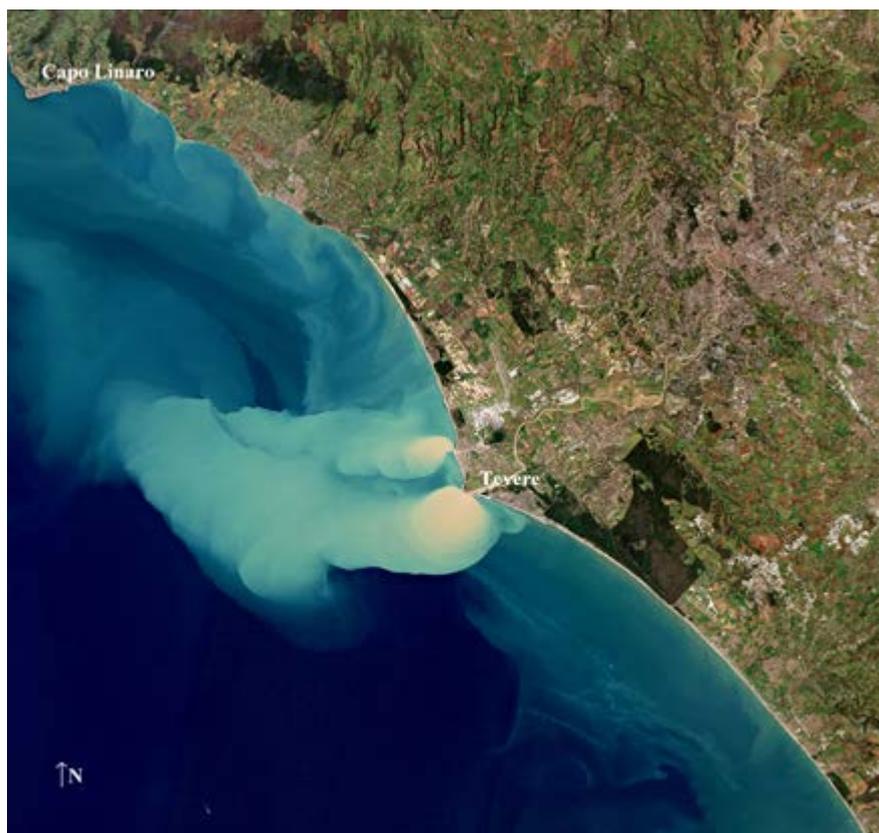


**PROGETTO DI RICERCA:
CARATTERIZZAZIONE MORFODINAMICA E DI TRASPORTO
SOLIDO, IDRODINAMICA ED ECOLOGICA DELL'UNITA'
FISIOGRAFICA CAPO LINARO CAPO D'ANZIO
Programma Esecutivo di Monitoraggio**



Indice

1. INTRODUZIONE	6
2. AREA DI STUDIO	12
3. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI	16
4. ARCHITETTURA DEL PROGETTO E STRATEGIA DEL PIANO DI CAMPIONAMENTO.....	30
5. RACCOLTA DATI PREGRESSI E PREDISPOSIZIONE GIS, INTEGRAZIONE DEI DATI ACQUISITI NELLA PIATTAFORMA GIS	44
5.1. Raccolta dati disponibili all'interno dell'U.F. per la redazione del nuovo piano di monitoraggio.....	44
5.2. Predisposizione GIS	44
5.3. Integrazione dati nella piattaforma GIS.....	45
5.4. Dati di input per i modelli numerici	45
5.4.1. Analisi delle condizioni al contorno (batimetria, apporti fluviali e campo di vento).....	45
5.4.2. Analisi dati Copernicus service	47
6. OCEANOGRAFIA SPERIMENTALE.....	48
6.1. Analisi del clima ondoso e delle correnti marine	48
6.1.1. Misure di onde e correnti con Radar X-Band.....	49
6.1.2. Misure di onde con boa fissa low-cost	57



6.1.3. Misure di onde e correnti con ADCP fisso.....	59
6.1.4. Misure di correnti con ADCP da imbarcazione.....	62
6.1.5. Campagne correntometriche con traccianti lagrangiani	65
6.2. Campagne di misura colonna d'acqua	68
6.2.1. Misure con metodi tradizionali.....	69
6.2.2. Studio dello stato trofico delle acque	74
6.2.3. Stazioni di monitoraggio fissa e ripetuta della torbidità.....	75
6.2.4. Integrazione delle misure con metodi innovativi autonomi	77
6.3. Studio della distribuzione del solido sospeso, della biomassa fitoplanctonica e della CDOM lungo l'unità fisiografica attraverso osservazioni satellitari	80
7. STUDIO DELLA SPIAGGIA SOMMERSA, EMERSA E DEL RATEO DEPOSIZIONALE.....	83
7.1. Caratterizzazione della spiaggia sommersa.....	83
7.1.1. Profili spiaggia sommersa area di Fiumicino	83
7.1.2. Profili della spiaggia sommersa lungo l'area estesa	84
7.1.3. Campionamenti della spiaggia sommersa	86
7.1.4. Campionamenti del sedimento per granulometrie in corrispondenza delle stazioni di benthos	86
7.1.5. Campagne batimetriche multibeam area portuale	90
7.2. Caratterizzazione della spiaggia emersa.....	90
7.2.1. Profili della spiaggia emersa.....	90
7.2.2. Campionamenti della spiaggia emersa	91



7.3. Studio del rateo di sedimentazione	92
7.4. Analisi dei sedimenti funzionale alle attività di dragaggio	94
8. CARATTERIZZAZIONE DEI PRINCIPALI CORSI D'ACQUA RILEVANTI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DEGLI INPUT FLUVIALI.....	101
8.1. Misure di alveo in prossimità della foce.....	107
8.2. Analisi degli apporti liquidi e solidi dei principali corsi d'acqua	107
9. STUDIO DEL COMPARTO BIOTICO	109
9.1. Analisi del Benthos di fondo mobile	110
9.2. Analisi del Benthos di fondo mobile nell'area portuale.....	112
9.3. Analisi del Benthos di fondo duro.....	115
9.4. Analisi della <i>Posidonia oceanica</i>	116
9.5. Analisi delle variazioni quali-quantitative del pescato delle Marinerie locali ..	119
10. MARINE STRATEGY FRAMEWORK DIRECTIVE	121
11. MODELLI NUMERICI APPLICATI ALLO STUDIO DEI POTENZIALI IMPATTI SUGLI ECOSISTEMI MARINI E SULLA DINAMICA SEDIMENTARIA	123
11.1. Downscaling con modelli a scala regionale	125
11.2. Predisposizione dei modelli a scala di unità fisiografica.....	125
11.3. Integrazione dei modelli nel Tevere	126
11.4. Predisposizione dei modelli operativi e catena operativa.....	127
11.5. Simulazioni con modelli idrodinamici e di trasporto solido al fine di definire il corretto posizionamento delle stazioni di campionamento e misura.....	128



11.6. Validazione dei modelli idrodinamici (onde e correnti) e di trasporto solido con i dati di raccolti in situ	131
11.7. Modello operativo: simulazioni del trasporto solido per la valutazione delle zone soggette ad erosione e sedimentazione	134
11.8. Modello operativo: simulazioni del materiale dragato per la valutazione dei potenziali effetti indotti sull'ecosistema marino	135
11.9. Predisposizione e simulazioni attraverso il modello di oil slick ed il modello di dispersione dei batteri.....	136
12. STUDIO DELLA VARIAZIONE DELLA LINEA DI RIVA A BREVE E A LUNGO TERMINE	139
12.1. Analisi storica della linea di riva e ricostruzione dei profili della spiaggia sommersa	140
12.2. Predisposizione e simulazioni attraverso il modello per l'analisi dell'evoluzione della linea di riva e della spiaggia sommersa ed emersa	141
13. OPERE DI MITIGAZIONE.....	144
14. ANALISI DELL'IMPATTO DOVUTO ALLO SPOSTAMENTO DELLA SEALINE.....	146
15. ANALISI DATI E REPORTING.....	147
16. TABELLA RIASSUNTIVA DELLE ATTIVITA'	149
17. ALLEGATI	151
BIBLIOGRAFIA	152



1. INTRODUZIONE

Il presente documento 'Progetto di ricerca: Caratterizzazione morfodinamica e di trasporto solido, idrodinamica ed ecologica dell'unità fisiografica Capo Linaro Capo d'Anzio - Programma Esecutivo di Monitoraggio' costituisce uno dei prodotti dell'attività di ricerca previsti dal Progetto 'Predisposizione delle attività di indagine per la realizzazione dello stralcio del I° Lotto Funzionale del Nuovo Porto commerciale di Fiumicino'.

Il presente progetto si inquadra in un ampio sistema di osservazione, monitoraggio ed analisi dell'ambiente marino che risponde all'esigenza di armonizzare la salvaguardia degli ecosistemi marini con una corretta gestione e sviluppo degli usi delle aree costiere. La risposta dei sistemi naturali alle variazioni generate da specifici interventi sulla costa si sovrappongono alle variazioni indotte dai trend climatici e dalle modifiche territoriali (uso del suolo, interventi sugli alvei, industrie) che avvengono nei bacini afferenti generando una sovrapposizione di effetti che modulano l'evoluzione del tratto di mare ricevente e delle coste a differenti scale spaziali e temporali.

Il focus di questo progetto è quello di studiare le eventuali variazioni indotte dalla costruzione delle opere sul comparto morfodinamico, di trasporto solido e sul comparto biotico, tenendo conto delle variazioni già in atto nell'area oggetto di studio.

Per poter analizzare un sistema così complesso e separare il più correttamente possibile le variazioni indotte da un'opera rispetto all'evoluzione del sistema stesso è quindi fondamentale conoscere le caratteristiche fisiche e dinamiche dell'area oggetto di studio e l'attuale stato ambientale, attraverso anche un'approfondita analisi dei principali impatti e delle pressioni che influiscono sull'intera area e gli habitat presenti.

Questo progetto si pone l'obiettivo di studiare le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dell'area compresa tra Capo Linaro e Capo d'Anzio, attraverso uno studio multidisciplinare che prevede l'integrazione di dati osservativi e modellistica numerica e



di supportare lo sviluppo delle opere e la loro integrazione nell'area supportando la progettualità di interventi di prevenzione e mitigazione.

Le attività del progetto verranno svolte dalla Divisione OPA del CMCC, con il supporto scientifico e la partecipazione alle attività di ricerca di altri Enti e Istituti, quali: Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (LOSEM) Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche dell'Università degli Studi della Tuscia, Scripps Institution of Oceanography UC San Diego, CNR-IAS (Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino), Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Scienze dell'Università di Roma 3.

L'area è dominata dalla presenza del fiume Tevere che, essendo il principale corso d'acqua dell'Italia centrale, influenza in maniera significativa il bilancio sedimentario nell'area e la distribuzione delle biocenosi. La stessa area sarà interessata da una serie di attività legate alla realizzazione delle infrastrutture portuali connesse al 'Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino - I Lotto Funzionale'. Le opere previste saranno realizzate in fasi differenti e le attività descritte nel presente progetto saranno funzionali alla realizzazione del I Stralcio del I Lotto Funzionale.

Le opere ascritte al I Stralcio del I Lotto funzionale prevedono la realizzazione della Darsena pescherecci (Figura 1a), protetta da opere foranee in parte conformi al I Lotto ed in parte riutilizzabili nel II Stralcio e che rispetto all'intera opera prevista rappresentano una porzione molto limitata (Figura 1b).

Si tratta di un'infrastruttura dedicata alla flotta peschereccia di Fiumicino che costituirà il nucleo del I Lotto con 620 m di diga foranea di sopraflutto, 430 m di sottoflutto e 855 metri di banchine a servizio del naviglio con un bacino protetto di 80000 mq. La realizzazione del progetto comporterà un dragaggio di circa 125.000 m³, di cui 37.870 m³ per la realizzazione dell'approfondimento alla -6 s.l.m.m, 60.001 m³ per la realizzazione

della Diga di Sopraflutto e della Banchina Sud, 28.070 m³ per la realizzazione della Diga di Sottoflutto e la Banchina Nord.



Figura 1a. Progetto I Stralcio del I Lotto Funzionale del Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino

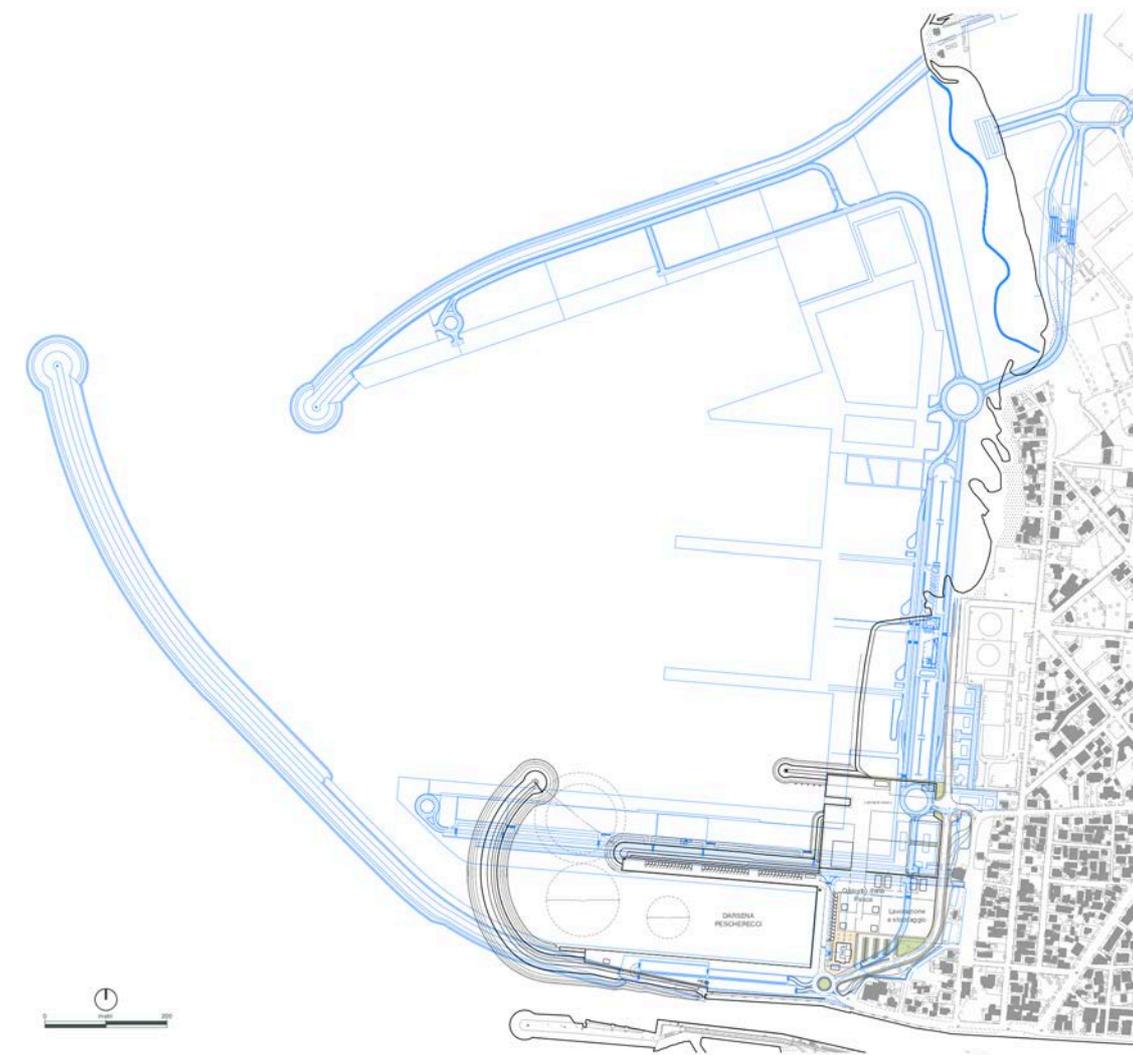


Figura 1b. Progetto del Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino I e II Lotto

Il progetto deve ottemperare a due principali requisiti: rispondere alle prescrizioni del Decreto di Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.) n. 7 del 16.02.2010 e integrare le differenti attività legate allo studio dettagliato dell'ecosistema marino costiero nell'area oggetto delle prescrizioni.



