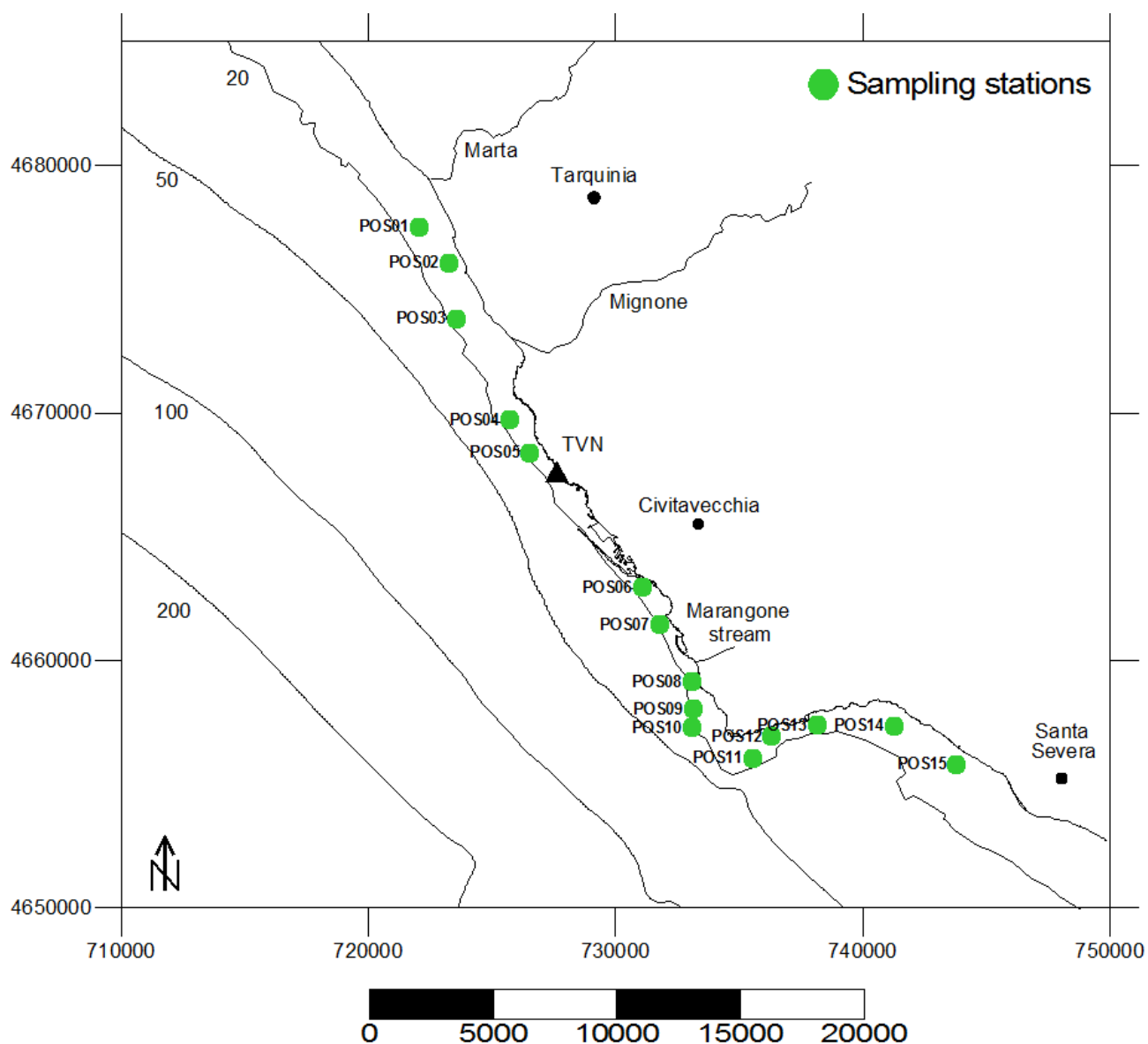


Fig. 15 Piano di campionamento per il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica* nell'intera area di studio.

9.1 Analisi delle praterie di *Posidonia oceanica*

La caratterizzazione delle praterie è stata effettuata nei seguenti periodi:

- maggio-giugno 2013
- luglio-agosto 2017

Lo studio è stato effettuato attraverso l'applicazione integrata di una serie di descrittori indicativi dello stato del posidonieto, seguendo i protocolli standardizzati riportati nelle “Metodologie analitiche di riferimento” del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (Cicero e Di Girolamo, 2001) e successive modifiche (Buia et al., 2003) e aggiornamenti presentati nelle schede metodologiche ICRAM-ISPRA.

Per lo studio dei parametri strutturali della prateria e per le analisi fenologiche dei campioni, come precedente riportato, ci si è basati sulle metodologie standard di riferimento. In particolare, nell'attività di monitoraggio delle praterie a *P. oceanica*, per ciascun sito sono state identificate tre aree (A1, A2, A3), ad una profondità intermedia, di circa 400 m2, distanziate circa 10m tra di loro. In ciascuna area sono state eseguite tre repliche di densità, attraverso la conta dei fasci fogliari su una superficie standard di 40x40 cm, per un totale di 9 misure e il prelievo di sei fasci ortotropi, per un totale di 18 fasci. Inoltre sono state eseguite stime relative a substrato, copertura di *P. oceanica* e matite morta (espressa in percentuale), eventuale presenza di altre fanerogame e di alghe invasive, presenza di evidente scalzamento dei rizomi. Sono state quindi effettuate misure di:

- densità: secondo la metodologia di Buia et al. (2003), il rilevamento dei dati è avvenuto mediante misure dirette di densità realizzate in cinque quadrati di 40 cm di lato posizionati casualmente in aree effettivamente occupate dalla prateria in ogni stazione. All'interno di ogni quadrato sono stati contati i fasci presenti. Inoltre, la porzione di substrato ricoperto dalla prateria all'intorno del punto-stazione è stata valutata indipendentemente da due operatori che hanno espresso le loro stime in sedicesimi. Dai dati raccolti sul campo è stato possibile calcolare la densità assoluta, ottenuta come valore medio dei dati rilevati nei singoli quadrati ed espressa in fasci/m2 (Giraud, 1977). I dati di densità sono stati quindi riferiti agli stadi proposti da Giraud (1977) e utilizzando la classificazione proposta da Buia et al. (2003) sulla base dei lavori di Pergent et al. (1995) e Pergent-Martini & Pergent (1996), la prateria è stata classificata tenendo conto della relazione tra valori di densità e

profondità come “molto disturbata”, “disturbata” o “in equilibrio”;



Fig. 16 Analisi e campionamento in situ della *Posidonia oceanica*

- ricoprimento: la copertura è espressa come percentuale (%) di substrato ricoperto dalle piante, rispetto a quello non ricoperto (sabbia, roccia, “matte” morta, etc.). Per ottenere il valore medio di ricoprimento percentuale, durante i rilievi subacquei due operatori valutano indipendentemente la porzione di substrato ricoperto dalla pianta utilizzando un quadrato di 1x1m suddiviso in 16 sub-quadrati e stima visivamente il numero di quadrati in cui la *Posidonia oceanica* è presente. La misura in sedicesimi viene poi convertita in percentuale, la media tra le due stime fornisce il valore di ricoprimento (Buia et al., 2003);
- analisi fenologica: attraverso le analisi dei campioni prelevati, inoltre, sono stati stimati i descrittori funzionali, le caratteristiche morfometriche delle foglie (analisi morfometrica), dai quali se ne derivano altri per calcolo, come la superficie fogliare, la biomassa fogliare, il Coefficiente A, ecc. Le indagini fenologiche hanno riguardato le strutture anatomiche visibili della pianta: ciascun fascio è stato scomposto nelle singole foglie, rispettando l'ordine distico d'inserzione e separandole nelle seguenti categorie: giovanili (lunghezza

minore di 5 cm, senza parte verde e senza ligula); intermedie (lunghezza maggiore di 5 cm, con parte verde e senza ligula); adulte (con ligula). Le misure rilevate per ciascuna foglia sono: larghezza, lunghezza totale, presenza della ligula, lunghezza del tessuto verde o del lembo, lunghezza del tessuto bruno e del tessuto bianco (ove presenti) e stato dell'apice. Sulla base di questi dati sono stati stimati i seguenti parametri morfometrici per le sole foglie adulte e intermedie: lunghezza e larghezza media delle foglie per fascio (cm); numero medio di foglie per fascio (foglie giovanili escluse); superficie fogliare media per fascio (cm²/fascio); coefficiente "A", espresso come percentuale di apici erosi sul totale delle foglie intermedie e adulte. Per ogni fascio, infine, è stata calcolata la biomassa secca totale (g), relativa a tutte le foglie rinvenute in ciascun fascio in esame, dopo essiccazione in stufa per 3 giorni a 70 °C.

I rilievi eseguiti in situ hanno permesso di valutare la struttura delle praterie indagate e il loro stato di salute attraverso la stima dei descrittori strutturali (densità assoluta e copertura del substrato) e funzionali (parametri morfometrici) confrontando i valori ottenuti dai rilievi del 2013 e del 2017. Dal sopralluogo visuale e dalle analisi effettuate si evidenzia il consueto mosaico, con ampie discontinuità, di macchie di *Posidonia oceanica* su roccia e su sabbia che raramente appare impostata su matte, i valori di copertura, spesso bassi, e di densità assoluta appaiono per tale motivo estremamente variabili. La complessità geomorfologica di microscala è il determinante primario di questa condizione.

La variabilità rilevata tra il 2013 e il 2017 per i descrittori indagati, sia strutturali che funzionali, è ascrivibile per lo più alla naturale variabilità presente su piccola scala spaziale nelle praterie di *P. oceanica*, che è stato dimostrato essere sempre piuttosto elevata (Balestri et al., 2003, Piazzini et al., 2004). In tale quadro, bisogna evidenziare comunque alcune situazioni di degrado del popolamento che sembrano principalmente legate alla torbidità dell'acqua, alla presenza di sedimenti fini e di fango, e alla diffusione di una componente mucillaginosa importante.

Da sottolineare, nelle aree più degradate in presenza di matte morte o di fondale lasciato libero dalla *Posidonia oceanica* è stata registrata la presenza di *Caulerpa racemosa*, la quale appare in ottimo stato vitale e conferma lo stato di sofferenza della prateria, più incline ad essere colonizzata da specie aliene invasive. Nelle aree il cui il popolamento a *Posidonia* mostra maggior vitalità l'invasione da parte di *Caulerpa* rimane confinata ai margini esterni della prateria.

9.2 Monitoraggio del limite inferiore di *Posidonia oceanica* (L.) Delile

Il limite inferiore di una prateria è il punto in cui essa termina in profondità, zona considerata insieme al limite superiore come più facilmente suscettibile ai cambiamenti ambientali; esso infatti presenta aspetti differenti in funzione dei due principali fattori che governano la distribuzione verticale della prateria: l'intensità della radiazione luminosa e la sedimentazione.

Il rilevamento periodico dei principali descrittori attraverso rilevamenti in immersione subacquea, campionamenti, analisi di laboratorio e successiva elaborazione dei dati raccolti, ha lo scopo di monitorare la dinamica del limite inferiore della prateria, in funzione delle variazioni delle condizioni ambientali nel tempo.

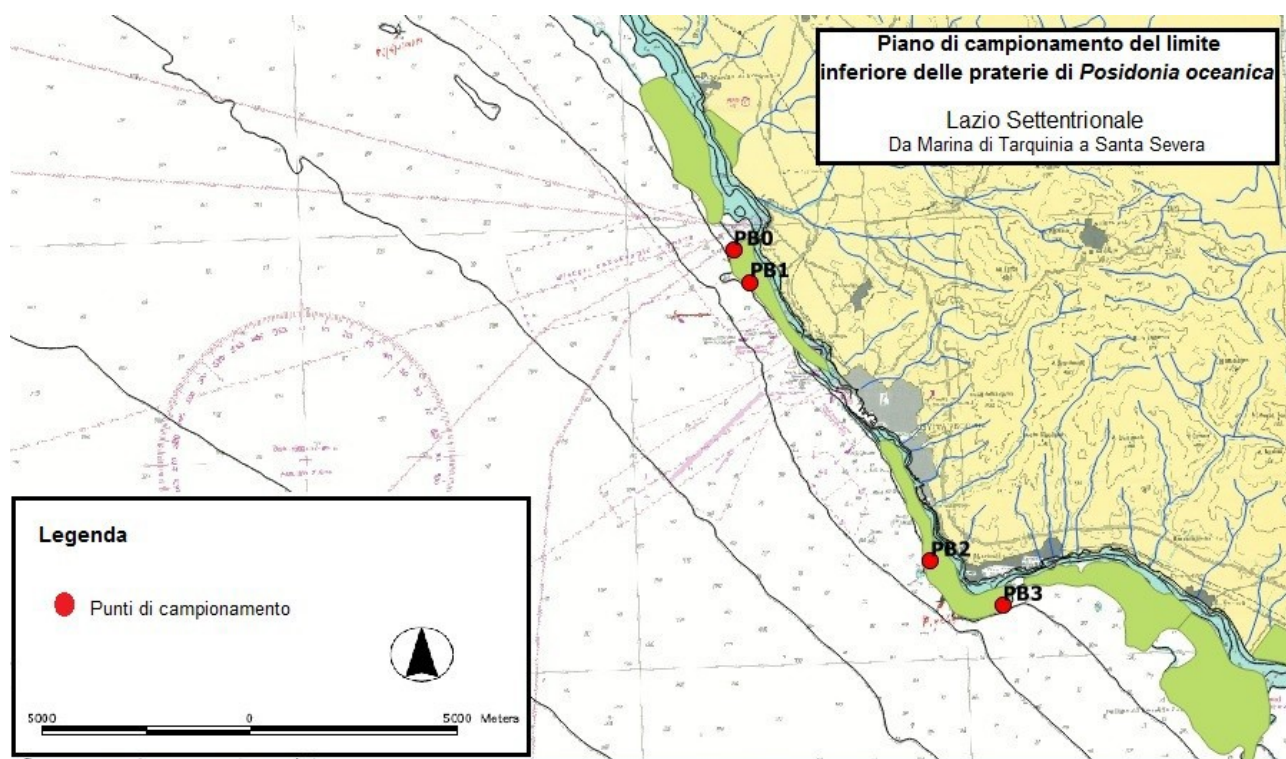


Fig 17 Carta dei SIC compresi nell'area di studio e localizzazione dei punti di campionamento e analisi

Ai fini della valutazione della dinamica del limite inferiore, sono stati posizionati, nelle praterie selezionate, 3 picchetti in corrispondenza del limite inferiore, ad una distanza di 5 m l'uno

dall'altro.