Tiene conto delle osservazioni ISPRA di marzo 2015 (Osservazioni al documento "Nuovo porto commerciale di Fiumicino. progetto di monitoraggio dei comparti biotico, morfodinamico e di trasporto solido lungo l'unità fisiografica Capo Linaro - Capo d'Anzio" (rev. 1 del 7/2014).

Tiene conto inoltre delle considerazioni tecniche contenute nel documento ISPRA del 30.10.2020 'Relazione di sintesi delle risposte alle condizioni ambientali del Decreto 2010-00000007 del 16 febbraio 2010 e Considerazioni tecniche – Elementi per la stesura della bozza id relazione istruttoria per la verifica di ottemperanza'.

Al fine quindi di redigere questo progetto, che rappresenta il Programma Esecutivo di Monitoraggio, in modo da analizzare l'evoluzione dell'ambiente marino nelle aree potenzialmente impattate, è stato predisposto un progetto preliminare, Fase 0 'Predisposizione delle attività di indagine per la realizzazione dello stralcio del I° Lotto Funzionale del Nuovo Porto commerciale di Fiumicino', che include attività di campo e indagini a scala di Unità Fisiografica funzionali anche alla validazione dei modelli numerici di simulazione per la realizzazione di scenari utili alla definizione delle attività di caratterizzazione e di monitoraggio delle Fasi 1 - Ante Operam, 2 - Cantiere e 3 - Post Operam. Le suddette attività sono state avviate a marzo 2020 e sono terminate a marzo del 2021.

A supporto del presente documento vengono allegati una serie di Allegati che riportano sia le descrizioni dettagliate di attività implementate all'interno del Programma Esecutivo di Monitoraggio che le Relazioni sulla base delle quali sono state elaborate le attività proposte. Di seguito l'elenco degli Allegati:

- Allegato 1 Descrizione dei modelli: in questa relazione vengono descritti i modelli numerici che saranno messi in campo durante tutte le Fasi del progetto;
- Allegato 2 Riassunto Relazioni Pregresse: in questo allegato vengono riportate brevemente le risultanze di alcune relazioni pregresse contenenti dati e informazioni utili al progetto;

- Allegato 3 Relazione ‘Predisposizione delle attività di indagine per la realizzazione dello stralcio del I° Lotto Funzionale del Nuovo Porto commerciale di Fiumicino - Relazione di Avanzamento attività art. 4.1.4 Convenzione Operativa n.1 PRP Fiumicino’: la presente relazione riporta la raccolta bibliografica sulle diverse matrici oggetto di studio, utile ad avere un punto di partenza con cui confrontare i dati acquisiti durante il progetto;
- Allegato 4 Relazione ‘Predisposizione delle attività di indagine per la realizzazione dello stralcio del I° Lotto Funzionale del Nuovo Porto commerciale di Fiumicino - Relazione di Avanzamento attività art. 4.1.3 Convenzione Operativa n.1 PRP Fiumicino’: la presente relazione contiene i dati acquisiti durante la Fase 0, nonché la modellistica numerica messa in campo per la valutazione dei potenziali impatti delle opere previste dal I stralcio del I lotto funzionale del nuovo porto di Fiumicino e per la redazione del presente Programma Esecutivo di Monitoraggio, attuate a partire da agosto 2020 e terminate a marzo 2021;
- Allegato 5 Osservazioni ISPRA marzo 2015 (Osservazioni al documento "Nuovo porto commerciale di Fiumicino. progetto di monitoraggio dei comparti biotico, morfodinamico e di trasporto solido lungo l'unità fisiografica Capo Linaro - Capo d'Anzio" (rev. 1 del 7/2014);
- Allegato 6 Documento ISPRA del 30.10.2020 ‘Relazione di sintesi delle risposte alle condizioni ambientali del Decreto 2010-00000007 del 16 febbraio 2010 e Considerazioni tecniche – Elementi per la stesura della bozza di relazione istruttoria per la verifica di ottemperanza’.

2. AREA DI STUDIO

L'area di studio comprende un tratto di costa lungo circa 100 km e si estende da Capo Linario a Nord e Capo Anzio a Sud, che costituiscono gli estremi dell'Unità Fisiografica.

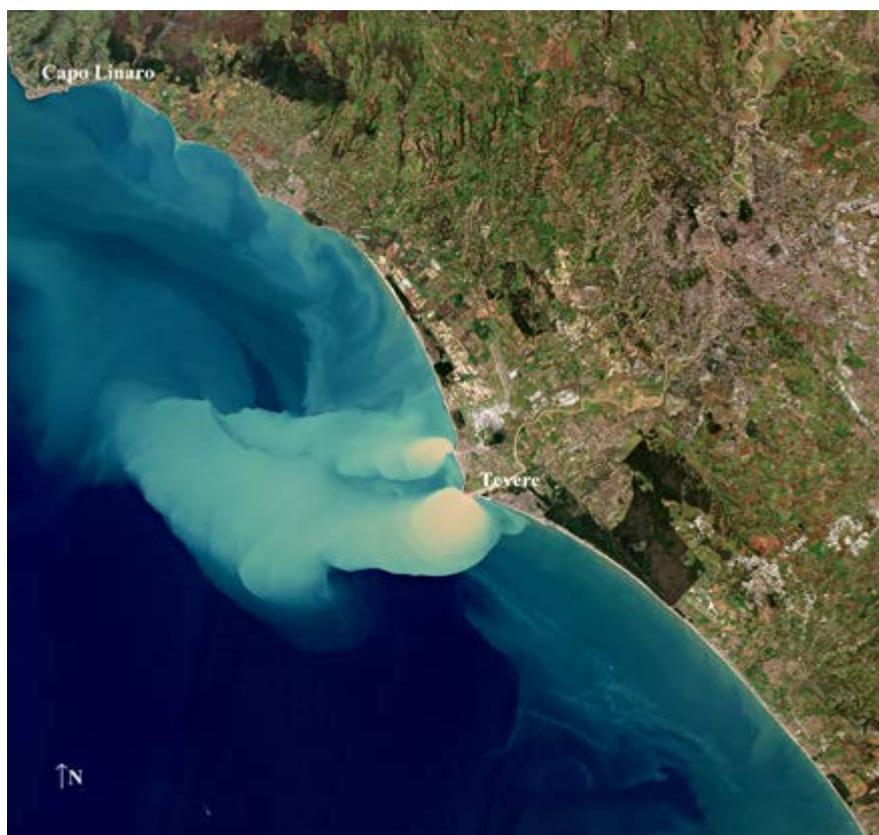


Figura 2. Plume del Tevere (Copernicus Sentinel) del giorno 25/02/2019

Al centro dell'unità di questo tratto di costa è presente la cuspide deltizia del Tevere che, con una lunghezza di 405 km e un bacino idrografico di 17375 km², rappresenta il principale corso d'acqua dell'Italia centrale.

La presenza del fiume Tevere condiziona con il suo apporto di sedimenti (Figura 2) la natura dei fondali e la morfologia e sedimentologia dei litorali presenti lungo la costa che sono costituiti principalmente da depositi sabbiosi ad eccezione delle porzioni a nord e sud in prossimità dei due capi dove si ritrovano coste di natura rocciosa e ciottolosa.

Dalla analisi dei morfotipi costieri (Figura 3) si evince come il morfotipo costiero dominante sia infatti quello di pianura alluvionale. Oltre al fiume Tevere, lungo l'area di studio sono presenti 13 bacini idrografici minori che presentano un regime torrentizio la cui portata è condizionata principalmente dal regime pluviometrico.

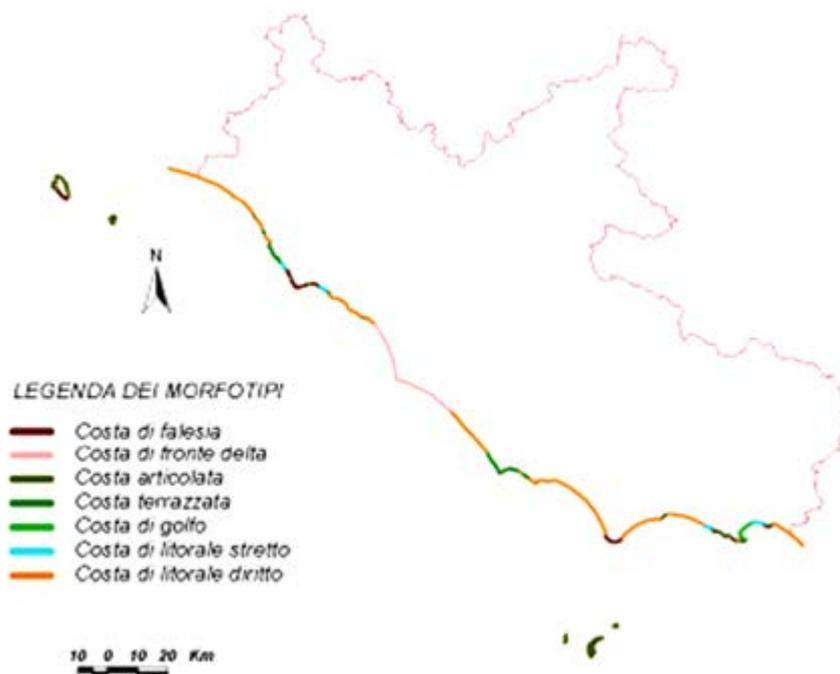


Figura 3. Morfotipi presenti nel Lazio (Ferretti et Al. 2003)



I fondali costieri (0 – 50 m) prospicienti la costa oggetto di studio presentano una pendenza che varia tra lo 0.4 % e il 2 % e si presentano per lo più con un andamento morfologico che riflette l'andamento della linea di costa ad eccezione di alcune aree (soprattutto nel settore a nord del Tevere) dove sono presenti degli affioramenti rocciosi che costituiscono delle secche di importante valore ecologico.

In particolare, procedendo da nord verso sud si incontrano dapprima le Secche di Macchia Tonda, dinanzi l'omonima riserva naturale, a nord del centro abitato di Cerenova; successivamente si incontrano le Secche di Flavia a largo del centro abitato di Ladispoli, le Secche di Palo a largo di Palidoro.

A sud della foce del Tevere, un'area di particolare rilevanza ecologica è costituita dall'Area Marina Protetta delle Secche di Tor Paterno che, situata ad una distanza tra le 4 e le 7 miglia dalla costa, di fronte alla tenuta presidenziale di Castelporziano, è caratterizzata dall'essere completamente sommersa con un fondale che varia dai 18 ai 60 m.

In generale l'area costiera e deltizia presentano un'alta antropizzazione con conseguente perdita dei tratti caratteristici di spiaggia, con particolare riferimento alle strutture dunali ed alle linee di riva interessate da opere di protezione dall'erosione. Stante la perdita di naturalità dell'area costiera portuale e peri-portuale, a livello preliminare sono state individuate quattro zone rappresentative tre in corrispondenza di aree costiere naturali: a nord Furbara e Passo Scuro, Castel Porziano a sud della foce del Tevere, una in corrispondenza della spiaggia di Fregene che, sebbene presenti un retrospiaggia fortemente antropizzato, costituisce un'area molto sensibile dal punto di vista della dinamica litoranea e dell'uso turistico; inoltre verranno analizzate l'area in prossimità del delta del fiume Tevere e le chiusure, a nord e a sud dell'unità fisiografica. Tali aree sono state successivamente utilizzate, come aree campione dove analizzare le eventuali variazioni ecologiche e geomorfologiche che potrebbero essere generate dalla

realizzazione delle nuove opere della Darsena Pescherecci a Fiumicino; mentre tutte le informazioni utili ai fini dell'analisi del campo idrodinamico e della dispersione delle particelle fini e necessarie alla calibrazione dei modelli numerici saranno analizzate a scala di Unità fisiografica.

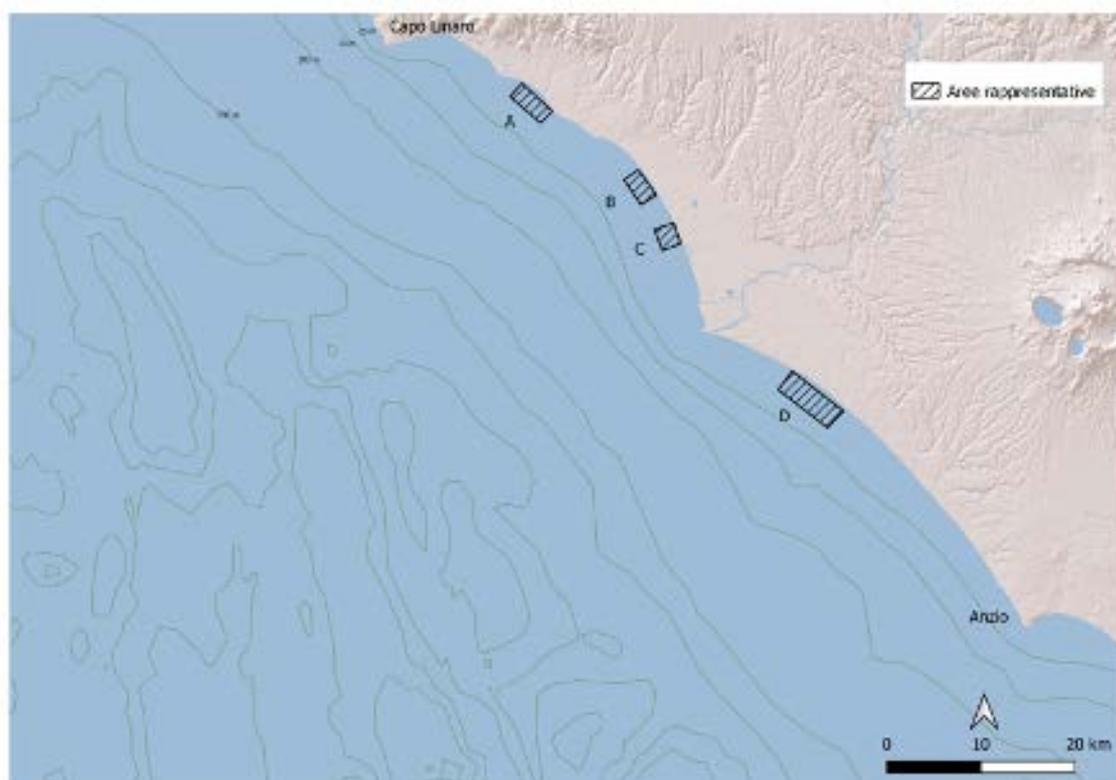


Figura 4. Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio: aree costiere rappresentative presso Furbara (A), Passo Scuro (B), Fregene (C), Castel Porziano (D)

3. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI

Al fine di ottimizzare le attività di ricerca e monitoraggio messe in campo è stata fatta una valutazione dei potenziali impatti dovuti alla realizzazione delle nuove infrastrutture portuali sia sulle comunità bentoniche presenti nell'unità fisiografica che sulle aree costiere. I risultati della modellistica numerica, ottenuti nella Fase 0 (Predisposizione delle attività di indagine per la realizzazione dello stralcio del I° Lotto Funzionale del Nuovo Porto commerciale di Fiumicino), sono stati sovrapposti alla carta delle biocenosi bentoniche, in modo da localizzare le aree potenzialmente impattate. Questi risultati hanno consentito di costruire per tutte le matrici considerate i relativi piani di campionamento, come riportato nei successivi capitoli.

Sono stati analizzati i risultati dei modelli numerici che hanno consentito di simulare i diversi processi in assenza e presenza delle opere, nonché di studiare la differenza tra gli input naturali e antropici. A tal fine è stato considerato l'apporto di sedimento e torbida generato dal dragaggio in rapporto al principale apporto continentale rappresentato dal fiume Tevere.

Sono stati considerati quindi i seguenti scenari, come riportato nelle successive Figure, che vedono i risultati della modellistica sovrapposti alle mappe delle biocenosi bentoniche:

- Scenario della deposizione delle particelle generate dal dragaggio durante il periodo invernale;
- Scenario della deposizione delle particelle generate dal dragaggio durante il periodo autunnale;
- Scenario delle particelle in sospensione generate dal dragaggio durante il periodo invernale;
- Scenario delle particelle in sospensione generate dal dragaggio durante il periodo autunnale;



- Scenario della deposizione delle particelle generate dal fiume Tevere durante il periodo invernale;
- Scenario della deposizione delle particelle generate dal fiume Tevere durante il periodo autunnale;
- Scenario delle particelle in sospensione generate fiume Tevere durante il periodo invernale;
- Scenario delle particelle in sospensione generate fiume Tevere durante il periodo invernale;
- Contributo potenziale del dragaggio rispetto al fiume Tevere in termini di deposizione;
- Contributo potenziale del dragaggio rispetto al fiume Tevere in termini di solido in sospensione;
- Variazioni morfologiche indotte dall'opera.

Considerazioni generali

La frazione del materiale dragato generato dalle operazioni di dragaggio durante le due stagioni considerate (autunno, inverno), tende a disperdersi per l'elevata dinamica costiera prevalentemente in direzione Nord e verso il largo.

Anche il materiale che precipita nelle aree costiere è destinato a seguito delle mareggiate, a risospendere e a depositarsi più a largo. In ogni caso, il materiale in sospensione e quello che precipita potrebbero avere potenzialmente un lieve impatto sulle biocenosi bentoniche, interessando prevalentemente le zone di deposizione a minore energia fino all'altezza di Macchiatonda.

Il materiale in sospensione transita fino all'altezza di Capo Linaro e può interessare prevalentemente le biocenosi a *Posidonia oceanica*.

Al fine di interpretare i risultati relativi al potenziale impatto del dragaggio in rapporto agli apporti di materiale provenienti dal Tevere, è stato calcolato il rapporto fra i sedimenti provenienti dal dragaggio e quelli provenienti dal Tevere della medesima granulometria,

sia nella condizione di sospensione che di deposizione, cumulando gli apporti dovuti al dragaggio in una sola rappresentazione grafica.

Considerazioni di dettaglio

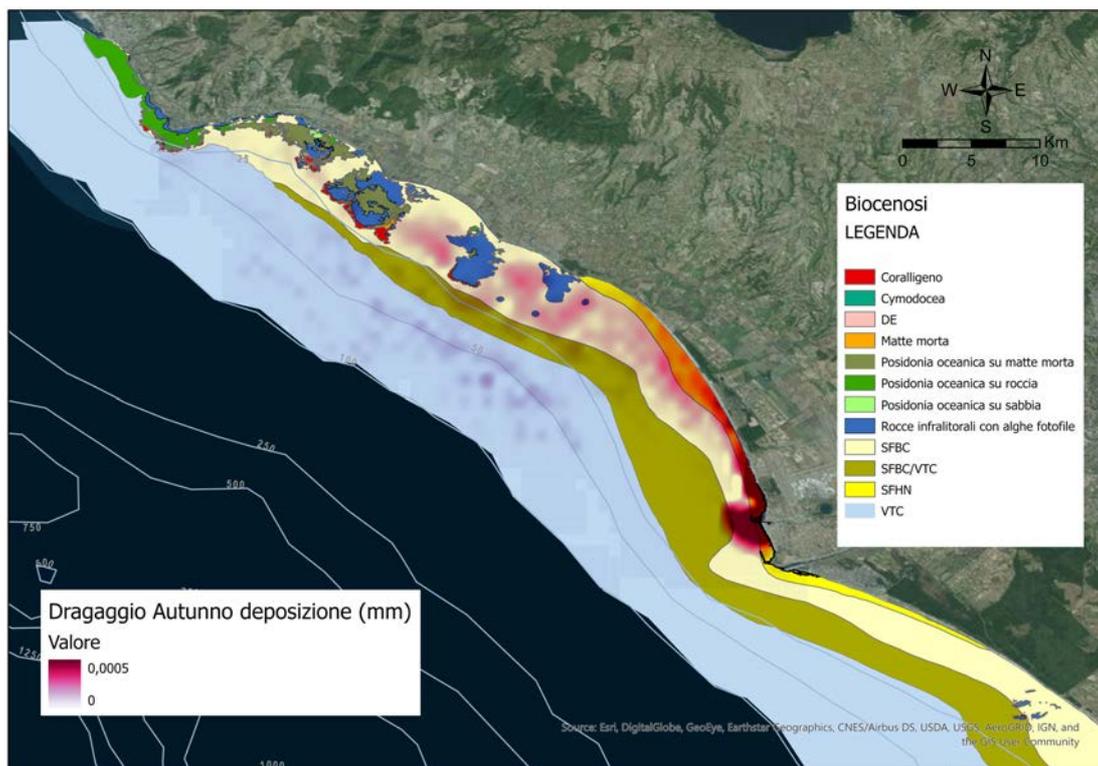


Figura 5 Simulazione della deposizione del materiale dragato sulle biocenosi bentoniche nel periodo autunnale

La maggior parte del materiale proveniente dal dragaggio si deposita nell'area limitrofa all'area del dragaggio, accumulandosi prevalentemente nell'area fra il Porto della Concordia e Focene. Altre aree di deposizione si trovano all'altezza del litorale di Fregene e, di minore rilevanza, nelle aree a largo di Marina di S. Nicola, fra Palo Laziale e Torre

Flavia, a ridosso Nord delle Secche di Torre Flavia. Si nota una leggerissima distribuzione fra Furbara e Capo Linaro. A Sud si nota una lievissima deposizione di materiale fino al limite meridionale della Riserva di Castel Porziano. In ogni caso la deposizione del materiale dovuta al dragaggio è dell'ordine di massimo 0.5mm, come riportato nella *scale bar* della Figura 5.

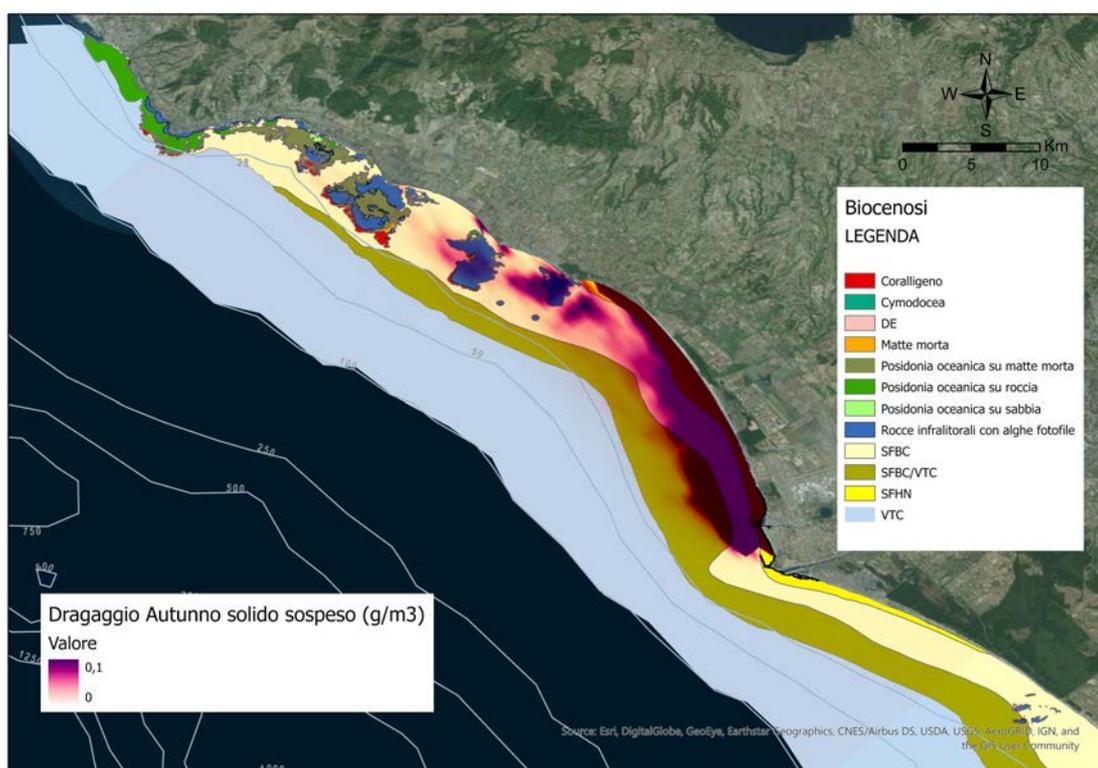


Figura 6 Simulazione del solido in sospensione generato dal materiale dragato sulle biocenosi bentoniche nel periodo autunnale

La figura 6 fotografa la situazione del particolato in sospensione al termine delle operazioni di dragaggio. Tutto il trasporto è diretto verso Nord e, in funzione delle

caratteristiche della dinamica litoranea, una frazione delle particelle si allontana dalla costa e transita sopra le biocenosi presenti a Palo Laziale, Torre Flavia e Macchiatonda, andando a interessare le biocenosi entro la batimetrica dei 25 m fino all'altezza di Capo Linaro. Come si vede dalla figura il particolato in sospensione raggiunge un ordine di grandezza massimo di 0.0008 kg/m³ (0.8 mg/l).

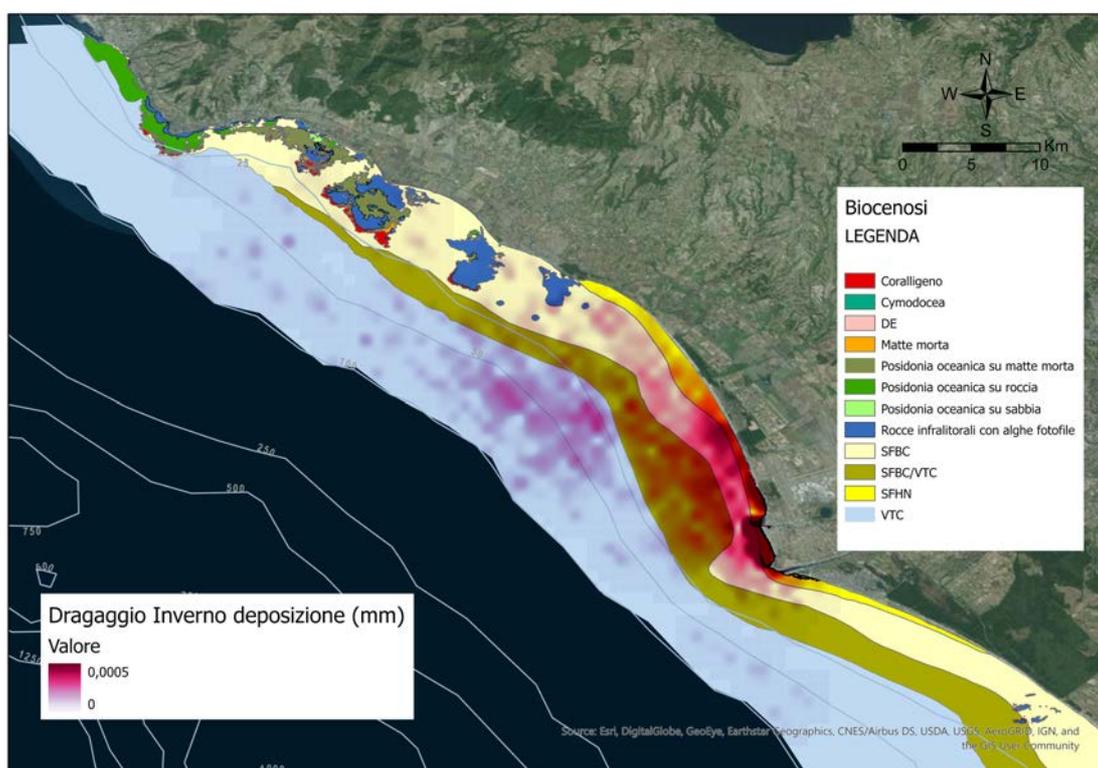


Figura 7 Simulazione della deposizione del materiale dragato sulle biocenosi bentoniche nel periodo invernale

Nello scenario invernale, il particolato originato dalle operazioni di dragaggio si disperde su un'area maggiore andandosi a depositare fino alla batimetrica dei 100m. Al termine della simulazione si possono vedere due aree principali di accumulo: una costiera, che

interessa il tratto di litorale fino alla batimetrica dei 25m, che va dalla foce del Tevere fino a Palo Laziale; un'altra fra la batimetrica dei 25m e quella dei 100m, a largo dell'area compresa fra Fregene e Passoscuro. Aree con minore deposizione sono a ridosso delle biocenosi presenti a Torre Flavia e Macchiatonda.

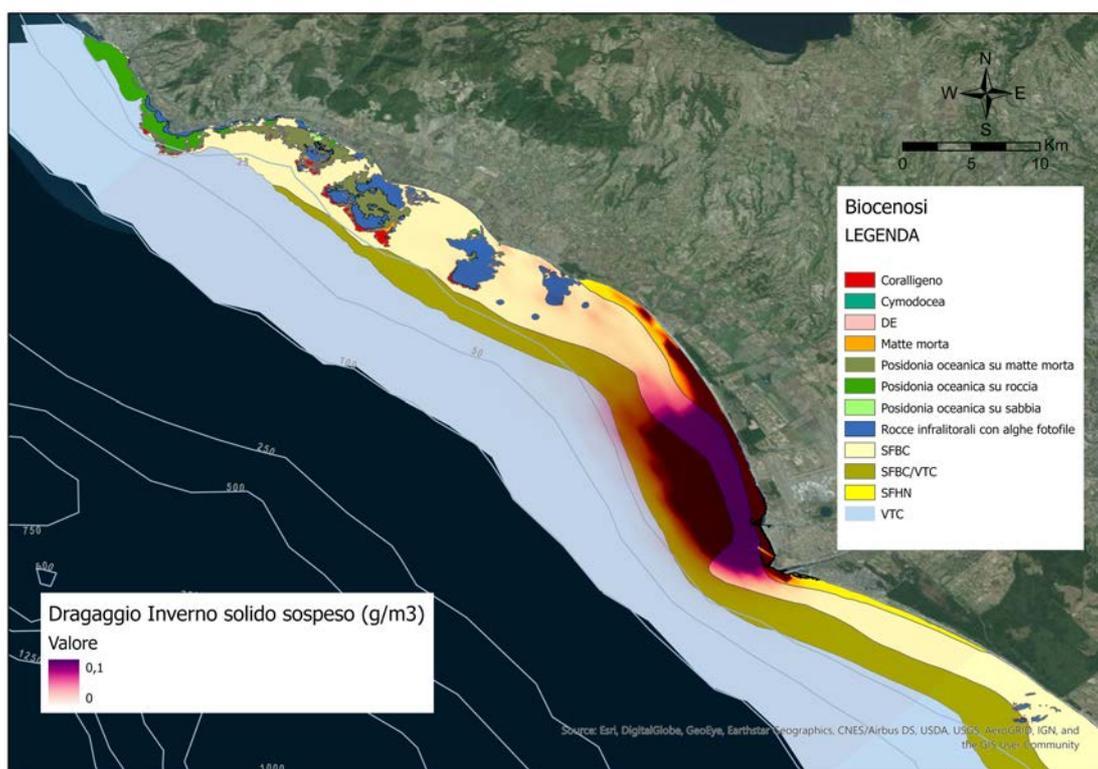


Figura 8 Simulazione del solido in sospensione generato dal materiale dragato sulle biocenosi bentoniche nel periodo invernale

La figura 8 fotografa la situazione del particolato in sospensione al termine delle operazioni di dragaggio del periodo invernale, con concentrazioni molto elevate nelle zone limitrofe al dragaggio fino alla batimetrica dei 25m, e concentrazioni che diminuiscono andando verso Nord fino all'altezza di Capo Linaro.