Allo scopo di caratterizzare a livello fisiografico e strutturale il limite delle praterie gli operatori subacquei hanno rilevato annualmente diverse variabili in situ:

1. profondità e tipologia del limite inferiore (erosivo, progressivo, netto o regressivo);
2. continuità della prateria
3. tipo di substrato
4. presenza e caratteristiche della matte;
5. scalzamento dei rizomi (cm) e della prateria (percentuale di rizomi scalzati dal sedimento);
6. rapporto ortotropi/plagiotropi, (percentuale di rizomi ortotropi rispetto ai plagiotropi);
7. densità della prateria (numero di fasci fogliari/m²)
8. ricoprimento (percentuale di superficie di fondo marino ricoperta dalla pianta viva);
9. presenza di altre fanerogame e/o di alghe alloctone (% *C. nodosa*, % *C. racemosa*).



Fig. 18 Esempio di analisi in situ del limite inferiore di *Posidonia oceanica*

Per lo studio dei parametri strutturali della prateria sono state effettuate analisi fenologiche e lepidocronologiche dei campioni prelevati, nonché le analisi granulometriche dei sedimenti, basandosi sulle metodologie standard di riferimento, come già precedente riportato.

I risultati ottenuti dall'analisi dei descrittori strutturali (densità assoluta, densità relativa e ricoprimento del fondo) evidenziano il generale stato di sofferenza delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti sui fondali dell'area indagata.

I valori di densità assoluta in tutti i siti monitorati identificano praterie rade o molto rade

secondo la classificazione di Giraud (1977). Prendendo in considerazione anche il fattore batimetrico, le praterie risultano quasi sempre in una condizione di densità bassa, densità che rispecchiano situazioni di praterie disturbate (Buia et al., 2003). Solo la stazione posizionata sul limite inferiore del sito PB3 (Santa Marinella) mostra densità normali che individuano una porzione di prateria in equilibrio. I valori registrati nel tempo non mostrano, comunque, variazioni sostanziali, soprattutto in considerazione della variabilità strutturale delle praterie a piccola scala spaziale.

Per quanto riguarda i descrittori derivati dai parametri morfometrici bisogna sottolineare che il comparto fogliare ha una persistenza ed un accrescimento variabili con la stagione, per tale motivo il descrittore morfometrico deve tenere conto del periodo di campionamento. Tenendo in conto tali possibili fattori di variazione, i risultati del monitoraggio hanno evidenziato valori confrontabili e all'interno del range di variazione ritrovato in altre praterie del Tirreno centrale.

Il coefficiente "A", che esprime principalmente l'effetto combinato dell'azione meccanica dell'idrodinamismo sulle foglie e del grazing degli erbivori, risulta coerente con la profondità delle stazioni esaminate, così come i valori di biomassa fogliare relativamente ai parametri morfometrici rilevati.

La variabilità rilevata in queste fasi di monitoraggio anche per i descrittori funzionali è ascrivibile per lo più alla naturale variabilità presente su piccola scala spaziale nelle praterie di P. oceanica, che è stato dimostrato essere sempre piuttosto elevata (Balestri et al., 2003).

Per comprendere la dinamica delle praterie e l'evoluzione dei sistemi ambientali nei quali esse si sviluppano, è stato inoltre applicato il metodo lepidocronologico che, permettendo la determinazione dell'età di un numero significativo di rizomi, rappresenta un potente strumento ed una importante chiave di lettura di tali ecosistemi.

L'analisi lepidocronologica ha permesso di registrare il numero medio di scaglie prodotte per anno (ciclo lepidocronologico). Mediante la stessa analisi è stato possibile stimare la produzione annuale del rizoma come biomassa (g/anno) e come allungamento (cm/anno). Per entrambe queste grandezze i valori non risultano sostanzialmente variati nelle diverse fasi di monitoraggio e sempre compresi nel range di variazione riscontrato in altre praterie del Tirreno centrale.

La tecnica lepidocronologica ha permesso il ritrovamento di peduncoli fiorali e quindi la datazione degli eventi di fioritura; in particolare per la prateria di Sant'Agostino ciò è avvenuto nel ciclo lepidocronologico corrispondente all'anno 2013 e 2014. Al di là della datazione precisa, visto

lo sfasamento temporale possibile tra ciclo lepidocronologico e anno solare, si sottolinea l'importanza di registrare un evento relativamente raro e di difficile acquisizione.

10. MONITORAGGIO DELLE BIOCENOSI BENTONICHE

I fondi mobili costituiscono un sistema di estremo interesse sia per la loro ampia distribuzione sia per l'importanza e la varietà dei popolamenti bentonici che li colonizzano (Gray, 1997; Snelgrove, 1997).

I popolamenti macrozoobentonici dei substrati sabbiosi e fangosi costieri, grazie alla loro capacità di rispondere rapidamente alle variazioni ambientali di origine naturale ed antropica, sono particolarmente utili nelle analisi di qualità biologica delle acque marine (Castelli, 2003).

La struttura delle comunità bentoniche è infatti regolata dalla variazione di fattori sia biotici che abiotici (idrodinamismo, concentrazioni di sostanza organica, inquinamento, natura del substrato ecc.) e l'estrema eterogeneità trofico-funzionale delle specie che compongono tali comunità, fa dello studio della fauna macrozoobentonica di fondo mobile e duro un prezioso strumento di valutazione dell'integrità ecosistemica, sia da un punto quantitativo che qualitativo. Inoltre tali organismi sono essenziali per la salute degli ecosistemi costieri in quanto godono di cicli vitali complessi e rappresentano una delle vie principali nel ciclo dei nutrienti, partecipando anche allo scambio di sostanze tra sedimenti e colonna d'acqua.

L'analisi del macrobenthos di fondo mobile è uno strumento essenziale nel monitoraggio dell'ambiente marino, l'approccio biologico infatti consente di ottenere risposte integrate nel tempo e di rilevare anche le minime modificazioni della qualità delle acque grazie all'utilizzo di descrittori diretti (es. bioindicatori).

Per questi motivi le comunità bentoniche sono tra i descrittori maggiormente utilizzati nel rilevamento di alterazioni ambientali derivate dall'attività antropica (Bilyard 1987; Thomson, 2003) e il loro studio è quindi essenziale per la gestione e il risanamento di aree che hanno subito modificazioni ed impatto antropico, come nel caso delle aree limitrofe il Porto di Civitavecchia (Lazio, Italia).

Per quanto attiene il benthos di fondo duro, le costruzioni biologiche sono fenomeni dinamici, risultato dell'equilibrio tra l'azione degli organismi costruttori e quella degli organismi demolitori. (Ballesteros, 2006). Il coralligeno può essere definito come un substrato duro di origine biogenica, prodotto principalmente dall'accumulo di incrostazioni calcaree algali che crescono in condizioni di scarsa luminosità. L'opera di biocostruzione può essere considerata come il frutto delle relazioni che intercorrono da una parte tra alghe coralline e invertebrati costruttori, contrapposto all'opera di

specie scavatrici e demolitrici in grado di modificare il substrato. Il coralligeno è un sistema dinamico che si accresce modificando l'ambiente circostante, acquistando un carattere di unicità che lo contraddistingue dalle altre biocenosi. Questo sistema dinamico è regolato da alcuni fattori ambientali, tra i quali luce e temperatura (fattori abiotici), e competizione inter- o intraspecifica (fattore biotico).

L'obiettivo principale di questa parte di lavoro è stato quello di caratterizzare e descrivere la struttura del popolamento macrozoobentonico di fondo mobile nell'area compresa tra Marina di Tarquinia e Santa Severa e di fondo duro nell'area della Murata, allo scopo di sottolineare le eventuali variazioni significative nella composizione specifica e nella struttura trofica delle biocenosi presenti.

10.1 Benthos di fondo mobile

Lungo il tratto di costa compresa tra Marina di Tarquinia e Santa Severa, sono state eseguite n.30 stazioni di campionamento distribuite tra la batimetrica dei -10 metri e quella dei -50 metri (Fig. 12).

Le campagne di campionamento sono state effettuate nei seguenti periodi:

- luglio 2013
- agosto-settembre 2017

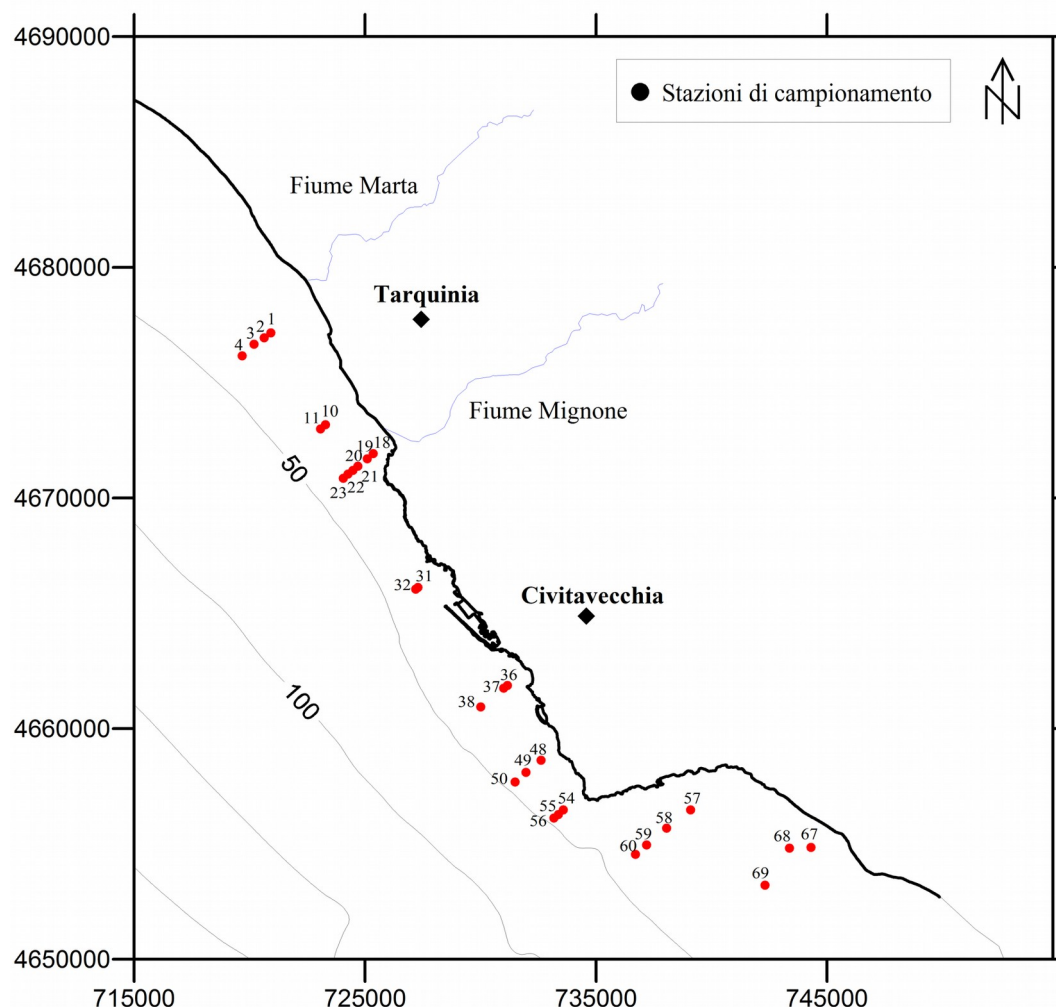


Fig. 19 piano di campionamento

Il campionamento del macrobenthos di fondo mobile è stato effettuato tramite l'utilizzo una benna di tipo Van Veen con un volume di circa 18 litri con apertura di 0.1 m^2 . Per ogni stazione di campionamento sono state eseguite 3 repliche, verificando per ogni replica che lo strumento avesse lavorato in condizioni ottimali e che non ci fosse stata fuoriuscita di sedimento.

Il campione è stato rimosso dal campionatore (quest'ultimo è stato accuratamente risciacquato da eventuali residui di campione con acqua di mare precedentemente filtrata con un filtro di maglia inferiore ad 1 mm , per evitare eventuali contaminazioni) e posto in un contenitore di dimensioni adeguate. Per separare gli organismi macrobentonici dal sedimento, il campione è stato vagliato attraverso un setaccio setaccio con apertura regolare di maglia 1 mm + pre-setaccio di 2 mm .

Il materiale biologico e non biologico rimanente dopo la setacciatura è stato trasferito in

appropriati contenitori plastici opportunamente contrassegnati con le informazioni del campionamento (nome della campagna, codice della stazione, numero della replica, ecc.) e fissato con una soluzione di Etanolo al 75% e acqua di mare filtrata. In caso di campioni con elevata presenza di materia organica (ad esempio resti di vegetali), la concentrazione di Etanolo è stato aumentato fino al 90%.

Come previsto dal DLGS 3 aprile 2006 n° 152 e sue modifiche apportate con Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare 14 aprile 2009 n° 56, per i metodi di campionamento degli elementi di qualità biologica si fa riferimento al manuale APAT 46/2007, ai manuali ISPRA ed ICRAM per le acque marino-costiere e di transizione e alle “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 (Roma 2001 e successivi aggiornamenti).

In laboratorio sono state svolte le operazioni di smistamento e identificazione specifica degli organismi campionati.

Per l'identificazione al livello tassonomico più basso si è fatto riferimento ai fascicoli della “Checklist delle specie della fauna italiana” relativi alla fauna bentonica marina (fascicoli nn. 2, 3, 4, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 108, 109) (Minelli et al. 1995). Inoltre per ogni specie è stata indicata l'appartenenza alle biocenosi-tipo mediterranee in base alla standardizzazione di Pérès & Picard (1964).