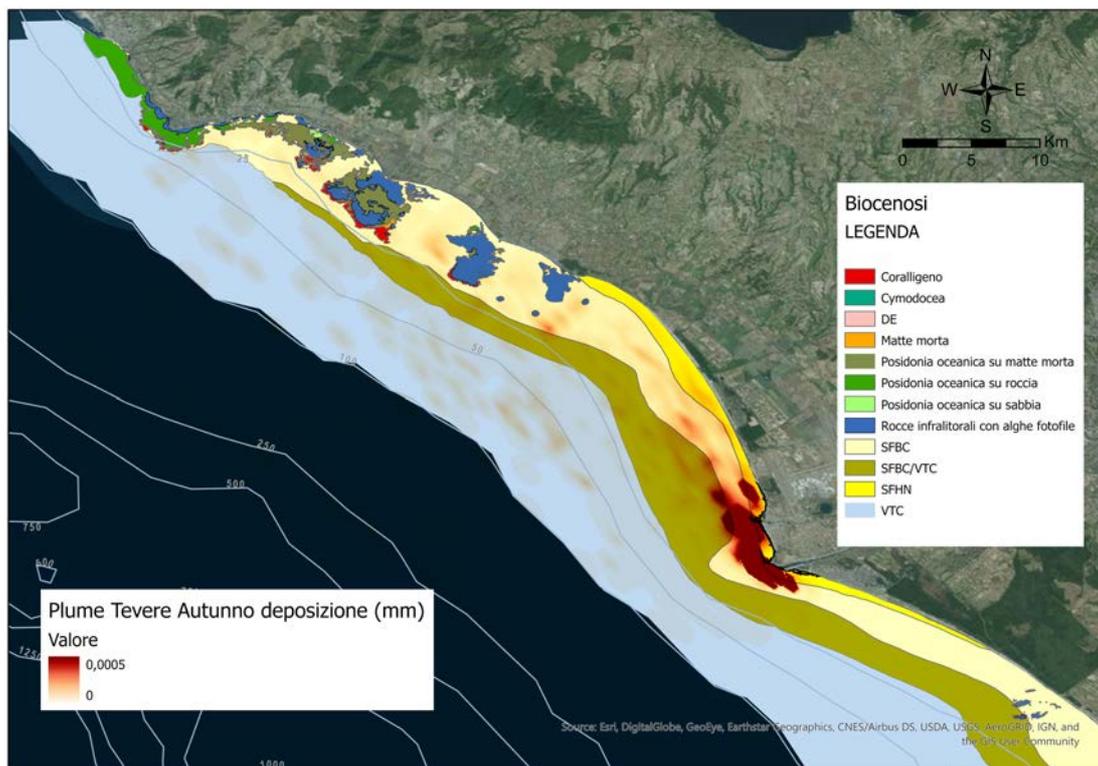


Figura 9 Simulazione della deposizione del materiale proveniente dal fiume Tevere sulle biocenosi bentoniche nel periodo autunnale

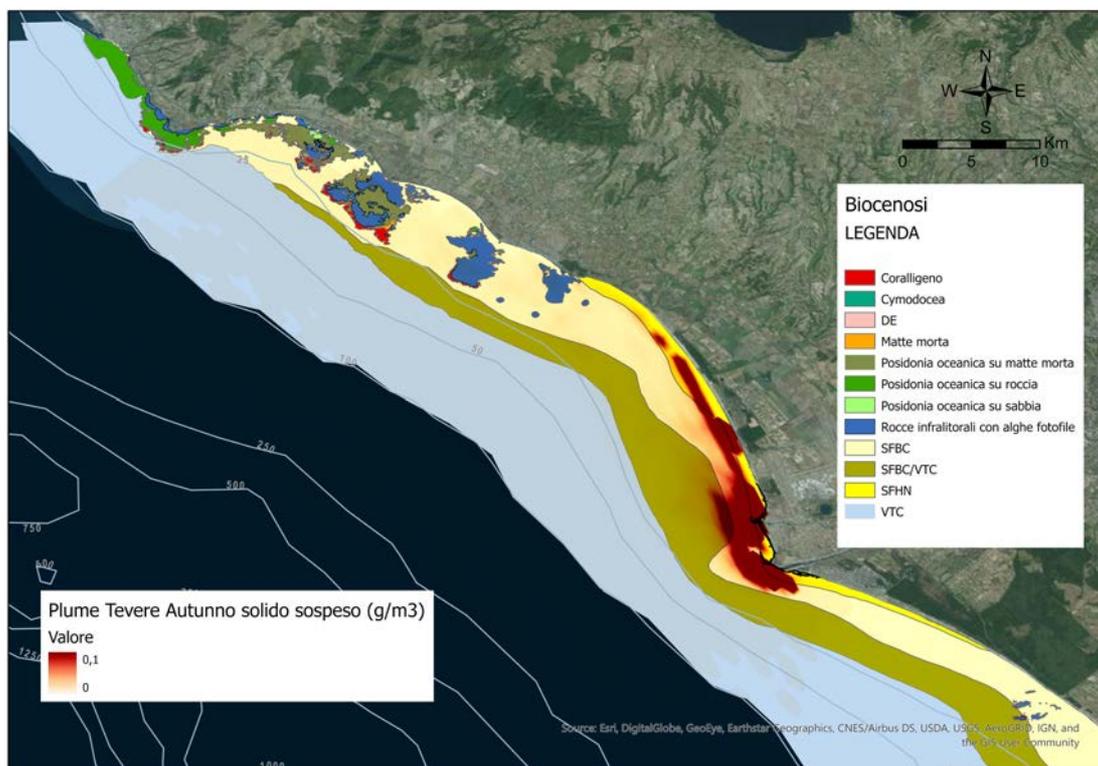


Figura 10 Simulazione del solido in sospensione generato dal fiume Tevere sulle biocenosi bentoniche nel periodo autunnale

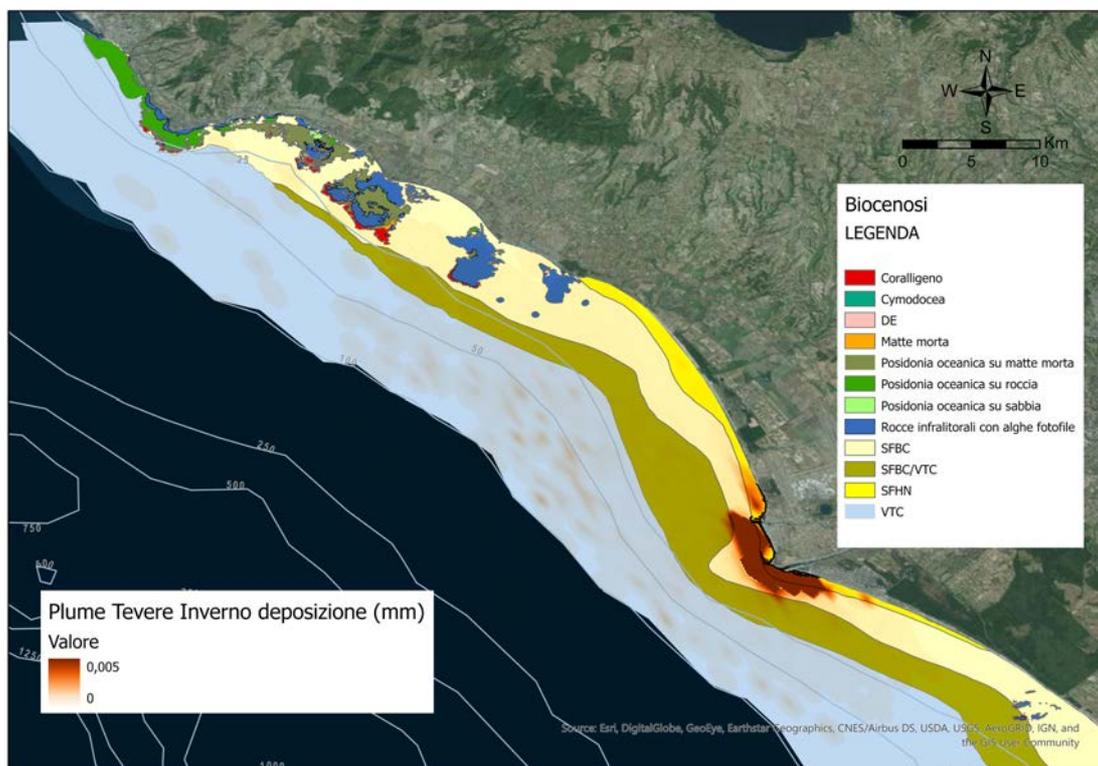


Figura 11 Simulazione della deposizione del materiale proveniente dal fiume Tevere sulle biocenosi bentoniche nel periodo invernale

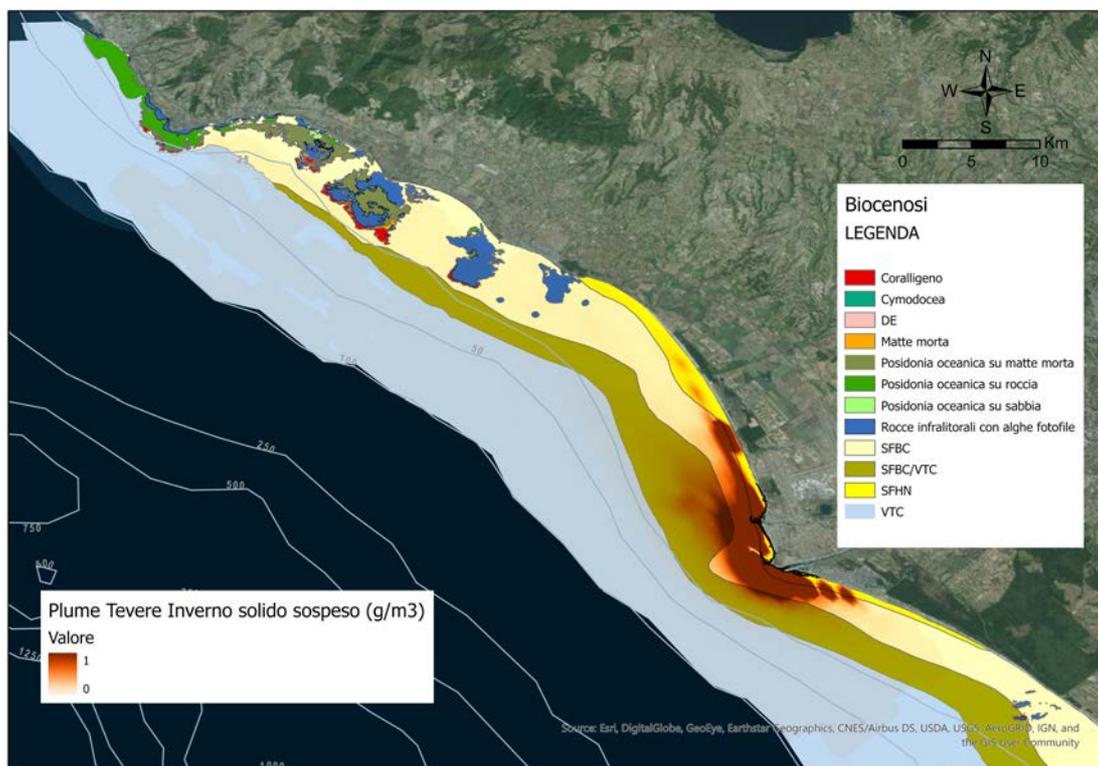


Figura 12 Simulazione del solido in sospensione generato dal fiume Tevere sulle biocenosi bentoniche nel periodo invernale

Sono stati simulati anche gli apporti del fiume Tevere per la stessa frazione granulometrica del dragaggio e si può vedere che nei due scenari considerati si ha deposizione prevalentemente nell'area deltizia con elevate concentrazioni fino a Fregene fino alla batimetrica di circa 100m e nelle aree a sud di Palo Laziale, nell'area di Torre Flavia fino a Macchiatonda. Per quanto attiene il trasporto del particolato al termine delle simulazioni si vede una maggiore concentrazione nelle aree prospicienti il Tevere e lungo tutto il litorale di Fregene, con minori concentrazioni nelle aree settentrionali fino a Capo Linaro.

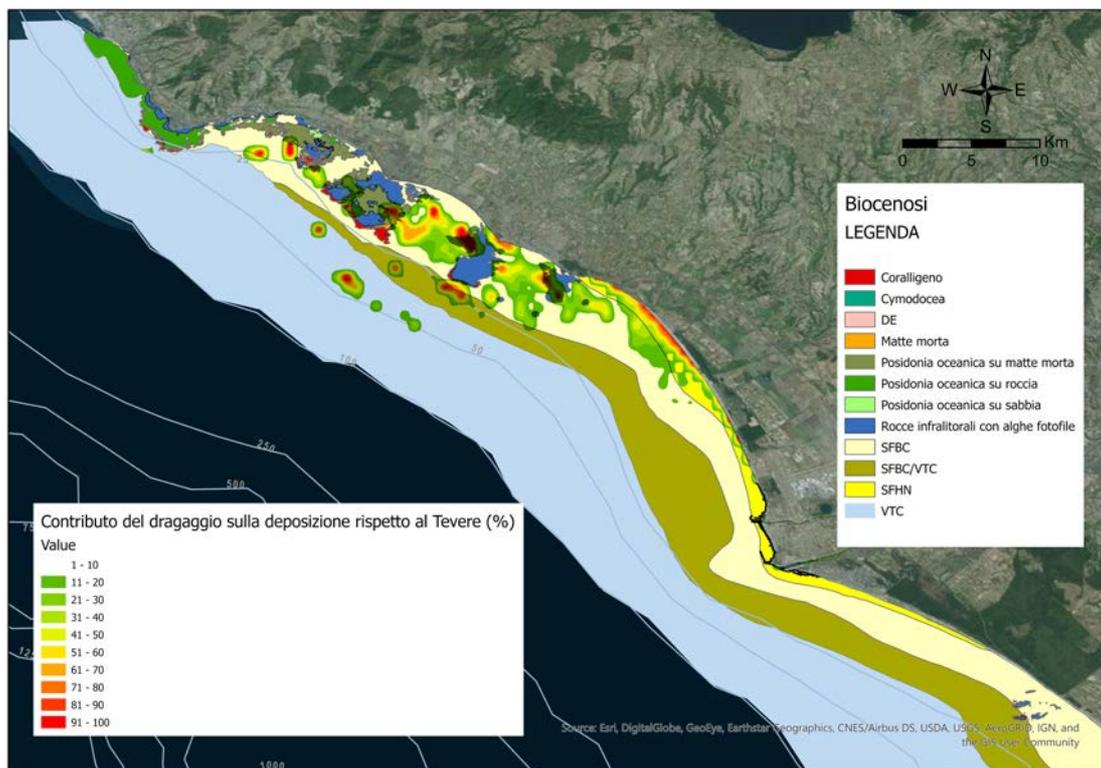


Figura 13 Contributo del dragaggio rispetto al Tevere sulla deposizione

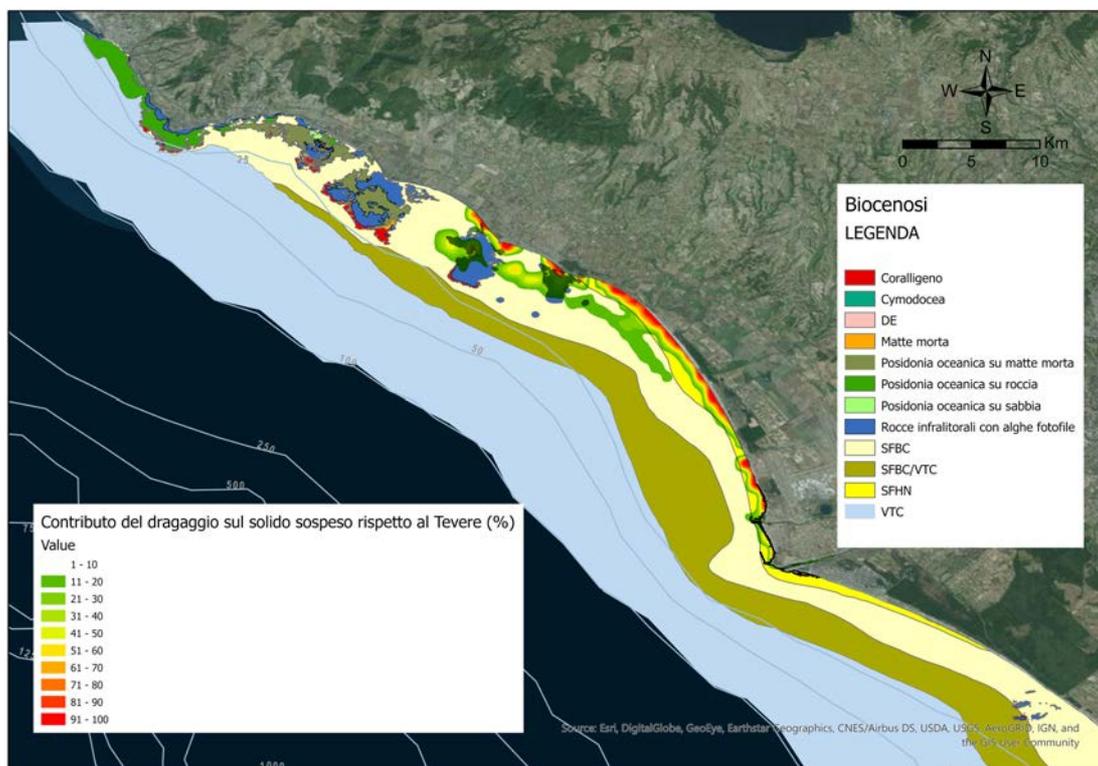


Figura 14 Contributo del dragaggio rispetto al Tevere sul solido sospeso

Al fine di stimare i potenziali impatti dovuti alle attività di dragaggio in relazione agli apporti del Tevere, si nota quanto segue:

- rispetto al Tevere, il contributo del dragaggio alla deposizione è più rilevante nell'area settentrionale, da Palo Laziale a Capo Linaro, con un maggiore impatto nell'area fra Torre Flavia e Macchiatonda;
- le biocenosi interessate da una maggiore precipitazione di materiale fine del dragaggio rispetto a quello del Tevere, sono quelle di fondo mobile, i posidonieti di Macchiatonda e Torre Flavia, ed in maniera minoritaria di Capo Linaro che sembra rappresentare una sorta di "chiusura" alla precipitazione del materiale fine dragato;

c) una quota rilevante del materiale tende a disperdersi e precipitare al largo (viene rappresentata la precipitazione sino alla batimetrica di circa 70m);

d) il materiale in sospensione, al termine della simulazione, presenta una frazione dovuta al dragaggio (sempre a parità di frazione granulometrica considerata) più rilevante nell'area settentrionale interessando le biocenosi a *Posidonia oceanica* e fondo duro di Torre Flavia, Macchiatonda, Santa Severa e in maniera minore Capo Linaro.



Figura 15 Simulazione delle variazioni morfologiche indotte dall'opera

Il potenziale impatto dell'opera sulla morfologia della spiaggia è stato analizzato mediante una simulazione di un anno estesa a tutta l'unità fisiografica in assenza e presenza del porto.



Le variazioni morfologiche relative alla realizzazione dell'opera si concentrano nella zona limitrofa al nuovo porto estendendosi sino alle barriere a protezione delle spiagge di Focene. Ulteriori variazioni di minore entità sono state osservate sino a nord delle spiagge di Fregene.



4. ARCHITETTURA DEL PROGETTO E STRATEGIA DEL PIANO DI CAMPIONAMENTO

Come precedentemente introdotto, il progetto deve rispondere a due principali requisiti: alle prescrizioni del Decreto di Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.) n. 7 del 16.02.2010 e all'integrazione, per quanto possibile, delle differenti attività legate allo studio dettagliato dell'ecosistema marino costiero nell'area oggetto delle prescrizioni, tenendo conto anche delle osservazioni ISPRA di marzo del 2015 al 'Progetto di monitoraggio dei comparti biotico morfodinamico e di trasporto solido lungo l'unità fisiografica Capo Linaro Capo d'Anzio' del luglio 2014 e delle considerazioni tecniche contenute nel documento ISPRA del 30.10.2020 'Relazione di sintesi delle risposte alle condizioni ambientali del Decreto 2010-00000007 del 16 febbraio 2010 e Considerazioni tecniche – Elementi per la stesura della bozza id relazione istruttoria per la verifica di ottemperanza'.

Come previsto nel punto 10, lettera h del Decreto di Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.) n. 7 del 16.02.2010, il progetto predisposto prevede quindi differenti attività che consentiranno l'analisi dei potenziali impatti a scala di unità fisiografica per i due principali comparti investigati: "biotico" e "morfodinamico e di trasporto solido", tenendo in considerazione tutte le componenti biotiche e abiotiche comprese nelle matrici acqua, sedimento e benthos, anche all'interno del bacino portuale. Il monitoraggio sarà finalizzato ad individuare eventuali alterazioni a breve e lungo termine sull'evoluzione della linea di costa e sugli ecosistemi marini costieri e a mitigare gli stessi mediante adeguate azioni correttive da attuare in corso d'opera e in fase di esercizio.

Si articola in tre fasi distinte che corrispondono alle fasi previste dal Decreto di Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.) n. 7 del 16.02.2010 e consentiranno di



studiare lo stato dell'ambiente marino prima della realizzazione del porto, per un periodo di almeno due stagioni significative, di monitorare gli eventuali impatti e di proporre soluzioni di mitigazione durante la realizzazione delle opere e di monitorare e verificare gli eventuali impatti che si possono generare per almeno due anni dopo la realizzazione del porto.

Dal punto di vista tecnico-operativo il progetto costituirà un moderno sistema osservativo integrato che si sviluppa in tre componenti fondamentali: osservativa, informativa e la componente dei modelli numerici, che saranno interconnesse in modo che dati e risultati previsionali, per ciascuna specifica attività, saranno elaborati e resi disponibili, non solo attraverso relazioni tecnico-scientifiche, ma integrati e rappresentati attraverso piattaforma GIS per la realizzazione di carte tematiche dell'intera area con la possibilità di sovrapporre i risultati delle simulazioni ai risultati delle caratterizzazioni sperimentali, per valutare correttamente i potenziali effetti sugli ecosistemi, la morfologia costiera e gli usi.

L'uso di modelli numerici consentirà inoltre di prevedere differenti scenari evolutivi della linea di costa e di fornire quindi durante l'intero svolgersi delle attività un supporto alla individuazione e progettazione di eventuali interventi mitigativi.

Nell'analisi delle attività progettuali si è tenuto conto delle differenti caratteristiche delle attività sperimentali integrando, laddove possibile, le operazioni da effettuare in campo.

Fattori da tenere in considerazione nell'analisi del sistema marino costiero

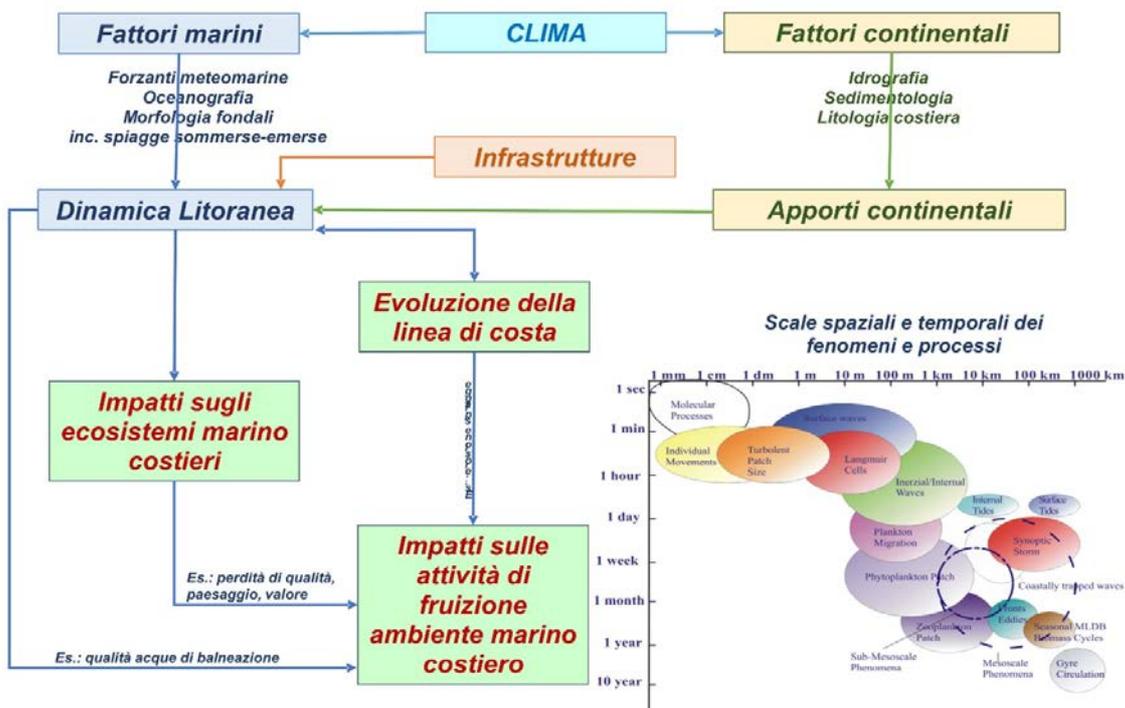


Diagramma 1. Schema logico del piano di monitoraggio

Al fine di valutare la consistenza delle eventuali alterazioni ai sistemi naturali generate dalla realizzazione del porto rispetto ai trend naturali, il progetto si basa quindi su una strategia che, prendendo in considerazione le scale spaziali e temporali delle differenti fenomenologie e delle loro variazioni, integra in un sistema osservativo avanzato, una gerarchia di modelli numerici, attività osservative e sperimentali, telerilevamento e analisi delle informazioni al contorno, con la creazione di un database e di una piattaforma GIS che permetteranno di organizzare e gestire il flusso delle informazioni e fornire adeguate cartografie tematiche.



Le attività sperimentali di progetto sono state anticipate da una serie di simulazioni modellistiche (Fase 0) che hanno consentito di ottimizzare il piano di monitoraggio proposto nel presente documento.

Tutte le attività sperimentali fondamentali per la predisposizione e la calibrazione dei modelli numerici sono infatti iniziate nella Fase 0 a decorrere da Agosto 2020, e saranno integrate e completate nelle successive Fasi di progetto, che inizialmente si sovrapporranno temporalmente alla Fase 0.

Sempre durante la Fase 0 è stata effettuata la rassegna e raccolta delle informazioni e dei dati pregressi, e organizzata la struttura del DataBase e del GIS, come dettagliato nella Relazione riportata nell'Allegato 3.

La Fase 0 ha visto la predisposizione del modello a scala regionale di onde e correnti innestato nel modello di circolazione generale a grande scala e in un modello delle foci fluviali del Tevere. Trattandosi di un modello ad elementi finiti 3D (Shyftem) la griglia viene infittita molto sotto costa arrivando alla massima risoluzione nell'area del porto di Fiumicino e delle aree limitrofe e per gli alvei fluviali. Nella Fase 0 la componente di misura è limitata all'essenziale con tre transetti oceanografici costa-largo che delimitano l'area di studio a scala di unità fisiografica (ripetuti in diversi periodi per consentire di lo studio in differenti condizioni, stratificazione e mescolamento), il lancio di boe lagrangiane, la raccolta di campioni per la calibrazione della strumentazione e una prima validazione dei dati satellitari, l'acquisizione dei profili della spiaggia sommersa per validare le batimetrie dei modelli, come dettagliato nella Relazione riportata nell'Allegato 4.

La scala spaziale dell'Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo d'Anzio è di circa 100km, quella temporale minima di almeno 1 anno. Infatti, la presenza del Tevere al centro dell'Unità Fisiografica modula con un ritmo annuale il bilancio sedimentario, mentre le forzanti meteomarine ridistribuiscono i sedimenti mobilitandoli mediante le mareggiate più importanti e ridistribuendoli gradualmente in funzione delle dinamiche tipiche



stagionali. Inoltre, anche se il trasporto sedimentario viene assolto prevalentemente dalle correnti litoranee innestate da onde e vento, queste correnti interagiscono con la circolazione a scala più grande che modula in maniera più forte il trasporto delle particelle più fini, alle quali si legano gli inquinanti, e dei nutrienti, entrambi interagenti con il biota.

In questo contesto, il progetto di monitoraggio considera anche le “Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici” (MATTM-Regioni, 2018) e sulla base di quanto riportato per la definizione degli ambiti costieri è stata fatta un’ipotesi, che verrà verificata progressivamente grazie ai dati acquisiti nell’area di studio. L’ipotesi è che l’area sia composta da un’Unità Fisiografica Principale (UFP) che si estende da Capo Linaro fino al promontorio del Circeo. All’interno di tale UFP viene identificata l’Unità Fisiografica Costiera Secondaria (UFCS) avente come limiti Capo Linaro – Capo d’Anzio, area di indagine del progetto. L’UFCS suddetta è stata ulteriormente suddivisa in due Unità Gestionali Costiere (UGC) aventi per limiti Capo Linaro – Palo (Ladispoli), e Palo – Capo Anzio.

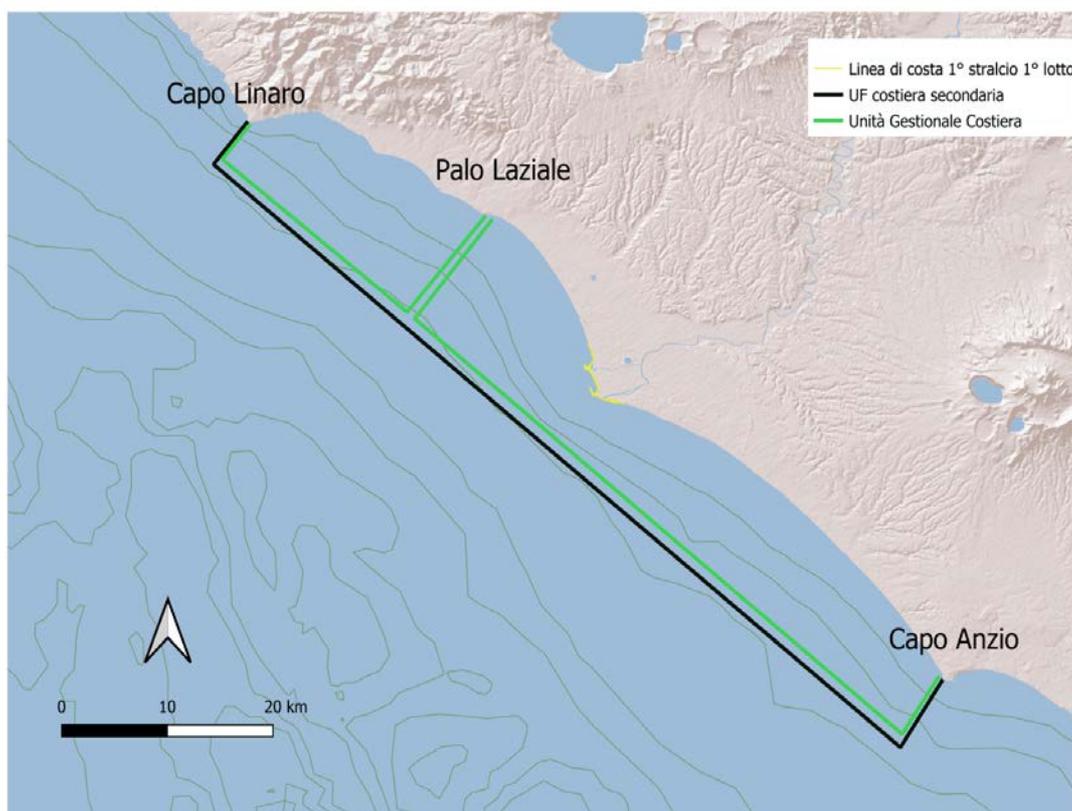


Figura 16 Ipotesi di definizione degli ambiti costieri nell'area oggetto di studio

È fondamentale quindi, ai fini di prevedere le modalità di trasporto delle sabbie e delle particelle più fini, una strategia temporale del progetto che preveda l'analisi delle dinamiche oceanografiche e sedimentarie costiere alle opportune scale spaziali e temporali e come queste si correlano alla dinamica a scala più grande. L'uso di un modello a griglia non strutturata innestato nel modello a scala di bacino rappresenta allo stato attuale la migliore soluzione realizzabile. Inoltre, il modello scelto è già stato applicato in numerose casistiche dando risultati più che attendibili, e presenta già i moduli in grado di simulare le differenti grandezze che verranno studiate in questo progetto. La



validazione dei modelli rappresenta un'azione importante ai fini di qualificare i risultati del modello nelle sue differenti applicazioni sia dal punto di vista oceanografico, che sedimentario e geomorfologico. Inoltre, la messa a punto del modello operativo consentirà di effettuare previsioni in tempo reale dei possibili impatti delle attività di cantiere, di potenziali oil spill e dell'insorgenza di potenziali fioriture algali.