Per l'analisi tassonomica e l'ecologia delle specie sono stati utilizzati i seguenti testi: Campoy (1982), Chevreux & Fage (1925), Costa & Krapp & Ruffo (2009), Day (1967), Fauchald (1977), Fauvel (1923, 1927), P.J. Hayward & J.S. Ryland (1996), Riedl (1991), Ruffo (1982, 1989, 1993), Tortonese (1965), Zariquiey Alvarez (1968); per la nomenclatura ci si è attenuti a quella proposta dal sito World Register of Marine Species (WoRMS- www.marinespecies.org).

Nei 30 campioni di benthos raccolti nel 2017 sono stati rinvenuti 3100 individui appartenenti a 183 taxa; solo per il 12% degli individui non è stato possibile estendere l' identificazione a livello di specie.

Le variazioni rispetto al campionamento del 2013 sono minime e si osserva un incremento di circa 100 individui e una variazione nel numero di specie di circa lo 0,3%.

I campioni così identificati sono stati divisi nei seguenti gruppi tassonomici:

- Policheti : 38%
- Isopodi: 0.06%
- Anfipodi: 3.6%
- Tanaidacei: 10,8%
- Decapodi: 3.8%
- Gasteropodi: 8.7%
- Bivalvi: 18%
- Echinodermi: 12,4%
- Sipunculidi: 2,16%
- ALTRO 2,48%

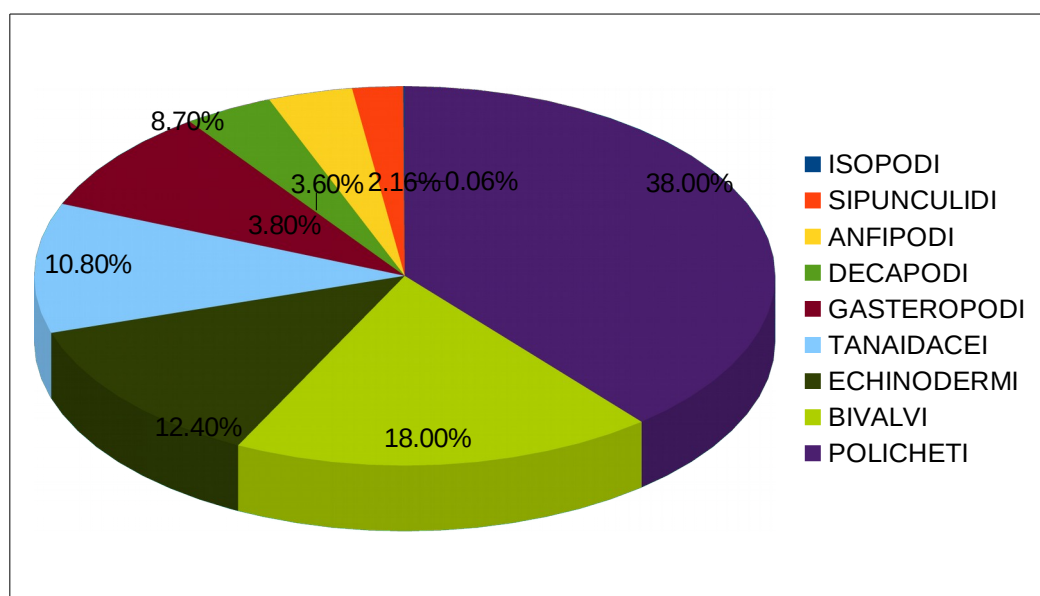


Fig. 20 percentuale di abbondanza dei principali taxa analizzati

E' importante segnalare, rispetto al 2013, anche l'incremento di alcune specie tolleranti e/o opportuniste indicatrici di impatto antropico (incremento concentrazioni di organico, idrocarburi e metalli pesanti, modificazione degli equilibri sedimentari ecc.) come i policheti della famiglia Cirratulidae e il bivalve *Corbula gibba* (entrambi i taxa sono raddoppiati dal 2013 al 2017). La variazione nelle abbondanza di queste specie può essere un segnale dell'aumento della pressione antropica nell'area di studio

Analizzando i 10 taxa con valori di abbondanza più elevati si osserva che essi rappresentano il 50.76% della comunità.

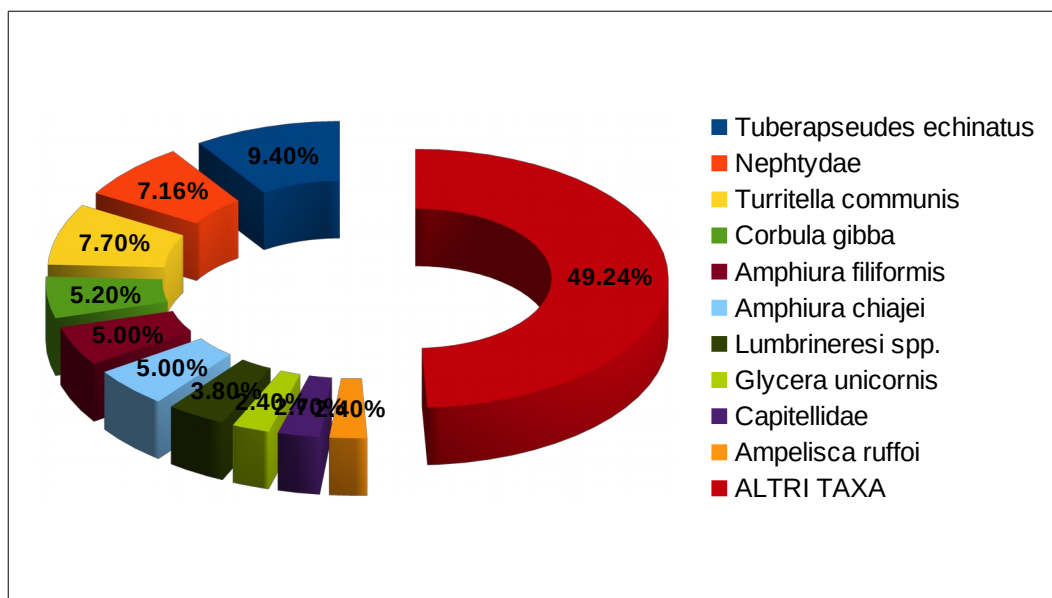


Fig. 21 Percentuale di distribuzione degli individui tra le 10 specie più numerose identificate

Nella figura qui di seguito vengono riportati i valori del MAMBI nelle 30 stazioni effettuate nell'anno 2017.

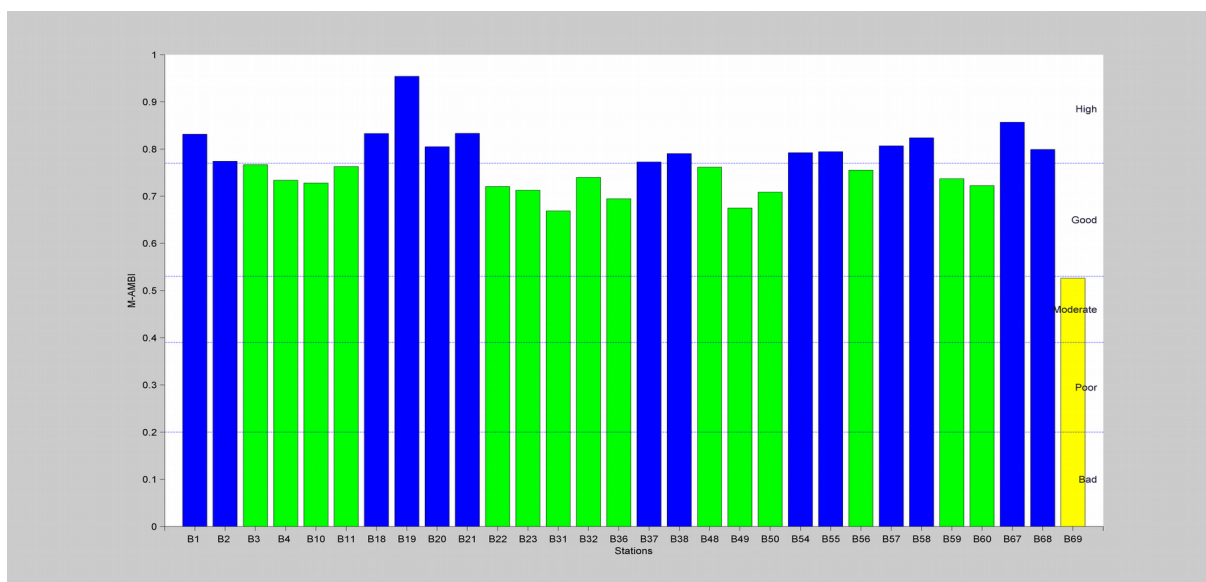


Fig. 22 Valori di MAMBI nelle 30 stazioni

Dal confronto con i dati analizzati e descritti nel 2013 si osserva un incremento della qualità biologica in tutta l'area di studio; infatti il numero di stazioni che mostrano una classificazione “alta” sono incrementate di oltre il 50% passando da 6 stazioni nel 2013 a 14 nel 2017.

Appare evidente che la comunità macrozoobentonica non ha subito variazioni significative sia in termini di abbondanza sia in termini di ricchezza specifica; questo è anche evidente dall'analisi del pool dei 10 taxa più abbondanti che è rimasto quasi invariato, l'unico aumento significativo è da attribuire al bivalve opportunisto *Corbula gibba*, una specie indicatrice di inquinamento antropico la cui abbondanza è incrementata di oltre il 50%. Inoltre è stata osservata la totale scomparsa della facies ad *Owenia fusiformis* precedentemente localizzata nelle stazioni B18 e B19.

L'analisi delle caratteristiche ecologiche degli organismi campionati ha mostrato che la comunità bentonica è rappresentata soprattutto da specie mixticole e limicole e che le specie sabulicole, poco abbondanti già nel 2013, hanno subito un ulteriore decremento.

I Deposit feeders sono risultati la categoria trofica più abbondante (circa 33%) mentre i predatori e i sospensivori rappresentano rispettivamente circa il 26% ed il 22% della comunità; i detritivori (15%) sono rappresentati soprattutto dal tanaidaceo *Tuberaapseudes echinatus*, la specie più abbondante di raccolta nel nostro campionamento (circa 300 individui). Lo studio dei feeding mode e la presenza di abbondante detrito organico (*Posidonia oceanica*, frammenti di roccia organogena e detrito conchigliare), all'interno dei 90 campioni di sedimento raccolto, ci testimoniano che il flusso di energia, che alimenta e regola le comunità macrozoobentoniche costiere, è veicolato da:

- Praterie di *Posidonia oceanica* e biocenosi delle alghe fotofile;
- Detrito organogeno proveniente dalle biocenosi di fondo duro;
- Detrito e sedimento di origine continentale trasportato dai fiumi Marangone e Mignone.

I risultati dell'analisi dell'indice AMBI indicano che la qualità ambientale è rimasta invariata rispetto al 2013, tutte le 30 stazioni ricadono nelle categorie 1 (area non disturbata) e 2 (area lievemente disturbata) evidenziando come l'intera area in esame esprima un buono stato ecologico.

Anche l'indice cumulativo M-AMBI mostra valori di classificazione che ricadono tra Alto e Buono e dal confronto con i dati analizzati e descritti nel 2013 si osserva un incremento della qualità biologica in tutta l'area di studio; infatti il numero di stazioni che mostrano una classificazione “alta” sono incrementate di oltre il 50% passando da 6 stazioni nel 2013 a 14 nel

2017 ed inoltre è stato osservato un incremento della qualità ambientale in oltre il 50% delle stazioni.

Infine l'analisi bionomica mostra l'avanzamento della biocenosi VTC verso costa a discapito della biocenosi SFBC che rimane confinata in un'unica stazione superficiale, la B18 (10m), localizzata nell'area antistante la foce del fiume Mignone. Quest'ultimo dato potrebbe essere legato all'aumento della percentuale pelitica osservata rispetto al 2013: infatti ben 20 stazioni di campionamento su un totale di 30 stazioni mostrano nel 2017 un aumento di percentuale pelitica maggiore del 10% rispetto al 2013.

In conclusione la comunità esaminata non mostra variazioni significative rispetto al 2013 e la distribuzione delle specie è regolata principalmente da due fattori, il gradiente batimetrico e la distribuzione dei sedimenti legata ad esso, evidenziando che nell'area la comunità bentonica è influenzata soprattutto dalle caratteristiche fisiche ed edafiche del substrato; inoltre l'analisi della qualità ambientale mostra un leggero miglioramento in oltre il 50% delle stazioni sottolineando che le pressioni legate alle attività costiere e all'ampliamento del bacino portuale non hanno comportato un impatto significativo sulle comunità macrozoobentoniche di fondo mobile.

10.2 Benthos di fondo duro

La “Murata” di Sant’Agostino situata a Nord del Porto commerciale nell’area costiera denominata “La Frasca”, è sicuramente la biocostruzione coralligena di maggiore entità e riveste un ruolo fondamentale sia dal punto di vista biologico, ecologico e naturalistico sia nell’ottica dell’economia costiera. Questo sito, che si sviluppa a partire da circa 25m di profondità (fino a 50m), è caratterizzato da una meravigliosa eterogeneità di specie caratteristiche (*Paramuricea clavata*, *Eunicella* spp., *Corallium rubrum*, *Astrospartus mediterraneus*) e ospita numerose specie ittiche di interesse commerciale (*Epinephelus marginatus*, *Sciaena umbra*, *Scorpaena scrofa*, *Conger conger* ecc.); inoltre le numerose e coloratissime colonie di gorgoniacei che si sviluppano sulle pareti verticali e la straordinaria varietà di macroinvertebrati che colonizzano la Murata attraggono centinaia di subacquei ogni anno incrementando e promuovendo l’economia locale.

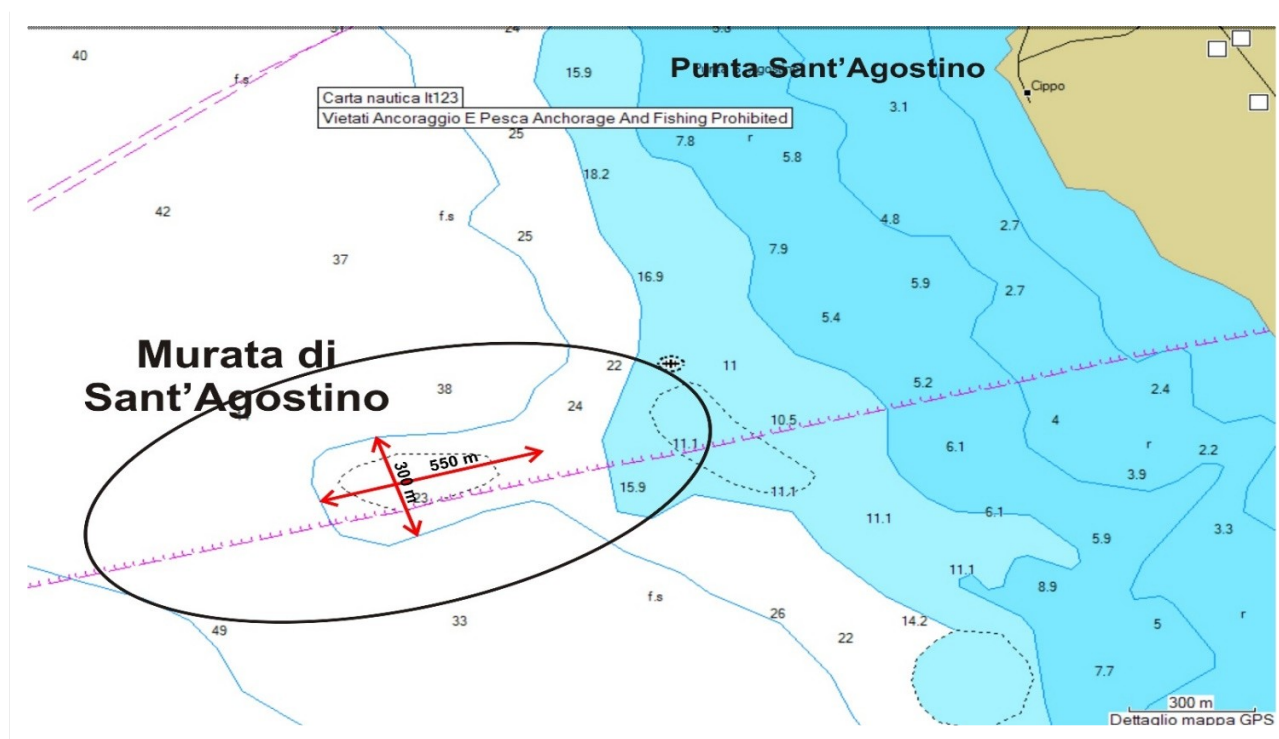


Fig. 23 Posizione e caratteristiche morfometriche della Murata

Negli ultimi anni purtroppo è stato registrato un lento e progressivo decremento delle qualità biologica delle biostrutture che caratterizzano i substrati della Murata probabilmente legato alla pressione antropica che agisce su questo settore di costa: la presenza di abbondante feltro algale

(eutrofizzazione), l'aumento della torbidità e del sedimento in deposizione sui substrati (apporti fluviali e dragaggi), l'aumento delle reti fantasma e delle fratturazioni da ancoraggio, il prelievo indiscriminato di *Corallium rubrum* e la comparsa di necrosi sugli Antozoi coloniali hanno infatti contribuito ad una costante perdita delle funzionalità ecologiche di questo sito che potrebbe, a lungo termine, causare un impoverimento della biodiversità locale con conseguenti danni sulla pesca e sul turismo.

Questa parte di lavoro ha avuto come obiettivo quello di descrivere l'evoluzione della qualità biologica delle bio-costruzioni coralligene che caratterizzano La Murata attraverso un confronto diretto tra i dati raccolti nei mesi di Giugno e Agosto 2012 e i nuovi monitoraggi effettuati a Marzo e Agosto 2018, allo scopo di evidenziare se la pressione antropica costiera, soprattutto legata al riassetto strutturale (dragaggi e opere a mare) del Porto di Civitavecchia, abbia causato un impatto diretto o indiretto sulle strutture coralligene.

Attraverso l'analisi dei video prodotti dagli operatori subacquei, l'identificazione delle macrospecie epibentoniche e lo studio della qualità delle colonie (presenza feltro algale, presenza di necrosi e specie epifite, reti, prelievi e fratturazione diretta) si è cercato sia di ricostruire l'evoluzione temporale.



Fig. 24 Colonie di *Paramuricea clavata* localizzate sulla parete sud

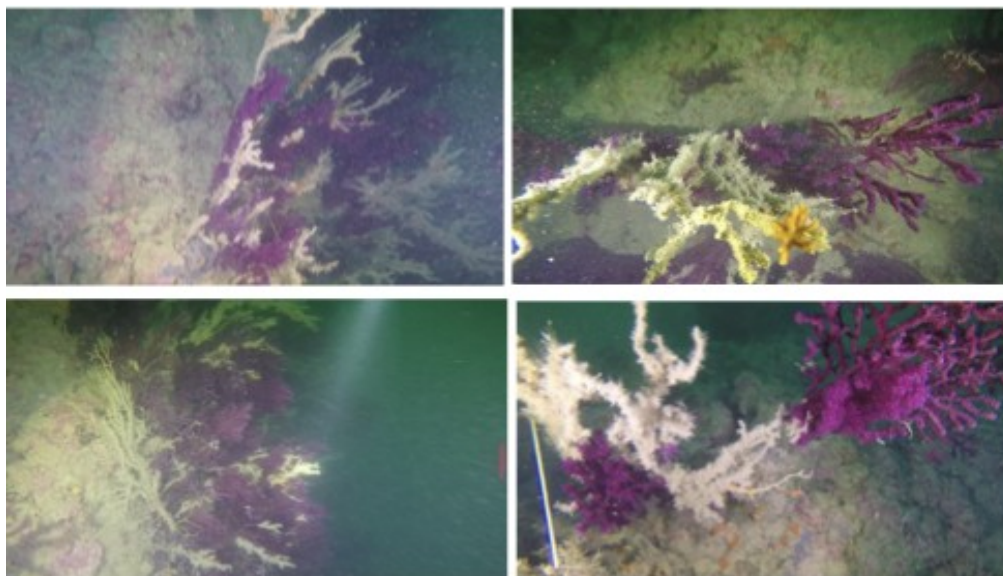


Fig. 25 Colonie di *Paramuricea clavata* che presentano estese aree necrotiche



Fig. 26 Colonie di *Corallium rubrum*

Il confronto tra i dati acquisiti nei due periodi di indagine ha evidenziato una drastica diminuzione della qualità biologica ed ecologica del sito; questo fenomeno è potenzialmente dovuto all'incremento dell'impatto antropico nell'area che ha comportato nel tempo un evidente e continuo depauperamento delle comunità macrozoobentoniche presenti sulla murata.

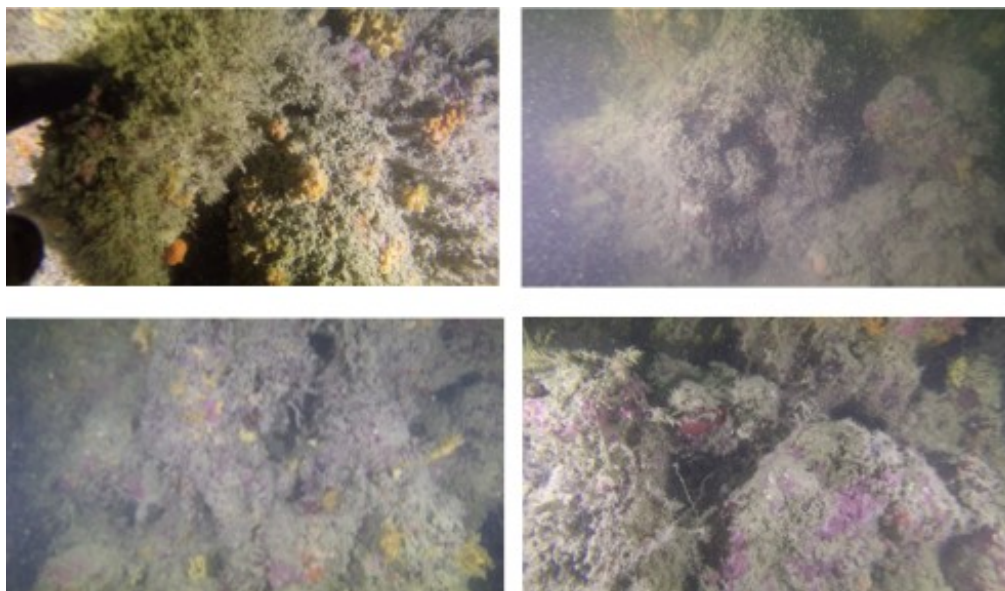


Fig. 27 Substrati della parete nord

In particolare è stato osservato: l'insorgere di necrosi localizzate sulle colonie di *Paramuricea clavata* e un aumento di mortalità di quest'ultima; un forte incremento della deposizione di sedimento fine sui substrati organogeni, probabilmente causato dall'incremento e dalla modificazione degli apporti fluviali continentali e dalle movimentazioni di sedimento marino (dragaggi, ripascimenti e costruzione di opere a mare) che sono state effettuate negli ultimi anni in questo tratto di costa; la presenza di feltro algale e mucillagini favorite dall'incremento di nutrienti nell'acqua (eutrofizzazione); la presenza di danni diretti legati alla pesca sportiva e artigianale (lenze e reti fantasma). La sincronia tra questi fenomeni potrebbe portare in un futuro prossimo alla totale scomparsa delle specie strutturanti (gorgonie, briozoi, madrepore, alghe rosse incrostanti ecc.) con conseguente modificazioni delle comunità macrozoobentoniche tipiche della murata che comporterebbero il collasso dell'intero ecosistema coralligeno. Inoltre la costante perdita delle funzionalità ecologiche di questo sito potrebbe, a lungo termine, causare un impoverimento della biodiversità locale con conseguenti danni sulla pesca e sul turismo.

11. ATTIVITA' SCIENTIFICHE INTEGRATIVE

Il progetto di ricerca posto in essere integra una serie di attività e di collaborazioni con diversi Istituti scientifici, al fine di produrre dei risultati divulgabili attraverso pubblicazioni scientifiche, convegni e seminari. I dati acquisiti inoltre sono attualmente oggetto di numerose tesi di laurea e di dottorato.

In particolare, sono stati approfonditi una serie di studi su differenti aspetti, che di seguito vengono riportati:

- studio della variabilità genetica relativa alle praterie di *Posidonia oceanica* oggetto di studio, attraverso l'analisi dei RAPD (Random Amplification of Polymorphic DNA). Questa ricerca è stata portata avanti grazie alla fattiva collaborazione in essere tra il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina ed il Laboratorio Biomasse e Bioenergie (UTRINN-BIO) dell'ENEA;
- è stata effettuata una campagna 24h per lo studio dell'efficienza fotosintetica e della produzione primaria della *Posidonia oceanica* attraverso tecniche innovative, quali il fluorimetro PAM (PULSE AMPLITUDE MODULATED);
- caratterizzazione spaziale delle concentrazioni di metalli in traccia nell'area costiera di Civitavecchia (dalla foce del fiume Mignone a S.Severa) per completare il quadro conoscitivo dei livelli dei contaminanti metallici nell'Unità fisiografica M.Argentario – Capo Linaro;
- applicazione di una metodologia integrata per la valutazione degli impatti potenziali dell'installazione, esercizio e dismissione di un generatore di energia da moto ondoso su nuova concezione (Wavesax). La metodologia integrata prevede l'utilizzo di una rappresentazione sinottica delle caratteristiche ecologiche dell'area oggetto di studio, la Sea Use Map, in cui vengono integrati sia i dati ottenuti dalle ricerche sopra riportate, sia dati pregressi e/o presenti in letteratura;
- campagne di caratterizzazione acustica dei principali target presenti nelle aree portuali e limitrofe, al fine di completare il sistema osservativo con misure necessarie alla MSFD (2008/56/EC), che include il rumore sottomarino fra gli 11 descrittori qualitativi (D11) del Buon Stato Ambientale (GES);
- campagne di campionamento dei popolamenti bentonici di fondo duro all'interno delle

aree portuali, al fine di analizzare e descrivere l'evoluzione spazio temporale delle comunità bentoniche e dei processi di colonizzazione dei substrati duri del porto di Civitavecchia, con particolare attenzione alla presenza di eventuali specie aliene e gli effetti che queste ultime hanno sulle comunità naturali.

Relativamente alle ultime due attività, si riportano i principali risultati ottenuti.

11.1 Studio degli impatti acustici in area portuale e periportuale

La valutazione del rumore ambientale sottomarino è particolarmente importante in ambiente costiero dove le numerose fonti di rumore naturale e antropico generano un paesaggio sonoro complesso e altamente variabile (Popper and Hastings, 2009). Il rumore generato dal traffico marittimo è considerata la principale fonte di rumore sottomarino a bassa frequenza (<500 Hz) (Wenz, 1962; Ross, 1976; Andrew et al., 2002; Hildebrand, 2009, CSA Ocean Sciences Inc. 2013). Il rumore emesso da ogni imbarcazione è strettamente dipendente dalle sue caratteristiche quali tipologia e grandezza, metodo di propulsione e operatività di macchinari addizionali presenti a bordo (Hildebrand, 2009). L'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO, International Maritime Organization, 2013) ha riconosciuto l'impatto negativo del traffico navale sui livelli di rumore subacqueo introducendo delle linee guida per i progettisti, costruttori e operatori con l'obiettivo di ridurre il contributo proveniente dalla navigazione commerciale.

La Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (Marine Strategy Framework Directive 2008/56/EC) e la conseguente decisione della Commissione 2010/477/EC riconosce per la prima volta il rumore sottomarino come una vera e propria forma di inquinamento includendolo fra gli 11 descrittori qualitativi (D11) del Buon Stato Ambientale (GES). In particolare, il descrittore 11.1 riguarda i suoni impulsivi generati dalle attività antropiche che potrebbero avere un impatto significativo sulla fauna marina mentre il descrittore 11.2 riguarda il rumore continuo generato dal traffico marittimo quale pressione di rilevanza a livello dell'intero ecosistema marino. Allo stato attuale, pur essendo state redatte linee guida per lo studio dell'inquinamento acustico sottomarino (in USA, Australia, etc.), non esistono ancora modelli di riferimento da utilizzare in Europa e in particolar modo in Italia.