Lo studio del potenziale impatto del nuovo porto sulla geomorfologia costiera necessita infine un approccio di analisi a lunga scala temporale. Mediante modelli della linea di riva è possibile analizzare l'avanzamento-arretramento della linea di costa e dei profili della spiaggia sommersa. La validazione di questi modelli può essere effettuata simulando una variazione di un periodo noto sufficiente a rappresentare una variazione a lungo periodo temporale: si analizza la situazione della linea di riva nel passato (1990), si simula con il modello l'evoluzione a partire dal 1990 ad oggi e si confrontano i risultati con la situazione attuale: questa analisi ci permetterà di validare il modello. Quindi si effettuano simulazioni a partire dalla situazione attuale sino ai prossimi 30 anni per valutare l'eventuale impatto sul sistema morfodinamico a medio e lungo periodo.

Il progetto si configura come un piano flessibile e modulare in modo da poter essere facilmente e rapidamente integrato e/o modificato sulla base della modellistica numerica. Per questi motivi e al fine di ottemperare a quanto richiesto dal VIA, nella Fase 1 a partire dall'estate 2020, verranno poste in essere le seguenti attività (vedi Diagramma 2.):

- integrazione delle attività sperimentali previste nella Fase 0 volte alla validazione dei modelli numerici, in particolare: misure oceanografiche di onde, correnti, caratteristiche della colonna d'acqua e misure sedimentologiche e di trasporto solido (inclusi apporti fluviali);



- integrazione delle attività sperimentali previste nella Fase 0 volte ad una analisi del comparto morfodinamico; studio delle portate liquide e solide del Tevere e dei principali corsi d'acqua affluenti;
- studio della variazione della linea di riva a breve e a lungo termine mediante: analisi storica della linea di riva e ricostruzione dei profili spiaggia sommersa (a partire dal 1990) e successive modifiche mediante GIS; predisposizione e simulazioni attraverso il modello per l'analisi dell'evoluzione linea di riva a breve e lungo periodo;
- predisposizione del modello operativo e attività di validazione;
- studio del comparto morfodinamico;
- caratterizzazione del comparto biotico e delle caratteristiche chimiche dei sedimenti;
- installazione di una piattaforma di misura dotata di ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) e di una boa ondometrica per periodi di tempo significativi; nel corso delle attività verranno introdotte piattaforme di misura autonome in modo da poter disporre di maggiori informazioni, ottimizzando il piano di campionamento senza aggravio dei costi;
- mediante il telerilevamento da satellite si potrà avere la visione sinottica di determinate grandezze quali clorofilla *a*, CDOM (Chromophoric Dissolved Organic Matter), torbidità; inoltre si monitorerà l'evoluzione della linea di riva.

Il flusso delle attività di progetto della Fase 1 prevede una tempistica con inizio delle attività a luglio-agosto 2020 e termine delle attività ad agosto 2021, in tempo utile per la fase di cantiere.

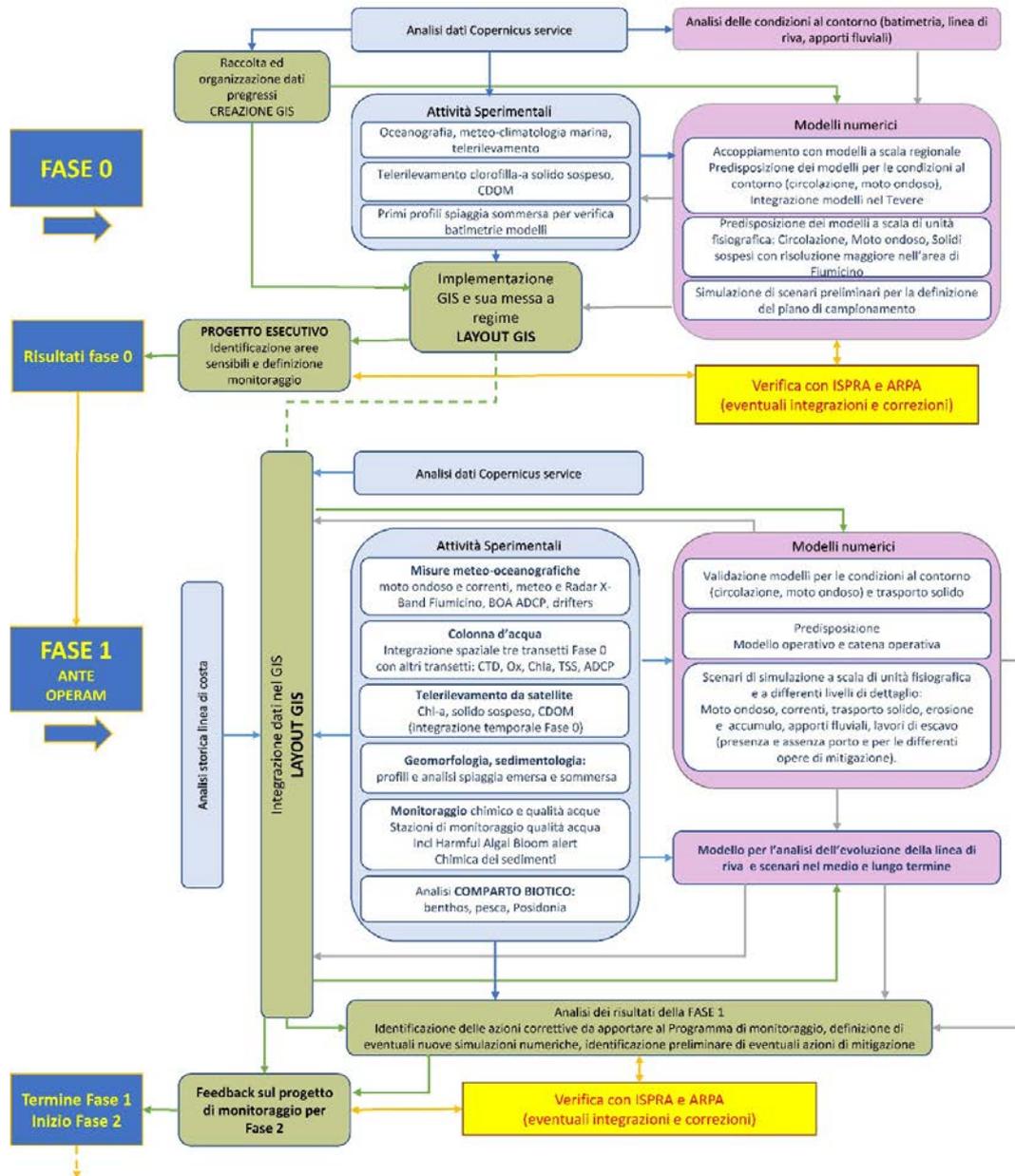


Diagramma 2. Schema delle interazioni fra le differenti attività di progetto relative alla Fase 0 e alla Fase 1



Per quanto attiene alla caratterizzazione del comparto biotico e della chimica dei sedimenti le attività saranno effettuate nel 2021, in particolare: mentre la strumentazione fissa di misura comincerà ad acquisire in primavera, la caratterizzazione biologica e chimica nell'estate 2021 prima dell'inizio dei lavori e verrà ripetuta nella stessa stagione dopo la conclusione dei lavori. Sempre prima della fase di cantiere verrà effettuato una analisi quali-quantitativa del pescato delle marinerie locali.

Al termine della Fase 1, l'analisi dei risultati potrà orientare l'attività della Fase 2 (Cantiere, vedi Diagramma 3.).

L'installazione di strumentazione fissa (ADCP e boa ondometrica low cost), la predisposizione di una attività di misura sistematica in un punto fisso (dotata anche di strumentazione per la identificazione delle fioriture algali potenzialmente tossiche) inizieranno nella Fase 1 e proseguiranno per l'intera durata del progetto e in particolare durante le attività di escavo della fase di cantiere.

La Fase 2 prevede il monitoraggio della dinamica (moto ondoso e correnti), della colonna d'acqua e dei profili della spiaggia emersa e sommersa e di tutte quelle grandezze che consentiranno di continuare ad affinare i modelli numerici. Inoltre, durante questa fase verranno implementati i modelli di Oil Spill e di dispersione batterica.

La messa a punto del modello operativo e l'assimilazione dei dati consentirà di produrre scenari in tempo reale e di effettuare previsioni, in modo da poter supportare l'attività di verifica e le eventuali azioni correttive. Il modello operativo, ad esempio, consentirà di prevedere come si disperderà la plume di sedimenti causata dalle operazioni di escavo e anche eventuali di altri fenomeni inquinanti.

Inoltre, nella stazione di misura ripetuta proseguiranno le misure sistematiche di qualità della colonna d'acqua, inclusa la fioritura di potenziali alghe tossiche, misure che integrate con il resto del sistema osservativo costituiranno un vero e proprio sistema di "early warning".



Nel caso in cui, durante questa fase, a seguito delle attività di misura e delle simulazioni di scenari, si verificasse l'insorgenza di impatti non previsti o più estesi, dovuti alla realizzazione delle opere, che richiedano ulteriori azioni correttive e/o mitigatrici, verranno analizzate diverse ipotesi progettuali correttive volte a mitigare gli eventuali impatti dell'opera mediante "adeguate azioni da attuare in corso d'opera e in fase di esercizio". Ciascuna ipotesi progettuale, che andrà ad integrare quanto ipotizzato nel PRP, verrà analizzata mediante simulazioni di scenario dei modelli messi a punto.

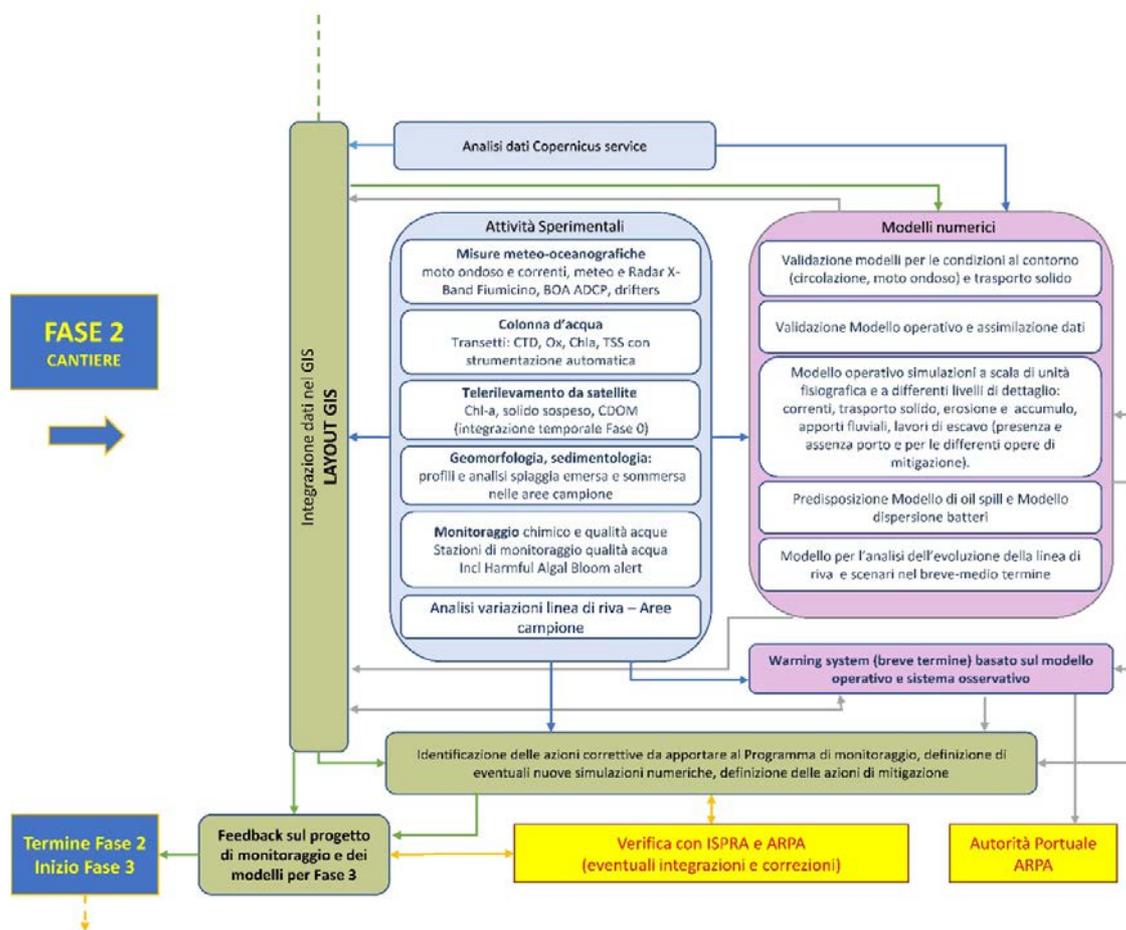


Diagramma 3. Schema delle interazioni fra le differenti attività di progetto relative alla Fase 2

Durante la Fase 2 verranno impiegate avanzate piattaforme autonome per la misura della colonna d'acqua e del fondale. In questa maniera sarà possibile una massima flessibilità nel piano di campionamento che potrà essere adattato o esteso in qualsiasi momento in funzione della variabilità spatio-temporale delle dinamiche oceanografiche ed ecologiche.



Il controllo delle variazioni morfologiche della spiaggia verrà attuato sempre nelle località rappresentative dove si monitoreranno le variazioni dei profili della spiaggia sommersa ed emersa. A completamento di queste analisi si controlleranno anche le variazioni dei profili della spiaggia sommersa nell'area del delta del Tevere in modo da avere un riscontro delle variazioni indotte dallo spostamento delle sabbie della cuspidè deltizia e in profili distribuiti lungo l'unità fisiografica che serviranno per comprendere la variazione naturale dei profili di spiaggia sommersa.

Al termine della Fase 2, l'analisi dei risultati potrà orientare eventuali correzioni rispetto alle attività previste per la Fase 3 (Post Operam).

La Fase 3 Post Operam prevede sostanzialmente il monitoraggio di tutte le componenti prese in considerazione durante la Fase 1. Continueranno le misure di correnti e onde mediante una stazione ADCP, il Radar in banda X, il posizionamento di un ondametro low-cost, misure sistematiche in una stazione fissa e transetti CTD, clorofilla a, TSS mediante piattaforme autonome in modo da fornire i dati che serviranno per la validazione progressiva dei modelli numerici e per l'assimilazione nel modello operativo.

Il modello operativo consentirà inoltre di controllare la circolazione delle acque all'interno del bacino portuale, e di verificare la dispersione di sedimenti ed inquinanti nel caso di dragaggi, anche in emergenza; l'assimilazione dei dati delle stazioni fisse di misura e delle immagini satellitari lo portano ad essere un vero e proprio strumento operativo a supporto della gestione delle emergenze e del controllo ambientale.

Continueranno inoltre in un punto fisso le misure sistematiche di qualità della colonna d'acqua, inclusa la fioritura di potenziali alghe tossiche, misura assimilata nel modello operativo.