Diventa quindi fondamentale svolgere un progetto pilota per lo studio del rumore sottomarino

essendo questo percepito sia dal mondo scientifico che dalle pubbliche amministrazioni come argomento di punta per l'attività sperimentale applicata allo studio dell'inquinamento marino.

Il progetto di ricerca ha previsto la raccolta e l'elaborazione di dati acustici per la quantificazione della distribuzione spazio-temporale del rumore acustico in ambiente portuale e peri-portuale in relazione ai popolamenti presenti.

Gli obiettivi del progetto sono stati quindi:

- lo studio del rumore ambientale in ambito portuale;
- la descrizione dell'impronta acustica delle differenti tipologie di imbarcazione;
- la caratterizzazione in bande in 1/3 di ottava del livello di pressione sonora.

Non esistendo ancora standard specifici per il Mar Mediterraneo per la misura del rumore subacqueo, è stato preso in considerazione il documento prodotto dal National Physical Laboratory (UK), istituto di riferimento per la metrica, le misure e le metodologie di modellistica e mappatura dei rumori che tiene conto della normativa di riferimento internazionale attualmente in atto: Good Practice Guide n. 133 Underwater Noise Measurements (NPL 2014, ANSI 2009, ISO 17028-1 2011).

Le misure di rumore subacqueo sono state effettuate con un idrofono Teledyne Reason TC-4013 collegato a pre-amplificatore VP1000 e recorder digitale Tascam DR 05. Il registratore è impostato per registrare alla massima risoluzione (file .wav a 24 bit) con frequenza di campionamento di 96000 Hz e gain fisso (-12 dB). Per ogni punto di misura (figura 1) è stata acquisita una registrazione di 120 secondi. I dati sono stati raccolti in orari e giorni diversi tenendo conto dell'elevata variabilità spazio-temporale delle fonti di rumore, nel periodo compreso tra ottobre 2016 e marzo 2017.

La Marine Strategy Framework Directive e in particolare il descrittore 11 per la valutazione di rumori continui a bassa frequenza indica che per garantire il buon stato ecologico delle acque marine, il valore medio di rumore acustico nelle bande in 1/3 d'ottava centrate a 63 Hz e 125 Hz non deve superare il limite di 100 dB re 1 μ Pa. Dalle analisi dei dati acustici raccolti nei trimestri ottobre – dicembre 2016 e gennaio – marzo 2017, trattati separatamente per l'area portuale e periportuale, risulta che in nessun caso il valore medio del livello di pressione sonora (SPL) eccede i 100 dB re 1 μ Pa nelle bande in 1/3 di ottava 63 e 125 Hz. In ambiente portuale, in assenza di

particolari attività, la maggiore emissione di rumore subacqueo è dovuto alle operazioni di accosto (atterraggio, ormeggio e disormeggio) dei mezzi nautici. Per questo motivo l'analisi del livello di rumore è stata stesa alle frequenze a maggiore concentrazione di energia. Le operazioni di accosto hanno una distribuzione temporale non uniforme che si riflette nella variazione dei livelli di rumore. Gli elevati valori di livello di pressione sonora riscontrati alle basse frequenze (<500 Hz) rispetto alla banda larga confermano l'importanza del traffico navale come fonte di rumore subacqueo in ambiente costiero.

Le analisi statiche mostrano che la differenza nel numero di accosti durante l'anno di riflette in una differenza nel livello di rumore registrato. In particolare, considerando le differenti tipologie di imbarcazioni sembra che i traghetti abbiano un ruolo fondamentale come fonte di rumore antropico sottomarino nell'area marino costiera del Porto di Civitavecchia.

11.2 Studio delle specie aliene associate ai substrati duri del Porto di Civitavecchia

Le “specie aliene” sono definite come piante, animali, agenti patogeni e altri organismi non nativi di un ecosistema, in grado di provocare un impatto negativo sulla biodiversità. Gli organismi alieni possono causare l'alterazione degli ecosistemi locali, la compromissione delle funzioni dell'ecosistema e il declino o l'eliminazione di specie autoctone, attraverso processi di competizione, predazione, o trasmissione di agenti patogeni; generando un ingente danno economico/ambientale anche per la salute umana.

Negli ultimi anni sia il tasso di introduzione delle specie acquatiche che la diffusione di specie esotiche invasive (quelle che possono avere un impatto negativo) sono in rapido aumento, infatti queste specie sono oggi considerate una delle prime cinque minacce antropiche in tutti gli oceani (Nellemann et al., 2008) e la seconda causa di perdita di biodiversità a scala globale. Il funzionamento degli ecosistemi è legato da forti relazioni tra le componenti biotiche e abiotiche e le invasioni biologiche di specie aliene possono alterare questo equilibrio, compromettendo la conservazione della biodiversità e l'integrità degli ambienti naturali in tutto il mondo (Hulme, 2007; Vilà et al., 2010).

Le zone più suscettibili alle invasioni di specie aliene sono le aree portuali e le aree lagunari, caratterizzate da basso idrodinamismo, disturbo ambientale, inquinamento ed eutrofizzazione; in questi ambienti la forte pressione antropica esercitata sugli organismi bentonici può favorire

l'insediamento e la proliferazione di specie aliene.

Questo studio aveva come obiettivo principale quello di analizzare e descrivere l'evoluzione spazio temporale delle comunità bentoniche e dei processi di colonizzazione dei substrati duri del porto di Civitavecchia (substrati posti in tempi differenti) con particolare attenzione alla presenza di eventuali specie aliene e gli effetti che queste ultime hanno sulle comunità naturali. Lo studio ha analizzato infatti le comunità presenti sulle banchine e sui corpi galleggianti (cime e boe) messi in opera in tempi differenti e caratterizzati da esposizioni differenti al moto ondoso al fine di:

- Analizzare la presenza di specie aliene e descrivere il loro effetto sulle comunità naturali.
- Descrivere la qualità ecologica e biologica dell'area.
- Confrontare i processi colonizzativi in tre differenti aree del Porto di Civitavecchia.

Al fine di analizzare la potenziale presenza di specie aliene sui substrati duri presenti all'interno del porto di Civitavecchia, in data 14/12/2016 è stato effettuato un campionamento in tre diverse stazioni distribuite all'interno dell'area portuale

I campionamenti sono stati eseguiti in tre differenti banchine caratterizzate da condizioni morfologiche e dinamiche differenti (esposizione al moto ondoso, differenti condizioni di circolazione delle acque e di input esterni, morfologia del substrato, utilizzo del bacino) con l'obiettivo di osservare e descrivere la composizione e l'evoluzione delle comunità bentoniche nelle diverse aree.

Di seguito viene riportata la localizzazione dei punti di campionamento (Fig.1):

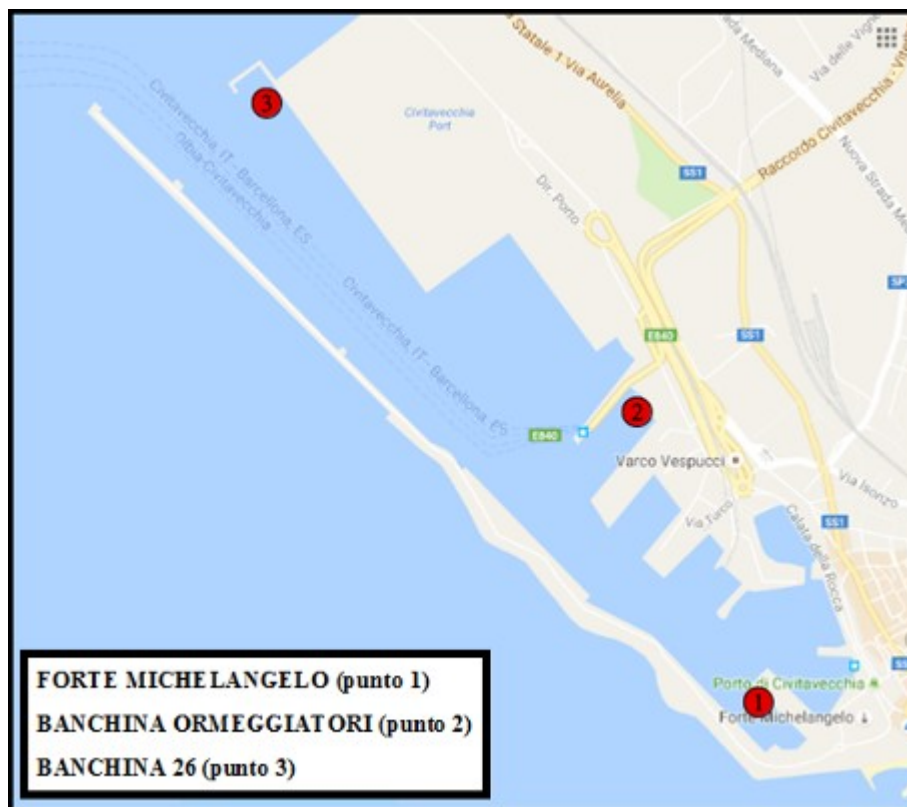


Fig. 28 Punti di campionamento

In ogni punto, mediante l'ausilio di operatori tecnici subacquei (OTS), sono stati prelevati tre campioni (suddivisi in tre repliche) di macrofauna zoobentonica localizzata a tre differenti quote batimetriche:

- SUPERFICIALE: 1 m;
- INTERMEDIO: 5m;
- LIMITROFO AL FONDO: (10 – 14 m).

Nei punti denominati “Forte Michelangelo” e “Banchina 26”, caratterizzati da una profondità di circa 9m, sono stati raccolti solo 2 campioni: superficiale (1m) e limitrofo al fondo (7m). I campioni sono stati raccolti mediante il metodo del “grattaggio”: utilizzando un quadrato di riferimento standard in metallo 20cm x 20cm (tot. 400 cm²) e con l'ausilio di spatola e martello (D'Alessandro et al., 2016). Il materiale prelevato (3 repliche per quota batimetrica) è stato pre-anestetizzato con etanolo e conservato in buste di materiale plastico pre-etichettato.

I campioni raccolti sono stati conservati in Etanolo 75% e trasportati in laboratorio per le operazioni di sorting e identificazione degli organismi a livello tassonomico più basso. Ad oggi solo il 35% del campione è stato analizzato al livello di specie.

Per l'analisi tassonomica e l'ecologia delle specie sono stati utilizzati i seguenti testi: Campoy (1982), Chevreux & Fage (1925), Costa & Krapp & Ruffo (2009), Day (1967), Fauchald (1977), Fauvel (1923, 1927), P.J. Hayward & J.S. Ryland (1996), Riedl (1991), Ruffo (1982, 1989, 1993), Tortonese (1965), Zariquiey Alvarez (1968); per la nomenclatura ci si è attenuti a quella proposta dal sito World Register of Marine Species (WoRMS- www.marinespecies.org).

L'analisi della comunità macrozoobentonica raccolta sui substrati duri del porto di Civitavecchia ha portato all'identificazione e alla descrizione di 9 specie aliene: *Caprella scaura* Templeton, 1836 (Anfipodi); *Jassa slatteryi* Conlan, 1990 (Anfipodi); *Paracerceis sculpta* (Holmes, 1904) (Isopodi); *Paranthura japonica* Richardson, 1909 (Isopodi); *Mesanthura* sp. (Isopodi); *Hydroides elegans* (Haswell, 1883) (Policheti); *Hydroides dirampha* Morch, 1863 (Policheti); *Branchiommma luctuosum* (Grube, 1870) (Policheti); *Pista unibranchia* Day, 1963 (Policheti).

Inoltre due nuove specie di Gastropodi sono state raccolte e identificate, *Mytrella psilla* (Duclos, 1846) e *Aplus assimilis* (Reeve, 1846), i dati raccolti su queste specie sono in fase di pubblicazione (prima segnalazione in acque italiane).

Tabella Specie aliene e relativa abbondanza totale

SPECIE ALIENE	TOT. INDIVIDUI
<i>Caprella scaura</i>	13
<i>Jassa slatteryi</i>	9
<i>Paracerceis sculpta</i>	19
<i>Mesanthura sp.</i>	60
<i>Paranthura japonica</i>	178
<i>Hydroides elegans</i>	155
<i>Hydroides dirampha</i>	112
<i>Branchiomma luctuosum</i>	11
<i>Pista unibranchia</i>	3

L'analisi della ricchezza specifica mostra un totale di 184 specie di cui 9 aliene (4%) mentre dall'analisi delle abbondanze si osserva che le specie alloctone (560 individui) rappresentano circa il 12% dell'intera comunità (4695 individui totali). Dall'analisi della fauna aliena i Policheti sono risultati il taxa più rappresentativo (50.17%) maggiormente rappresentati dai serpulidi del genere *Hydroides*, che sono risultati molto abbondanti in tutti i siti di campionamento. I crostacei Isopodi (45.9%) sono il secondo taxa in termini di abbondanza dominati dall'anthuride *Paranthura japonica* specie osservata in tutti i substrati analizzati.

Analizzando le abbondanze delle specie aliene nei tre punti di campionamento si osserva un incremento di esse nelle zone più interne del porto (Forte Michelangelo e Banchina 26) ed un maggior numero di specie associate ai substrati superficiali (1m). Questo aumento è probabilmente legato alla natura e alla morfologia dei substrati organogeni che caratterizzano la superficie delle banchine; infatti i substrati (concrezioni) di origine animale e vegetale appaiono più strutturati e abbondanti nelle aree più "vecchie" del porto in cui si possono osservare bioconcrezioni formate da alghe rosse incrostanti, cirripedi e briozoi coloniali.

Dall'analisi della fauna associata ai substrati duri del Porto di Civitavecchia si è visto che la comunità è rappresentata maggiormente da due taxa: Policheti 32% ed Echinodermi 23%. I Molluschi sono risultati anche essi rappresentativi (18%) seguiti dagli Anfipodi (10%) e dagli Isopodi (7%). Tra i taxa meno abbondanti troviamo I Decapodi (3%), i Sipunculidi (3%), i Poriferi (2%) e i Tanaidi (1%). Acari e Cnidari hanno una percentuale dello 0%, in quanto gli organismi di questi gruppi tassonomici sono stati osservati in numero estremamente ridotto e solo in alcuni dei siti di campionamento.