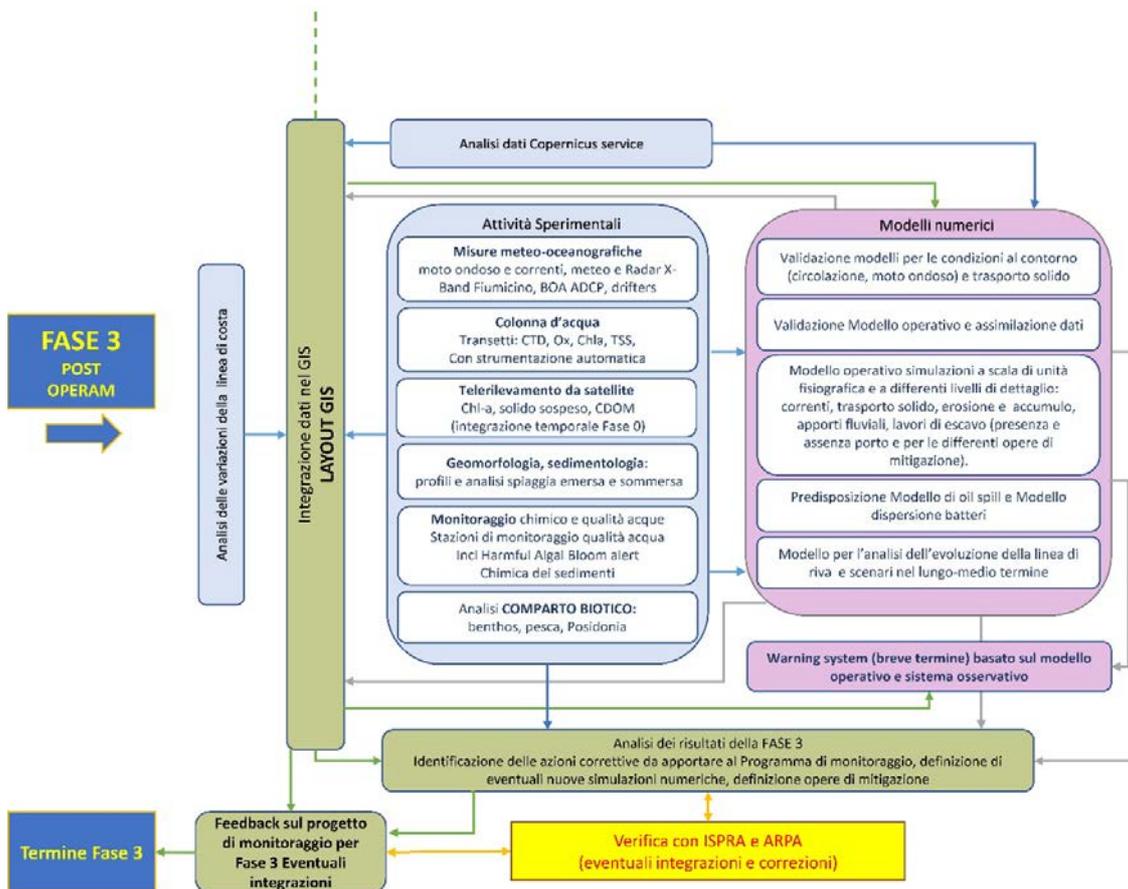


Diagramma 4. Schema delle interazioni fra le differenti attività di progetto relative alla Fase 3



5. RACCOLTA DATI PREGRESSI E PREDISPOSIZIONE GIS, INTEGRAZIONE DEI DATI ACQUISITI NELLA PIATTAFORMA GIS

5.1. Raccolta dati disponibili all'interno dell'U.F. per la redazione del nuovo piano di monitoraggio

Per il progetto sarà predisposto un database per la catalogazione, analisi e utilizzo di dati pregressi relativi all'area dell'U.F. L'analisi dei dati pregressi riguarda sia la raccolta di pubblicazioni scientifiche internazionali con referaggio, sia report, documenti e letteratura grigia della Regione Lazio, ISPRA, ARPA e Università, come anche richiesto nelle Considerazioni Tecniche ISPRA 2020. Inoltre, saranno acquisite immagini telerilevate e cartografie digitali. Il database sarà strutturato con una suddivisione gerarchica delle matrici e dei comparti ambientali oggetto di indagine. L'estensione spaziale del database è relativa all'Unità Fisiografica (U.F.) Capo linaro – Capo Anzio. Il database sarà realizzato secondo i formati standards (come ad esempio INSPIRE) per poter effettuare lo sharing dei dati con la comunità scientifica di riferimento. A tal fine l'AdSP realizzerà un portale per la visualizzazione dei dati raccolti, sia per le mappe tramite Web GIS che per le stazioni fisse di misura.

5.2. Predisposizione GIS

Tutti i dati raccolti, sia pregressi che di campo, saranno contenuti all'interno di un sistema informativo GIS che è stato predisposto e utilizzato per fornire rappresentazioni sinottiche utili nelle varie fasi del progetto. La componente Cartografica sarà prodotta compatibilmente con i sistemi cartografici ESRI sia per quanto riguarda le componenti vettoriali che raster, compatibile con INSPIRE e il Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali (RNDDT), adottando gli standard WMS. La cartografia bentos e sedimenti verrà prodotta secondo il sistema di riferimento WGS84 UTM fusi 32-33, mentre le sezioni oceanografiche verranno rappresentate in ODV WGS84.

5.3. Integrazione dati nella piattaforma GIS

Attraverso il database descritto nel sottoparagrafo “Raccolta dati disponibili all'interno dell'U.F. per la redazione del nuovo piano di monitoraggio” verranno creati layers che costituiranno la rappresentazione sinottica del GIS. I layers saranno costituiti dai dati provenienti dalla raccolta di cui sopra e dall'elaborazione dei dati acquisiti sperimentalmente. I layers saranno prodotti in due fasi distinte. Nella prima fase saranno acquisiti i layers relativi alle caratteristiche topografiche generali dell'ambiente studiato. Successivamente, verranno elaborati ed integrati ulteriori layer ottenuti dall'elaborazione dei dati provenienti dalle attività sperimentali.

Attraverso l'utilizzo del GIS verrà implementata la *carta d'uso del mare* che potrà essere utilizzata per la generazione di scenari mirata all'analisi dei conflitti d'uso e degli eventuali impatti dell'opera portuale sul valore economico ecosistemico dell'area.

L'attività sarà effettuata durante tutte le fasi progettuali.

5.4. Dati di input per i modelli numerici

Il modello idrodinamico e il modello di moto ondoso necessitano di dati di input, condizioni iniziali e al contorno, per fornire le principali caratteristiche ambientali del mare. Di seguito vengono riportati i principali dati richiesti dai modelli e le fonti da cui saranno reperiti.

5.4.1. Analisi delle condizioni al contorno (batimetria, apporti fluviali e campo di vento)

La morfologia sommersa verrà ricavata dalla banca dati disponibile su Emodnet, la quale sarà integrata con i dati dei rilievi batimetrici singlebeam e multibeam (ove resi disponibili) acquisiti nell'area dell'Unità Fisiografica.



Gli inputs fluviali verranno ricavati dai dati di livello e di portata liquida messi a disposizione dal Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Lazio per il fiume Tevere (gli altri apporti fluviali verranno analizzati in seguito quando si dovrà studiare il potenziale impatto del porto nella sua configurazione definitiva). Il campo di vento verrà ricavato dai dataset del sistema ECMWF fornito al CMCC dall'Aeronautica Militare.

La linea di riva iniziale (Fase 0) inserita nel modello numerico a griglia non strutturata è quella prodotta da Copernicus, che verrà integrata con dati aggiornati provenienti da immagini satellitari ad altissima risoluzione (Sentinel e LandSAT) e da foto aeree laddove disponibili. L'utilizzo di immagini satellitari permette inoltre di analizzare lo spostamento della linea di costa con variabilità intra stagionale e successivamente ad eventi meteomarinari di forte intensità (eventi estremi). Tale analisi risulta particolarmente utile lungo i tratti costieri sabbiosi come quelli interessati dalla realizzazione della nuova opera. Al fine di definire in maniera accurata la posizione della linea di costa verranno scelti degli indicatori come HWL (High Water Line) che basa la sua stima sull'ultimo evento di acqua alta e di conseguenza risulta facilmente distinguibile nelle foto aeree (Dolan and Hayden, 1983) e nelle osservazioni satellitari (Carli et al., 2008) o MHWL (Mean High Water Line) che si basa sull'intersezione della HWL con la topografia trasversale ottenuta mediante rilievi topografici e altimetrici sul campo (Liu et al., 2007). L'analisi della variazione della linea di riva e della topografia emersa della spiaggia consentiranno attraverso l'integrazione dei dati relativi alla spiaggia sommersa, di valutare i volumi di sedimento erosi e deposti utili alla determinazione del bilancio sedimentario dei litorali presi in esame.

Oltre alla dinamica del trasporto solido saranno presi in considerazione anche la presenza di ulteriori processi evolutivi delle aree costiere come l'eustatismo e la subsidenza.



5.4.2. Analisi dati Copernicus service

I dati inerenti le correnti marine a mesoscala verranno ricavati dal modello NEMO del sistema Copernicus Marine Service. I dati di moto ondoso a mesoscala verranno ricavati dal modello WAM del sistema Copernicus Marine Service. L'attività sarà effettuata durante tutte le fasi del progetto.



6. OCEANOGRAFIA SPERIMENTALE

6.1. Analisi del clima ondoso e delle correnti marine

L'analisi di questi comparti risulta fondamentale per poter caratterizzare in maniera dettagliata l'area oggetto di studio e poter valutare le eventuali alterazioni a breve o lungo termine delle condizioni idrografiche che possono portare alla perdita di habitat di elevato valore naturalistico nonché alla perdita di aree di interesse socio-economico.

La stessa Marine Strategy include nel Descrittore 7 il monitoraggio delle 'condizioni idrografiche' come condizione fondamentale per il raggiungimento del GES, concorrendo anche alla valutazione di altri descrittori come la 'biodiversità', 'l'eutrofizzazione' e le 'reti trofiche'.

Risulta quindi di fondamentale importanza l'acquisizione di dati quanto più distribuiti nel tempo e nello spazio della dinamica e delle caratteristiche della colonna d'acqua in un'area in evoluzione per le nuove infrastrutture che saranno realizzate.

Il progetto prevede l'acquisizione di dati di onde e correnti attraverso sistemi fissi e lagrangiani durante le fasi ante, durante e post operam.

Le informazioni acquisite permetteranno di valutare la circolazione costiera e monitorare in continuo le condizioni di corrente e moto ondoso nell'area oggetto di studio, nonché di acquisire dati fondamentali alla validazione dei modelli matematici.

Saranno quindi acquisiti dati attraverso un sistema integrato costituito da Radar X-Band, stazioni di misura fisse per la misura di onde e correnti e campagne di misura delle correnti in colonna d'acqua con ADCP e superficiali per mezzo di drifter.

I vantaggi ottenuti dal sistema radar sono sia di carattere scientifico, grazie all'elevata copertura spaziale che consente una migliore calibrazione dei modelli numerici, che di carattere logistico, in quanto installato a terra, fattore che riduce l'usura, i costi per le operazioni di manutenzione ed il rischio di danni da agenti esogeni. La presenza di stazioni di misura puntuale permetterà di integrare i dati di corrente lungo la colonna



d'acqua, nonché di acquisire dati a profondità maggiori rispetto a quelle acquisite dal sistema radar, ampliando così l'area di indagine e le capacità osservative. Le misure da imbarcazione con ADCP consentiranno di ampliare la scala spaziale di osservazione, come l'utilizzo dei drifter che consentirà di validare le correnti superficiali.

Il sistema di misura integrato e così progettato, permetterà un'osservazione sinottica ad alta risoluzione ed ampia copertura spaziale dei processi idrodinamici fondamentali che condizionano l'ambiente costiero, nonché una corretta validazione della modellistica matematica messa in campo. Di seguito vengono dettagliate le singole attività, comprensive delle metodologie utilizzate, dell'ubicazione degli interventi e di quanto richiesto nelle Considerazioni Tecniche ISPRA 2020.

6.1.1. Misure di onde e correnti con Radar X-Band

Durante tutte le fasi del progetto saranno acquisiti in continuo i dati dello stato del mare in termini di correnti superficiali e onde attraverso un sistema radar X-Band installato sulla foce della Fiumara Piccola del fiume Tevere, con il supporto del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (LOSEM) del DEB dell'Università della Tuscia.

Il sistema è stato installato a dicembre 2020 su una torre faro posta alle coordinate Lat. 41.232612 Long. 13.573088 (Fig.17), ad un'altezza di circa 15 slm.

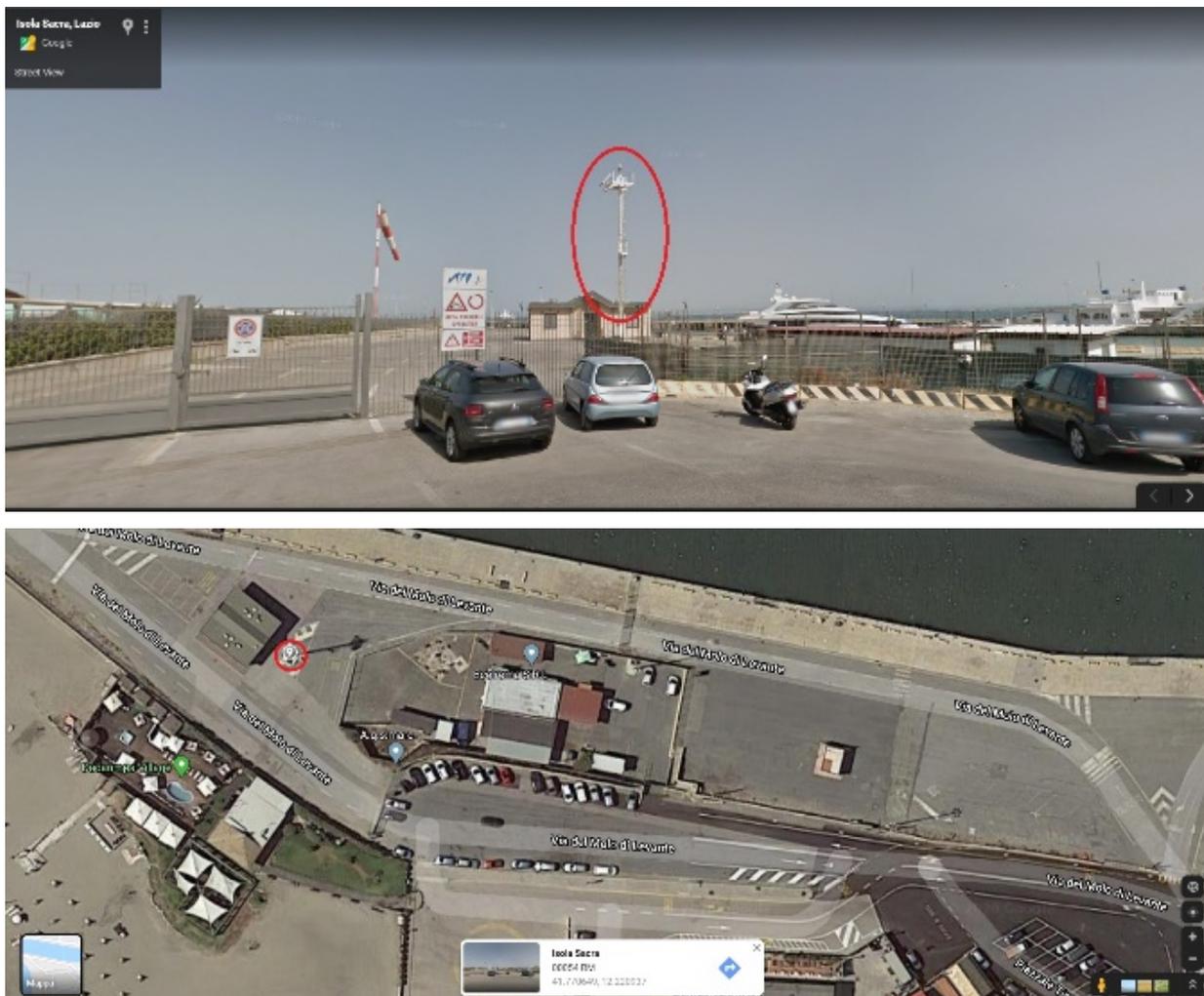


Figura 17 Ubicazione Torre faro

L'installazione è stata autorizzata da parte del Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione Generale per i Servizi di Comunicazione Elettronica, di Radiodiffusione e Postale (mise.A00_COM.REGISTRO UFFICIALE.U.0036138.17-07-2020) per quanto attiene l'uso delle frequenze, e ne è stata data comunicazione ufficiale ad ARPA Lazio.

Il sistema di misura copre l'area riportata in Figura 18, caratteristica che rappresenta un'evoluzione importante rispetto al punto singolo misurato dalle tradizionali boe ondometriche, in quanto consente di studiare la dinamica su una scala più ampia e con un dettaglio molto elevato. Inoltre, come visibile dall'immagine, è stato applicato un *blanking* di modo che la strumentazione non emetta verso terra.



Figura 18 Area di misura del sistema radar X-Band



Nel dettaglio, il radar X-Band (Extended AM broadcast band) utilizza un segmento della regione delle microonde radio dello spettro elettromagnetico; il sistema permette di misurare corrente e moto ondoso (spettro direzionale) attraverso la ricezione del backscatter delle microonde dovuto alla rugosità della superficie del mare, che è visualizzabile come un *sea clutter* in tutte le immagini radar X-Band. La velocità minima del vento per ottenere una misurazione ottimale dei parametri è di 3 m/s, velocità alla quale l'altezza delle onde e l'intensità delle correnti potrebbe risultare poco significativa (Fang et al. 2017, Shen et al. 2019, Shigunov 2018, Arany et al. 2014, Sugianto et al. 2017, Wind-to-wave-relationship-Reference-NOAA 2011-2013).