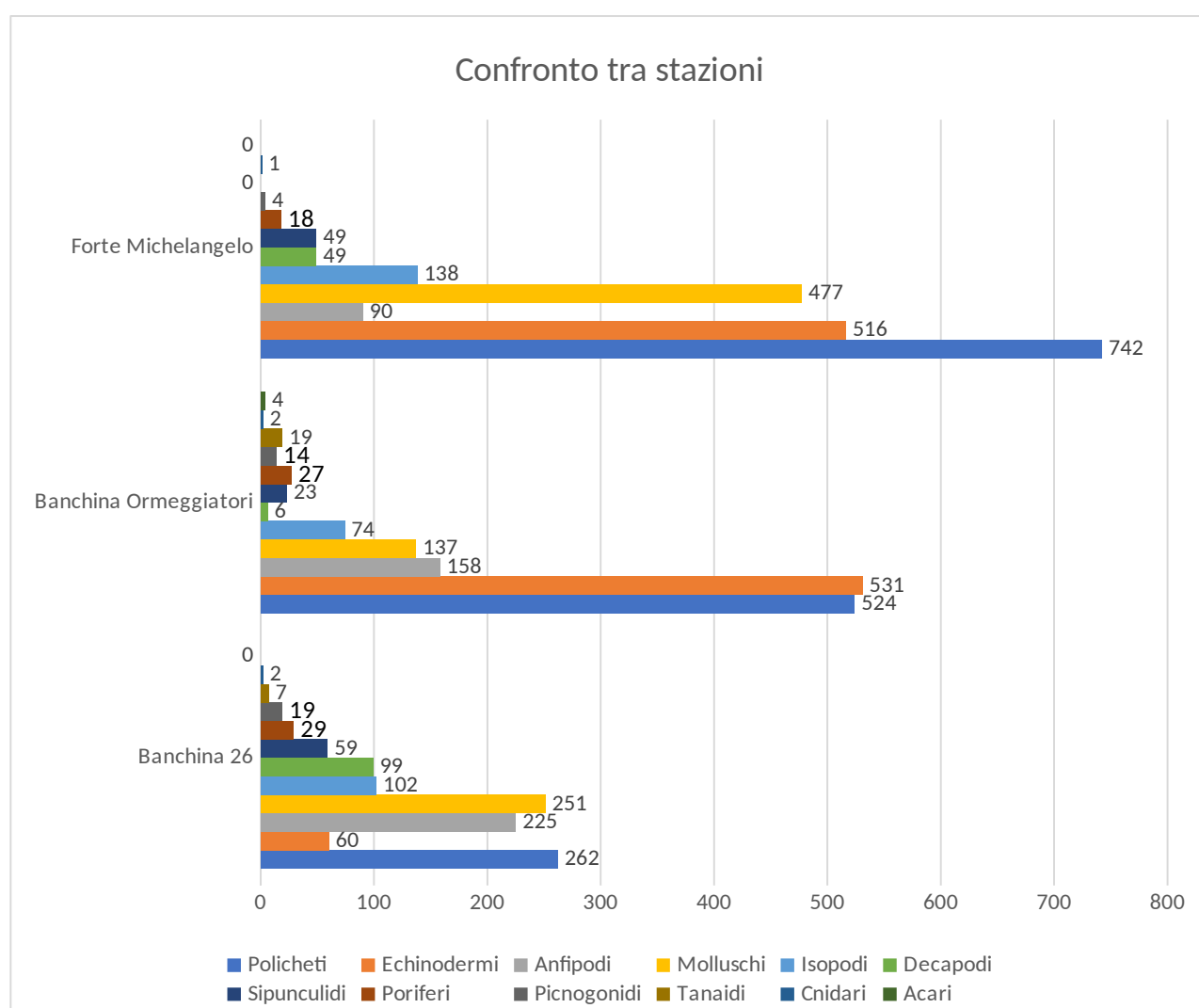


Fig. 29 Abbondanza dei taxa nei tre punti di campionamento

L'analisi della ricchezza specifica nei tre punti di campionamento ha evidenziato un andamento opposto rispetto alle abbondanze: la Banchina 26 mostra il massimo numero di specie e spostandosi nelle aree più interne del bacino si registra un decremento costante della ricchezza specifica.

Analizzando la variazione dei differenti taxa all'interno del porto si osserva che:

- I Policheti subiscono un incremento costante spostandoci dalle zone più esterne (Banchina 26) alle più interne (Forte Michelangelo).
- Anfipodi, Decapodi e Isopodi mostrano un andamento inverso, risultano massimi nelle aree più esterne e “nuove” del porto.
- Gli Echinodermi risultano poco abbondanti a Banchina 26, aumentano esponenzialmente nella Banchina ormeggiatori e ridiminuiscono a Forte Michelangelo.
- I Molluschi presentano un andamento speculare ma inverso rispetto agli Echinodermi ed infatti aumentano a Forte Michelangelo e Banchina 26 mentre presentano un minimo a Banchina Ormeggiatori.

Analizzando inoltre le variazioni per quota batimetrica si osserva che i campioni superficiali sono sempre i più abbondanti sia in numero di specie che per numero di individui.

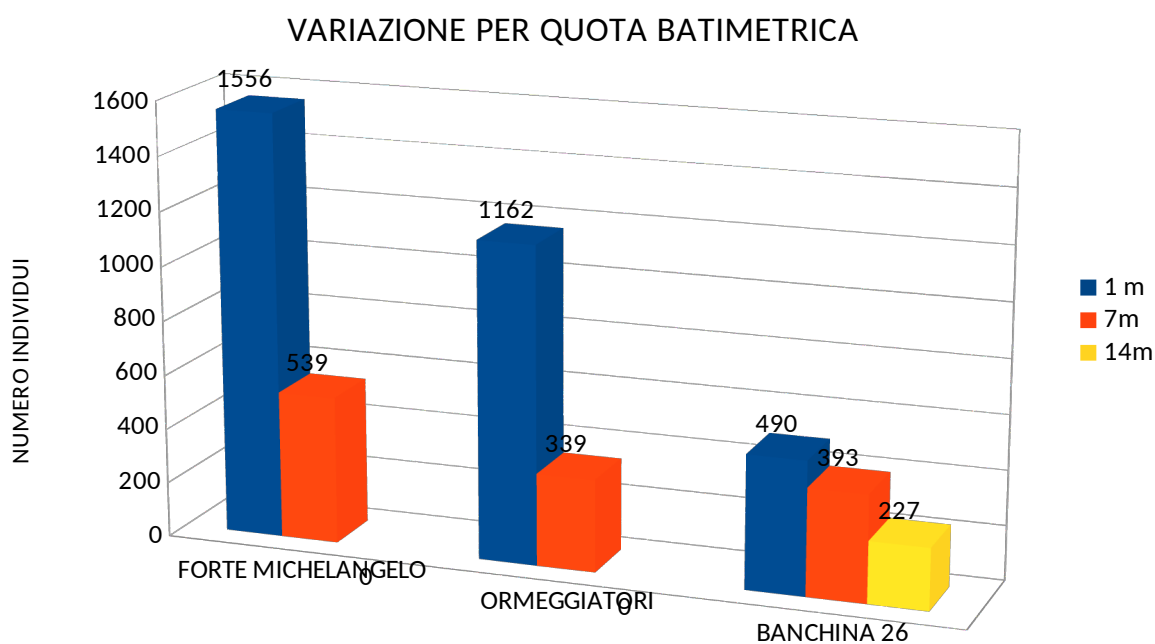


Fig. 30 Variazione delle abbondanze per quota batimetrica

Questo è probabilmente legato alla maggiore presenza, nei substrati superficiali, di bioconcrezioni (Briozoi, Cirripedi e Serpulidi), organismi coloniali (*Amathia verticillata* e Gorgoniacei) e organismi vegetali (alghe fotofile); la presenza di questi organismi sessili aumenta l'eterogeneità del substrato creando nicchie e anfratti che favoriscono la colonizzazione di specie vagili.

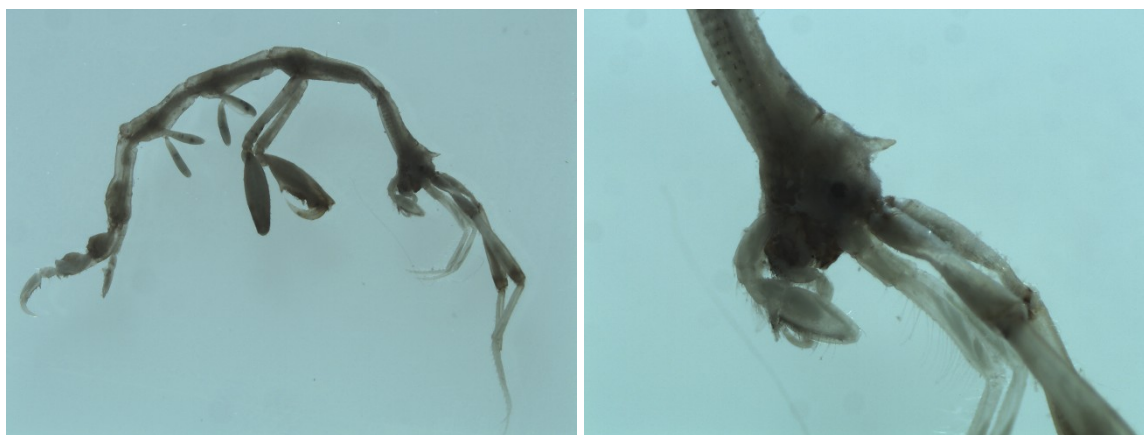
Dalle analisi tassonomiche è emerso il numero delle 10 specie più abbondanti:

Tabella del Pool delle 10 specie più abbondanti

Nome della specie	%
POLICHETI	
<i>Cirratulus cirratus</i> (O.F.Müller, 1776)	3,68
<i>Cirriformia tentaculata</i> (Montagu, 1808)	4,90
<i>Hydroides elegans</i> (Haswell, 1883)	3,56
<i>Hydroides dirampha</i> Mörch, 1863	2,57
ECHINODERMI	
<i>Amphipholis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)	22,83
ANFIPODI	
<i>Elasmopus rapax</i> (Della Valle, 1893)	2,80
<i>Monocorophium acherusicum</i> (Costa, 1853)	2,41
ISOPODI	
<i>Paranthura japonica</i> Richardson, 1909	4,09
MOLLUSCHI	
<i>Gregariella petagnae</i> (Scacchi, 1832)	2,39
<i>Mitrella</i> sp (Risso, 1826)	2,71

Per quanto riguarda l'analisi delle specie aliene, di seguito vengono riportate le specie e le loro caratteristiche principali.

Caprella scaura, Templeton 1836



ORIGINE: Oceano Indiano, Mar Rosso.

PHYLUM: Arthropoda

CLASSE: Malacostraca

ORDINE: Amphipoda

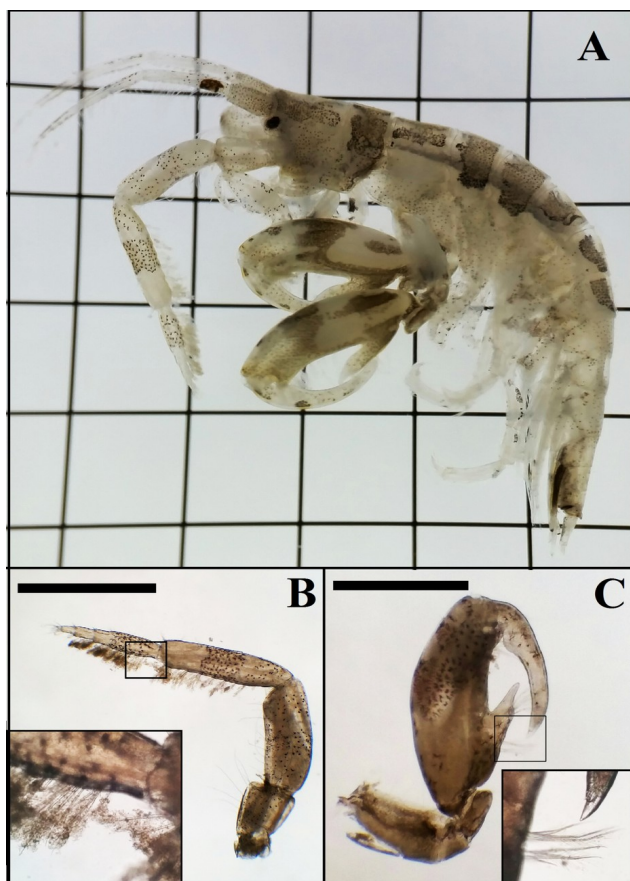
FAMIGLIA: Caprellidae

GENERE: Caprella

SPECIE: *Caprella scaura*

La *Caprella scaura* è un Caprellide filtratore eurialino che mostra una grande varietà morfologica locale e in fase di sviluppo; in Mediterraneo le forme ritrovate sono *Caprella scaura scaura* e *Caprella scaura typica*.

Jassa slatteryi Conlan, 1990



ORIGINE: Oceano Pacifico.

PHYLUM: Arthropoda

CLASSE: Malacostraca

ORDINE: Amphipoda

FAMIGLIA: Ischyroceridae

GENERE: *Jassa*

SPECIE: *Jassa slatteryi*

J. slatteryi è un anfipode criptogenico invasivo segnalato per la prima volta in Italia proprio nel Porto di Civitavecchia. Questo anfipode tubicolo e filtratore è tipico della zona infralitorale ed è stato osservato spesso in relazione con Briozoi incrostanti. La sua capacità di creare tubi di “seta” può provocare una profonda modificazione dei substrati in cui vive.

Paranthura japonica Richardson, 1909**ORIGINE:** Mar del Giappone, Oceano Pacifico**PHYLUM:** Arthropoda**CLASSE:** Malacostraca**ORDINE:** Isopoda**FAMIGLIA:** Paranthuridae**GENERE:** Paranthura**SPECIE:** *Paranthura japonica*

La *Paranthura japonica* è un isopode predatore di policheti e altri invertebrati. Può essere distinta dalle sue tre specie congeneriche europee a causa della parziale fusione dei pleoniti 1-5.

Mesanthura sp. Barnard, 1914



ORIGINE: Incerta (Australia?)

PHYLUM: Arthropoda

CLASSE: Malacostraca

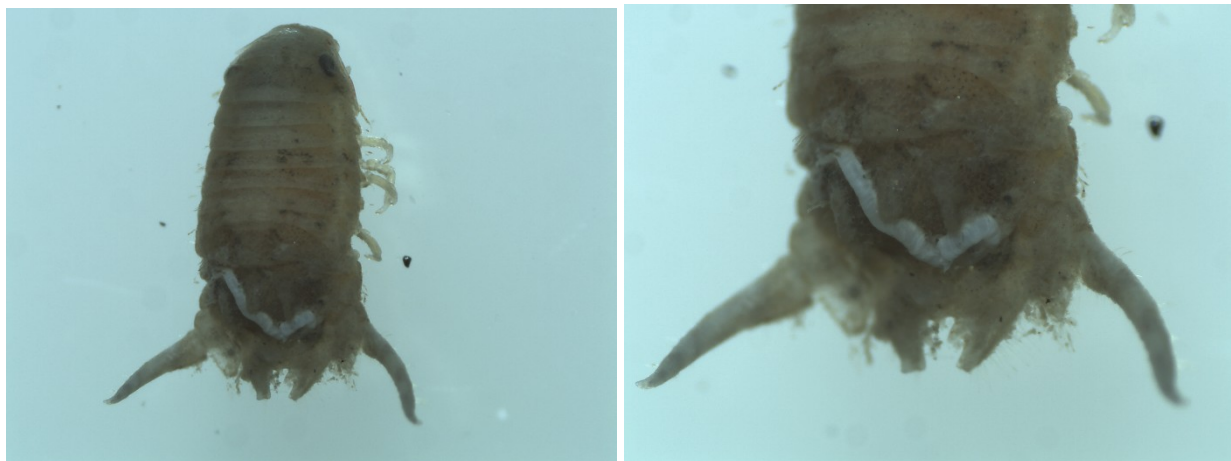
ORDINE: Isopoda

FAMIGLIA: Anthuridae

GENERE: Mesanthura

SPECIE: ?

Questo Isopode è classificato come specie aliena invasiva di provenienza incerta è una specie criptica con collocazione tassonomica incerta; La *Mesanthura sp.* è in espansione in tutto il Mediterraneo e la sua colonizzazione è favorita in aree caratterizzate da basso idrodinamismo (porti e moli) e da forte accumulo di materia organica sul fondo. E' stata osservata in associazione con Briozoi coloniali, Ascidiacei e alghe fotofile dove questo grande predatore è sempre alla ricerca attiva di microprede.

Paracerceis sculpta (Holmes, 1904)**ORIGINE:** Nord-Est dell'Oceano Pacifico**PHYLUM:** Arthropoda**CLASSE:** Malacostraca**ORDINE:** Isopoda**FAMIGLIA:** Sphaeromatidae**GENERE:** Paracerceis**SPECIE:** *Paracerceis sculpta*

La *Paracerceis sculpta* è un isopode della famiglia Sphaeromatidae che presenta una colorazione bruna ed ha una lunghezza media che varia da 1,3 mm ai 10,3 mm. Questa specie presenta un marcato dimorfismo sessuale, infatti il maschio è facilmente riconoscibile dalla femmina perché caratterizzato dalla presenza di due lunghe “code” formate dagli esopoditi molto sviluppati.

***Hydroides dirampha* Mörch, 1863**



ORIGINE: Atlantico occidentale tropicale / Indo-Pacifico

PHYLUM: Annelida

CLASSE: Polychaeta

ORDINE: Sabellida

FAMIGLIA: Serpulidae

GENERE: Hydroides

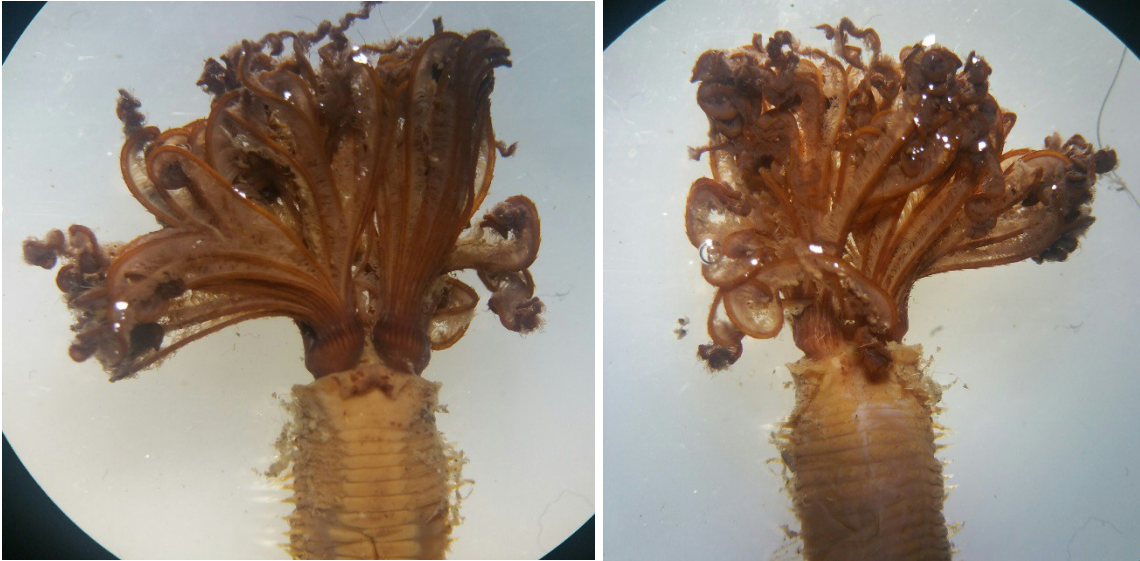
SPECIE: *Hydroides dirampha*

Hydroides dirampha è un Polichete tubicolo della famiglia dei Serpulidae di colore marrone chiaro o giallo pallido che vive all'interno di tubo calcareo bianco con diametro di 1,4 -2,8 mm (può raggiungere i 24 mm di lunghezza). È un filtratore che si ciba di detrito e plancton in sospensione.

È un biocostruttore tipico di ambienti portuali e colonizza spesso i substrati antropici fluttuanti (boe, gavitelli, cime ecc.) anche in mare aperto.

Hydroides elegans (Haswell, 1883)**ORIGINE:** Indo-Pacifico (?)**PHYLUM:** Annelida**CLASSE:** Polychaeta**ORDINE:** Sabellida**FAMIGLIA:** Serpulidae**GENERE:** Hydroides**SPECIE:** *Hydroides elegans*

Hydroides elegans è un Polichete tubicolo della famiglia dei Serpulidae di colore arancione e rosso che può raggiungere i 35mm di lunghezza. È una specie incrostante tipica di ambienti portuali e acque calde spesso confusa con la specie di acque non inquinate *Hydroides norvegica*.

Branchiomma luctuosum, Grube 1870

ORIGINE: Oceano Indiano, Mar Rosso.

PHYLUM: Anellidi

CLASSE: Policheti

ORDINE: Sabellidi

FAMIGLIA: Sabellidae

GENERE: Branchiomma

SPECIE: *Branchiomma luctuosum*

Il *Branchiomma luctuosum* è un polichete della famiglia dei Sabellidae di modeste dimensioni (fino a 9cm) caratterizzato da una vistosa corona branchiale di colore viola o rosso carminio. Questo organismo è caratteristico di substrati rocciosi costieri e spesso viene campionato anche in ambienti portuali, dove colonizza i substrati più superficiali.

Pista unibranchia Day, 1963**ORIGINE:** Oceano Indiano.**PHYLUM:** Anellidi**CLASSE:** Policheti**ORDINE:** Terebellida**FAMIGLIA:** Terebellidae**GENERE:** Branchiomma**SPECIE:** *Pista unibranchia*

Terebellide di piccole dimensione (2-15 mm) originario dell'Oceano Indiano e comune in Indopacifico e Atlantico. E' una specie tipica di fondali fangosi e sabbiosi e produce tubi organogeni da cui estroflette i lunghi tentacoli boccali.

In conclusione a questo studio si può dire che l'analisi delle comunità macrozoobentoniche associate ai substrati duri del Porto di Civitavecchia ha evidenziato la presenza di 9 specie Aliene all'interno del bacino: *Caprella scaura* Templeton, 1836 (Anfipodi); *Jassa slatteryi* Conlan, 1990 (Anfipodi); *Paracerceis sculpta* (Holmes, 1904) (Isopodi); *Paranthura japonica* Richardson, 1909 (Isopodi); *Mesanthura* sp. (Isopodi); *Hydroides elegans* (Haswell, 1883) (Policheti); *Hydroides dirampha* Morch, 1863 (Policheti); *Branchiomma luctuosum* (Grube, 1870) (Policheti); *Pista unibranchia* Day, 1963 (Policheti). Inoltre due nuove specie di Gastropodi sono state raccolte e identificate, *Mytrella psilla* (Duclos, 1846) e *Aplus assimilis* (Reeve, 1846), i dati raccolti su queste specie sono in fase di pubblicazione (prima segnalazione acque italiane).

La fauna aliena (560 individui) contribuisce a circa il 12% della fauna totale (4695 individui) e al 4% della ricchezza specifica (184 specie totali). Le specie più rappresentative sono risultate l'Isopode predatore *Paranthura japonica* (178 ind.) e i Policheti serpulidi *Hydroides elegans* (155 ind.) e *Hydroides dirampha* (122 ind.). Gli organismi alloctoni appaiono equidistribuiti all'interno del bacino portuale e mostrano un leggero aumento nelle abbondanze spostandosi dalle aree più esterne e "recenti" del porto (Banchina 26) alle aree più interne ed "antiche" come Forte Michelangelo.

Da un confronto con dati pregressi, raccolti all'interno del bacino portuale, sono state osservate e descritte diverse interazioni tra le specie aliene e la fauna locale autoctona; gli Isopodi Anthuridei *Paranthura japonica* e *Mesanthura* sp. rappresentano alcune tra le specie più abbondanti in tutte le stazioni analizzate ed hanno espresso un comportamento ecologico fortemente invasivo: queste specie infatti hanno colonizzato non solo le strutture portuali ma anche le limitrofe praterie di *Posidonia oceanica* e i substrati rocciosi localizzati nella zona denominata "La Frasca". La rapida espansione di questi Isopodi è stata probabilmente favorita sia dalle dimensioni sia dalle caratteristiche ecologiche (resistenza all'inquinamento e riproduzione multivoltina) delle specie. E' probabile che negli ultimi anni questi organismi stiano sostituendo rapidamente gli Anthuridi autoctoni comuni nell'area come *Anthura gracilis* e *Apanthura* spp.

Il Caprellide *Caprella scaura* è risultato in rapido aumento e in seguito alla sua recente colonizzazione è stato osservato un decremento demografico nelle popolazioni di specie autoctone come *Caprella equilibra* e *Caprella dilatata*. Inoltre l'Anfipode *Jassa slatteryi*, che gode di alta tolleranza all'inquinamento e alta capacità riproduttiva, ha completamente sostituito la specie congenerica *Jassa marmorata* che fino a pochi anni fa era comune e abbondante nei substrati portuali.

L'Isopode *Paracerceis sculpta* è risultata la specie meno invasiva e non sono state osservate particolari interazioni con gli Isopodi autoctoni come *Sphaeroma serratum* e *Dynamene* spp.. Nel caso di questi crostacei il vettore principale di trasporto è legato al fouling da parte di macroorganismi coloniali come il Briozoo *Amathia verticillata* che è risultato particolarmente abbondante all'interno del bacino portuale soprattutto nella stagione estiva e primaverile.

L'associazione tra il Briozoo coloniale *Amathia verticillata* e i crostacei alieni è stata studiata e descritta in diversi settori del Mediterraneo (Robinson, 2004; McCann et al, 2015; Dailianis et al. 2016); grazie ad una rapida crescita vegetativa e la riproduzione mediante propaguli,

L'*Amathia verticillata*, ha la capacità di colonizzare velocemente ampie porzioni di substrato ed è particolarmente adatta a vivere adesa alle carene delle navi e sui substrati fluttuanti di origine antropica. Proprio queste caratteristiche biologiche fanno sì che questo briozoo coloniale si comporti come vettore per specie aliene invasive, creando un substrato articolato dove questi organismi possono proliferare e trovare protezione dai predatori autoctoni (Marchini et al, 2015).

I policheti alieni sono rappresentati principalmente da forme tubicole sessili, che facilmente viaggiano adese ai substrati di origine antropica nelle loro forme adulte, ma che sono anche facilmente trasportabili all'interno delle acque di zavorra grazie alla loro produzione di un cospicuo numero di larve planctoniche natanti nelle fasi riproduttive.

I Serpulidi *H. elegans* e *H. dirampha* sono risultati particolarmente abbondanti in tutte le aree analizzate con picchi di oltre 100 individui a stazione e il numero di esemplari campionati è risultato di molto maggiore a quello dei Serpulidi autoctoni (*S. concharum* e *S. vermicularis*) raccolti nel bacino. Probabilmente questi Policheti alieni stanno rapidamente sostituendo le specie locali con conseguenti impatti sia sulla struttura della comunità sia sulla morfologia e sulla composizione dei substrati organogeni superficiali.

Non sono state osservate invece interazioni significative tra il Sabellide *Branchiomma luctuosum* e la specie indigena *Sabella spallanzanii*, le cui popolazioni sono risultate stabili e abbondanti negli ultimi anni.

La comunità autoctona appare invece ricca e ben strutturata e rappresentata soprattutto da Policheti (32%), Echinodermi (23%) e Molluschi (18%). I picchi massimi di abbondanza e di ricchezza specifica sono stati registrati nei campioni raccolti ad 1m di profondità; infatti a questa quota batimetrica è stata osservata una maggiore eterogeneità dei substrati e una maggiore abbondanza di specie sessili (animali e vegetali) che contribuiscono a creare nicchie e anfratti che favoriscono la colonizzazione da parte delle specie macrozoobentonica fossorie e vagili. E' da segnalare che le due specie più abbondanti sono risultate i Cirratulidi *Cirratulus cirratus* e *Cirriformia tentaculata*, entrambe specie opportuniste di 2° ordine, che indicano la presenza di forte impatto antropico (inquinamento) sulle comunità bentoniche portuali.

L'analisi delle categorie trofiche mostra chiaramente che i Sospensivori sono il feeding type più abbondante, rappresentativo del 45% della comunità. L'abbondanza di organismi filtratori è probabilmente favorita dall'intenso traffico navale che caratterizza l'intero bacino portuale; infatti il passaggio delle grandi navi comporta una risospensione ciclica del sedimento di fondo soprattutto

nelle aree più esterne del Porto (Banchina 26 e Banchina Ormeggiatori). I Predatori (16,3%) sono la seconda categoria trofica in termini di abbondanza e sono risultati equidistribuiti all'interno del bacino. Le categorie trofiche dei Detritivori (10,70%) e dei Deposit feeders (12,50%) sono risultate anche esse abbondanti soprattutto in aree in cui il minor idrodinamismo e il minor numero di navi in transito favorisce la deposizione dei sedimenti fini (Forte Michelangelo).

In conclusione il bacino portuale di Civitavecchia risulta essere un “hotspot” di specie aliene e nelle sue comunità di fondo duro sono state campionate circa il 40% delle specie alloctone descritte nel Nord Tirreno e tutti i Crostacei alieni osservati finora nel Mar Tirreno. L'intenso traffico navale e il fouling che concreziona le carene delle navi sono probabilmente i due principali veicoli di questa invasione e il monitoraggio continuo delle comunità macrozoobentoniche, nel porto e nei substrati limitrofi, risulta essenziale sia per valutare le interazioni tra queste specie e le comunità autoctone sia per contrastare e bloccare l'espansione di questi organismi all'interno del bacino Mediterraneo.

12. RISULTATI DELLA RICERCA'

I dati raccolti nel corso delle diverse attività di ricerca sono stati oggetto di diversi lavori, che sono stati presentati sia in ambito di congressi nazionali ed internazionali che in pubblicazioni scientifiche referate. Le iscrizioni ai convegni, nonché le pubblicazioni su riviste open access sono state finanziate dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina. I dati raccolti sono stati inoltre oggetto di numerose tesi di laurea triennale, magistrale e di dottorato conseguite presso l'Università degli Studi della Tuscia.

Di seguito si riportano i principali prodotti della ricerca scientifica.

Nappo, A., Strizzi, M.N., Mancini, E., Marcelli, M., 2019. First record of *Mitrella psilla* (Dulcos, 1846) in the Italian waters. *Bollettino della società italiana di Malacologia* (in press).

Cafaro, V., Piazzolla, D., Melchiorri, C., Burgio, C., Fersini, G., Conversano, F., Piermattei, V., & Marcelli, M. (2018). Underwater noise assessment outside harbor areas: The case of Port of Civitavecchia, northern Tyrrhenian Sea, Italy. *Marine pollution bulletin*, 133, 865-871.

Nappo, A., Strizzi, M.N., Mancini, E., Marcelli, M., 2018. Nuova segnalazione di esemplari viventi di *Aplous assimilis* (Reeve, 1846) nel Lazio. *Alleryana* 36 (2): 93 – 95

Paladini de Mendoza, F., Bonamano, S., Martellucci, R., Melchiorri, C., Consalvi, N., Piermattei, V., & Marcelli, M. (2018). Circulation during Storms and Dynamics of Suspended Matter in a Sheltered Coastal Area. *Remote Sensing*, 10(4), 602.

Bonamano S, Madonia A, Piazzolla D, Paladini de Mendoza F, Piermattei V, Scanu S, Marcelli M (2017). Development of a Predictive Tool to Support Environmentally Sustainable Management in Port Basins, *Water*, 9, 898; doi:10.3390/w9110898.

Marcelli M, Piermattei V, Madonia A, Lacava T, Mainardi U (2016). T-FLaP advances: instrumental and operative implementation. *JOURNAL OF OPERATIONAL OCEANOGRAPHY*, 9(sup1), pp:185-192. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1117765.

Zappalà G, Caruso G, Bonamano S, Madonia A, Piermattei V, Martellucci R, Di Cicco A, Pannocchi A, Stefani C, Borsellino C, Marcelli M (2016). A multi-platform approach to marine environment assessment in Civitavecchia (Rome) area. JOURNAL OF OPERATIONAL OCEANOGRAPHY, 9(sup1), pp: 131-143. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1119561.

Bonamano S., Piermattei V., Madonia A., Paladini de Mendoza F., Pierattini A., Martellucci R., Stefani C., Zappalà G., and M. Marcelli. (2016). The Civitavecchia Coastal Environment Monitoring System (C-CEMS): a new tool to analyse the conflicts between coastal pressures and sensitivity areas. OCEAN SCIENCE, PP. 87-100, ISSN: 1812-0784.

Scanu S, Piazzolla D, Manfredi Frattarelli F, Mancini E, Tiralongo F, Brundo MV, Tibullo D, Pecoraro R, Copat C, Ferrante M, Marcelli M. (2016). “Mercury Enrichment in Sediments of the Coastal Area of Northern Latium, Italy”. BULLETIN OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND TOXICOLOGY 03/2016; 96(4) pp: 630-637 doi 10.1007/s00128-016-1776-9.

Marco Marcelli, Simone Bonamano, Filippo Maria Carli, Monica Giovacchini, Alice Madonia, Emanuele Mancini, Chiara Molino, Viviana Piermattei, and Francesco Manfredi Frattarelli, (2016). An integrated approach to manage coastal ecosystems and prevent marine pollution effects, Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-12716,, EGU General Assembly, 2016 Vienna, Austria 17 – 22 April 2016. (Oral Presentation)

Simone Bonamano, Viviana Piermattei, Daniele Piazzolla, Francesco Paladini de Mendoza, Francesco Manfredi Frattarelli, Emanuele Mancini, Selvaggia Cognetti de Martiis, Alice Madonia, Riccardo Martellucci, Chiara Stefani, Alberto Pierattini, Sergio Scanu, and Marco Marcelli, (2016). The role of the contribution of the whole sea energy on pollution distribution and biocenosis quality: a case study in the Northern Tyrrhenian Sea, Italy, Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-15967, 2016, EGU General Assembly, 2016 Vienna, Austria 17 – 22 April 2016. (Poster)

Piazzolla D, Scanu S, Manfredi Frattarelli F, Mancini E, Tiralongo F, Brundo MV, Tibullo D,

Pecoraro R, Copat C, Ferrante M, Marcelli M (2015). Trace-Metal Enrichment and Pollution in coastal Sediments in the Northern Tyrrhenian Sea, Italy, in ARCHIVES OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION TOXICOLOGY, November 2015, Volume 69, Issue 4, pp: 470-481, ISSN 0090-4341, doi 10.1007/s00244-015-0166-3.

Paladini de Mendoza F, Bonamano S, Stella G, Giovacchini M, Capizzi D, Fraticelli F, Muratore S, Burgio C, Scanu S, Peviani MA, Marcelli M (2015). Where is the best site for wave energy exploitation? Case study along the coast of northern Latium (ITALY). J COAST CONSERV. doi 10.1007/s11852-015-0414-8.

Bonamano S, Madonia A, Borsellino C, Stefani C, Caruso G, De Pasquale F, Piermattei V, Zappalà G, Marcelli M (2015). Modeling the dispersion of viable and total Escherichia coli cells in the artificial semi-enclosed bathing area of Santa Marinella (Latium, Italy). MARINE POLLUTION BULLETIN, 2015 Jun 15;95(1):141-154. ISSN: 0025-326X, doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.04.030.

Scanu S, Carli FM, Peviani MA, Piermattei V, Bonamano S, Paladini de Mendoza F, Dampney K, Norris J, Marcelli M (2015). Environmental Monitoring Techniques and Equipment related to the installation and operation of Marine Energy Conversion Systems. In “OCEAN ENERGY: ONGOING RESEARCH IN ITALY”- ENERGIA AMBIENTE E INNOVAZIONE; ENEA DOI: 10.12910/EAI2015-041; pp: 04-15.

Paladini de Mendoza F, Bonamano S, Carli FM, Danelli A, Burgio C, Peviani MA, Marcelli M (2015). Evaluation of wave power by integrating numerical models and measures at the Port of Civitavecchia. Energia ambiente e Innovazione – ENEA DOI: 10.12910/EAI2015-040.

Scanu S, Soetebier S, Piazzolla D, Tiralongo F, Mancini E, Romano N, Marcelli M (2015). Concentrations of As, Cd, Cr, Ni, and Pb in the echinoid *Paracentrotus lividus* on the coast of Civitavecchia, northern Tyrrhenian Sea, Italy. REGIONAL STUDIES IN MARINE SCIENCE 1 7–17. doi: 10.1016/j.rsma.2015.02.001.

Scanu S, Paladini de Mendoza F, Piazzolla D, Marcelli M (2015). Anthropogenic impact on river

basins: temporal evolution of sediment classes and accumulation rates in the northern Tyrrhenian Sea, Italy. OCEANOLOGICAL AND HYDROBIOLOGICAL STUDIES, Volume 44, Issue 1, March 2015. doi: 10.1515/ohst-2015-0000.

Bonamano S, Paladini de Mendoza F, Piermattei V, Martellucci R, Madonia A, Gnisci V, Mancini E, Fersini G, Burgio C, Marcelli M, Zappalà G (2015). Mathematical models supporting the monitoring of Civitavecchia harbour near Rome, COMPUTATIONAL METHODS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS XVII, 59, pp: 443-453.

Marco Marcelli, Filippo M. Carli, Simone Bonamano, Francesco Frattarelli, Emanuele Mancini, Francesco Paladini de Mendoza, Maximo Peviani, Viviana Piermattei (2015). An ecological approach supporting the management of sea-uses and natural capital in marine coastal areas. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU General Assembly, 2015 Vienna, Austria 12 – 17 April 2015. (Oral Presentation)

Marcelli M, Carli FM, Bonamano S, Manfredi Frattarelli F, Mancini E, Paladini de Mendoza F, Piermattei V (2015). “A working tool to support natural capital estimation and decision making in marine coastal areas”. EEF2015 - Ecology at Interface, Rome, 21-25 September 2015. (Oral Presentation)

Zappalà G, Piermattei V, Madonia A, Martellucci R, Bonamano S, Pierattini A, Burgio C, Marcelli M (2014). Assessment of environmental conditions in Civitavecchia (Rome, Italy) harbour. In: WATER POLLUTION XII, TRANSACTION: ECOLOGY AND THE ENVIRONMENT volume 182, Online ISSN: 1743-3541, ISBN: 978-1-84564-776-6, Edited By: C.A. Brebbia. Paper doi: 10.2495/WP140241 4.

Marcelli M, Zappalà G, Piermattei V, (2013). Coastal monitoring: new experiences in central Tyrrhenian Sea. Pg 9-14. Proceedings of the Sixth International Conference on EuroGOOS 4–6 October 2011, Sopot, Poland.

Martellucci R, Bonamano S, Piermattei V, Marcelli M (2013). “An integrated approach to the study

of high temporal variability coastal phenomena: Temporal variability of local diurnal upwelling driven by sea breeze along Civitavecchia coast”. pg 226-231. Proceedings of the Sixth International Conference on EuroGOOS 4–6 October 2011, Sopot, Poland.

Marcelli M., Zappalà G., Caruso G., Piermattei; Bonamano S., Madonia A., Di Cicco A., Martellucci R. (2013). Integrated marine measurements in Civitavecchia, near Rome. In: Computational Methods and Experimental Measurements XVI Edited By: G. M. CARLOMAGNO, University of Naples "Federico II", Italy; C. A. BREBBIA, Wessex Institute of Technology, UK and S. HERNÁNDEZ, University of A Coruña, Spain.

F. Borfecchia, C. Micheli, F. Carli, S. Cognetti De Martis, V. Gnisci, V. Piermattei, A. Belmonte, L. De Cecco, S. Martini, M. Marcelli (2013). Mapping spatial pattern of *Posidonia oceanica* meadow by means of Daedalus ATM airborne sensor in the coastal area of Civitavecchia (central Tyrrhenian sea, Italy). *Remote Sensing*, 5, 4877-4899; doi:10.3390/rs5104877.

Valentina Gnisci, Selvaggia Cognetti, Alessandro Belmonte, Carla Micheli, Flavio Borfecchia, Luigi De Cecco, Sandro Martini, Viviana Piermattei, Marco Marcelli. “Biomass trend of *Posidonia oceanica* (L) Delile recorded along the central Tyrrhenian sea”, Agosto 2013, 18-19 ottobre 2013, Gruppo di Algologia, Venezia.

M. Marcelli, G. Zappalà, S. Bonamano, A. Madonia, G. Caruso, (2012). Microbiological risk assessment in a coastal marine environment through the use of mathematical models. In: WIT Transactions on Ecology and the Environment. SOUTHAMPTON:WIT Press Southampton, pp. 3-4, ISSN: 1746-448X.

13. CONCLUSIONI

Il progetto di ricerca sviluppato e realizzato in questi anni ha permesso di acquisire una serie di dati fondamentali alla comprensione delle dinamiche dell'ecosistema marino nell'area costiera oggetto di studio.

Questo studio nel tempo è stato adattato alle nuove esigenze normative attraverso il recepimento delle nuove Direttive ambientali e l'integrazione di diverse attività, quali lo studio degli elementi di qualità dello stato ecologico e chimico, nonché lo studio delle specie aliene e del rumore sottomarino; tutto questo ha avuto come obiettivo quello di raccogliere dati integrati che dessero informazioni sempre più dettagliate e standardizzate con le richieste della comunità scientifica e delle Istituzioni.

Il progetto e le attività effettuate in questi anni rappresentano un punto di partenza per la prosecuzione delle attività di ricerca del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina, al fine di studiare a lungo termine l'interazione tra usi, cambiamenti climatici ed ecosistemi marini costieri.