La caratterizzazione dello stato del mare viene raggiunta attraverso il processamento del segnale elettromagnetico di backscatter riemesso dalla rugosità del mare per effetto della risonanza di Bragg (Nieto et al., 2004; Nieto et al., 2000). Questo rappresenta un segnale utile per essere processato quando lo scopo è raggiungere una caratterizzazione dello stato del mare spazio-temporale. È necessaria una corposa analisi del dato per passare dall'immagine radar all'informazione spazio-temporale dello stato di mare (Serafino et al., 2010, 2012; Nieto et al., 2004). Il processamento del dato che permette di estrarre le informazioni dello stato del mare come direzione d'onda, periodo, altezza e intensità e direzione delle correnti si basa sull'analisi spazio-temporale dell'elevazione della superficie del mare attraverso l'approccio proposto da Serafino et al., 2010 che consiste essenzialmente in 4 fasi:

- La sequenza raw dell'immagine radar è trasformata in uno spettro d'immagine 3D per mezzo di una 3D-FFT (3D Fast Fourier Transform) su cui viene filtrato l'effetto della perdita di segnale lungo il range di acquisizione.
- Il secondo step provvede a estrarre le componenti delle onde gravitazionali dall'immagine filtrata. Questa operazione di filtering investiga la relazione di dispersione

che collega il numero d'onda (k) con la frequenza angolare (ω) attraverso la corrente (U) e la profondità (h) secondo l'equazione:

$$(k) = (gk \tanh(kh))^{0.5} + k \cdot U$$

Il vettore corrente $U = (U_x, U_y)$ deve essere stimato prima di applicare la relazione di dispersione nel filtro. La strategia utilizzata segue l'approccio LS (Young et al., 1985; Nieto Borge 1997; Serafino et al., 2010).

Il terzo step consiste nel passare dallo spettro radar filtrato allo spettro d'onda ($F_w(k_x, k_y, \omega)$) minimizzando l'effetto dovuto ai fenomeni di modulazione elettromagnetica attraverso una "spectral modulation transfer function" (Nieto et al., 2004).

L'ultima fase fornisce un'evoluzione dell'altezza d'onda effettuando una inversa 3D-FFT alla funzione F_w .

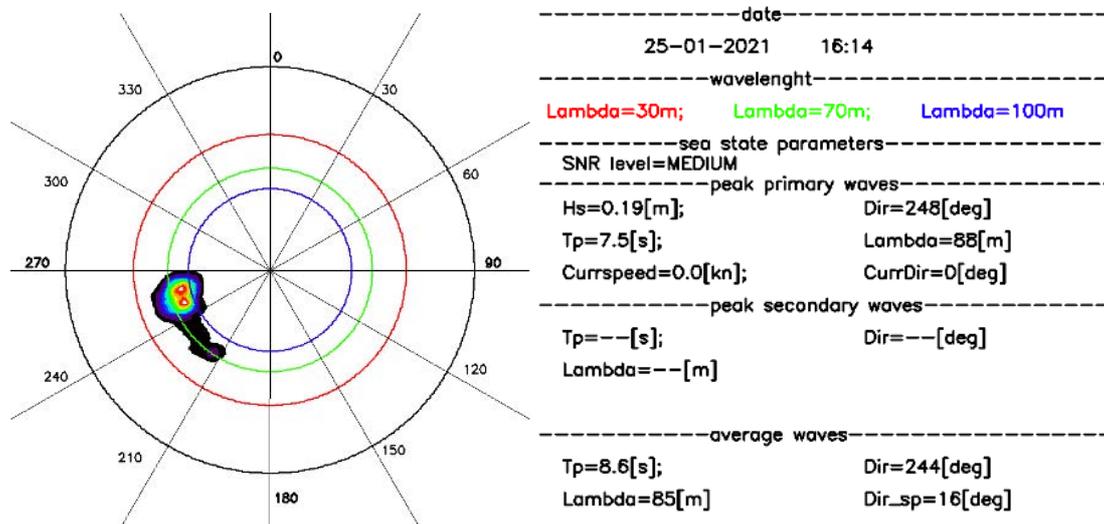


Figura 19 Esempio di spettro direzionale e dei parametri principali delle onde ottenuto con il

Radar x-band nell'area di Fiumicino

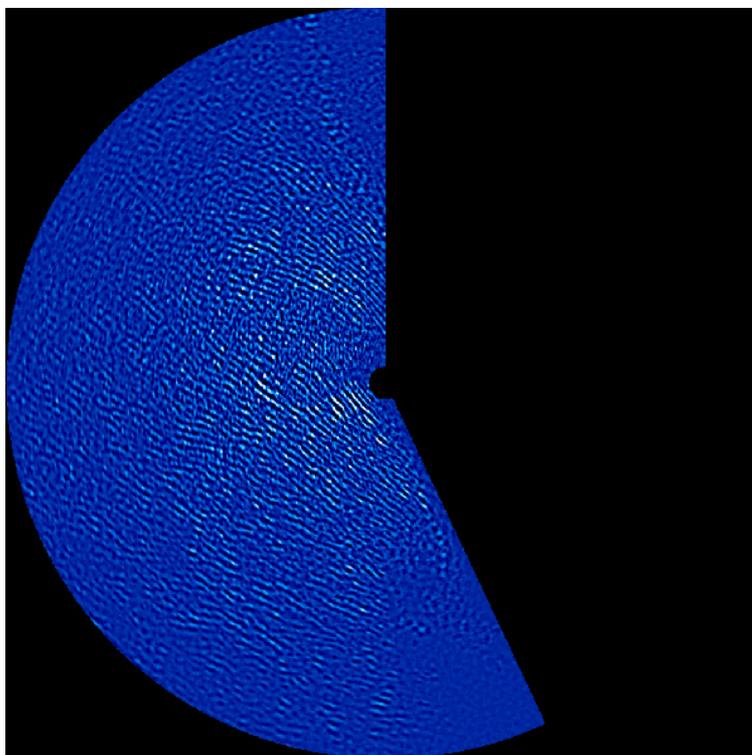


Figura 20 Esempio di immagine radar della superficie del mare da cui si osserva la propagazione delle onde nell'area oggetto di studio

Questo sistema permetterà quindi di ottenere delle informazioni su direzione e intensità delle correnti litoranee direttamente influenzate dal moto ondoso (rip current e long-shore current) utili anche allo studio dell'evoluzione morfologica della spiaggia. Inoltre, le informazioni acquisite forniranno un importante strumento per calibrare i modelli di circolazione costiera, di propagazione del moto ondoso e particle tracking a più alta risoluzione, utili a definire la dispersione dei sedimenti durante le fasi di dragaggio e la dispersione del particolato sospeso trasportato dal Fiume Tevere situato a Sud dell'area in cui sorgerà la nuova struttura portuale.

Sarà inoltre possibile, grazie all'integrazione di un modulo di elaborazione dati specifico e innovativo, ottenere mappe batimetriche di dettaglio dell'area investigata dal radar. Infatti, la dipendenza della frequenza angolare dalla profondità del mare offre l'opportunità di recuperare la batimetria dallo spettro del segnale marino. L'approccio di ricostruzione si basa sulla massimizzazione del prodotto scalare normalizzato (NSP) tra la relazione di dispersione dell'onda misurata e quella teorica, che incorpora la dipendenza dalla profondità locale. L'utilizzo dell'approccio NSP consente quindi di ottenere una mappa spaziale ad alta risoluzione dell'area indagata, che sarà poi di volta in volta confrontata con i dati acquisiti attraverso indagini in situ con strumentazione acustica (Ludeno et al. 2013, 2015a, 2015b).

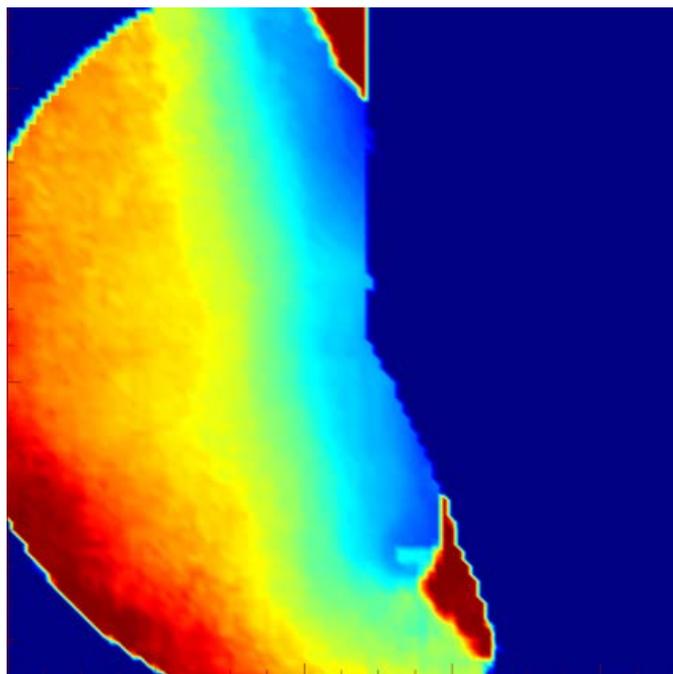


Figura 21 Esempio di mappa batimetrica ottenuta con il Radar x-band nell'area di Fiumicino



Sebbene molte delle applicazioni esistenti di questa tecnologia siano legate alla ricerca, la maggior parte, come riportato nella Tabella presentata di seguito, sono state effettuate per la Marina Militare, per compagnie e Istituzioni riconosciute, a testimonianza di un sistema stabile e affidabile per la misura dei parametri in oggetto.

Installation	Customer	Product	Installation	Customer	Product
Gilgio Island	Tuscany Region/Lamma Toscana	Remocean Coastal Monitoring	Cruise Roma	Grimaldy Group	Remocean Ship Safety
Sciacca (Sicily)	National Reserach Council of Itlay	Remocean Coastal Monitoring	Salerno Harbur	National Reserach Council of Itlay	Remocean Coastal Monitoring
Capo Granitola (Sicily)	National Reserach Council of Itlay	Remocean Coastal Monitoring	FPSO Cendor	Oil&Gas Company	Remocean Ship Safety
Aristeus Fishing Vessesi	National Reserach Council of Itlay	Remocean Coastal Monitoring	Acqualta Off-shore platform	National Reserach Council of Itlay	Remocean Coastal Monitoring
Mobile System	National Reserach Council of Itlay	Remocean Coastal Monitoring	Solvay silt	National Reserach Council of Itlay	Remocean Coastal Monitoring
Fregate Multipurpose 1	Italian Navy	Remocean Ship Safety	Taiwan Coast	CWB Institute of the the Minister of Transport (Taiwan)	Remocean Integrated Systems for waves and OSD
Fregate Multipurpose 2	Italian Navy	Remocean Ship Safety	Celebrity Summit	Royal Caribbean	Remocean Integrated Systems for waves and Small Target
Fregate Multipurpose 3	Italian Navy	Remocean Ship Safety	Celebrity Silhouette	Royal Caribbean	Remocean Integrated Systems for waves and Small Target
Fregate Multipurpose 4	Italian Navy	Remocean Ship Safety	Celebrity Millenium	Royal Caribbean	Remocean Integrated Systems for waves and Small Target
Fregate Multipurpose 5	Italian Navy	Remocean Ship Safety	Patrol Vessel 0615	Chinese MSA	Remocean Oil Spill Detection & AIS
Fregate Multipurpose 6	Italian Navy	Remocean Ship Safety	Italian Vessel	Telemar	Remocean Integrated Systems for waves and OSD
Fregate Multipurpose 7	Italian Navy	Remocean Ship Safety	Fiumicino Harbur	University of Tuscia	Remocean Coastal Monitoring
Fregate Multipurpose 8	Italian Navy	Remocean Ship Safety	Senigallia Harbur	University of Marche	Remocean Coastal Monitoring
Piombino Harbur	Piombino Port Authority	Remocean Coastal Monitoring	Alba Marina FSO	Edison	Remocean Integrated Systems for waves and OSD

Tabella 1. Esempi di installazioni dello stesso sistema radar X-Band installato a Fiumicino

E' da aggiungere che le misure da radar x-band consentono di catturare processi a piccola scala che con altre piattaforme non sarebbe possibile acquisire (Novi et al. 2020). Questo risulta di fondamentale importanza per studiare le variazioni locali dovute alla costruzione del nuovo porto.

6.1.2. Misure di onde con boa fissa low-cost

Al fine di acquisire dati ondametrici nelle aree di largo non coperte dal radar e dagli altri sistemi di acquisizione sarà installata una boa a basso costo, grazie alla collaborazione con LDL (Lagrangian Drifter Laboratory) dello Scripps Institution of Oceanography UCSD (Centurioni et al. 2017). La boa sarà posizionata nell'area interdetta alla navigazione per la presenza delle piattaforme, a circa 35m di profondità, alle coordinate: 41.75400 N - 12.14400 E (Datum WGS84).



Figura 22 Posizione della boa ondametria

I dati saranno acquisiti in continuo per periodi definiti durante l'arco del progetto, durante le fasi ante, durante e post operam.

Nel dettaglio la boa che sarà installata è una Directional Wave Spectra Barometer Drifter (DWSBD)TM, che consente di acquisire parametri come l'altezza significativa, la direzione e lo spettro d'onda, nonché la pressione barometrica.

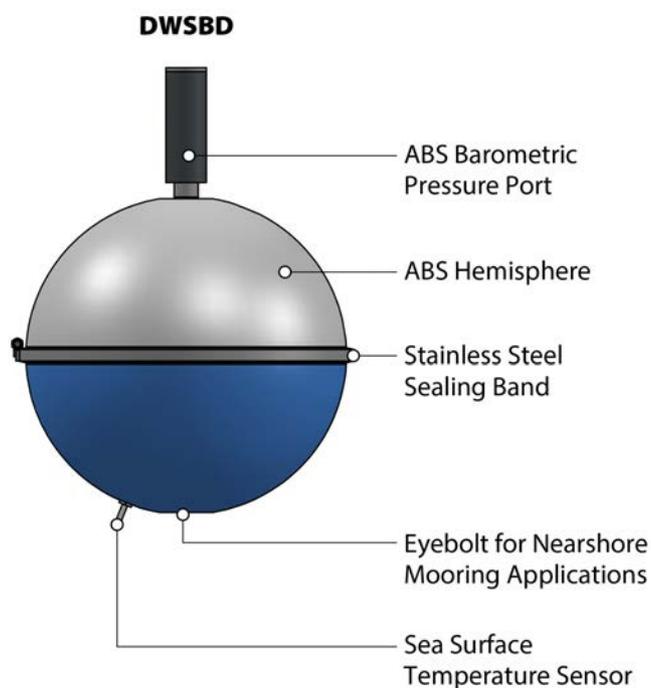


Figura 23 Boa ondametria DWSBD Scripps UCSD

Se necessario, la boa potrà essere rilocata in una diversa posizione, soprattutto in funzione della modellistica numerica che sarà aggiornata durante il corso del progetto.

6.1.3. Misure di onde e correnti con ADCP fisso

La Fase 1 vedrà l'installazione di un Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) fisso al fine di acquisire dati di onde e integrare misure di correnti lungo la colonna d'acqua, fondamentali per la validazione dei modelli numerici.



Figura 24 Punto di ormeggio del sistema ADCP

In particolare, lo strumento che sarà utilizzato per la misura di correnti e onde è un Nortek Signature 1000, un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) che consente di acquisire intensità e direzione delle correnti lungo la colonna d'acqua ogni 2cm e di misurare l'altezza, la direzione e il periodo delle onde. Lo strumento sarà inserito in una apposita boa di spinta che conterrà tutte le componenti del sistema (Fig.25). La boa è costituita da due gusci che si chiudono ermeticamente e che sono collegati attraverso un cavo dynema al corpo morto.



Figura 25 Boa di spinta per ADCP e pacco batteria

Il sistema sarà installato a circa 15m di profondità, su un mooring fissato sul fondo, in modo che si evitino problematiche connesse alla ricopertura dello strumento da parte del

sedimento. Le coordinate di installazione sono: 12.183667° E – 41.751667° N (Datum WGS84).

Al fine di assicurare la visibilità dello strumento sommerso, il corpo morto della boa ADCP sarà collegato al corpo morto di una boa di segnalazione superficiale della Resinex, modello PE-150LX, dotata di appositi sistemi di segnalamento diurni e notturni.

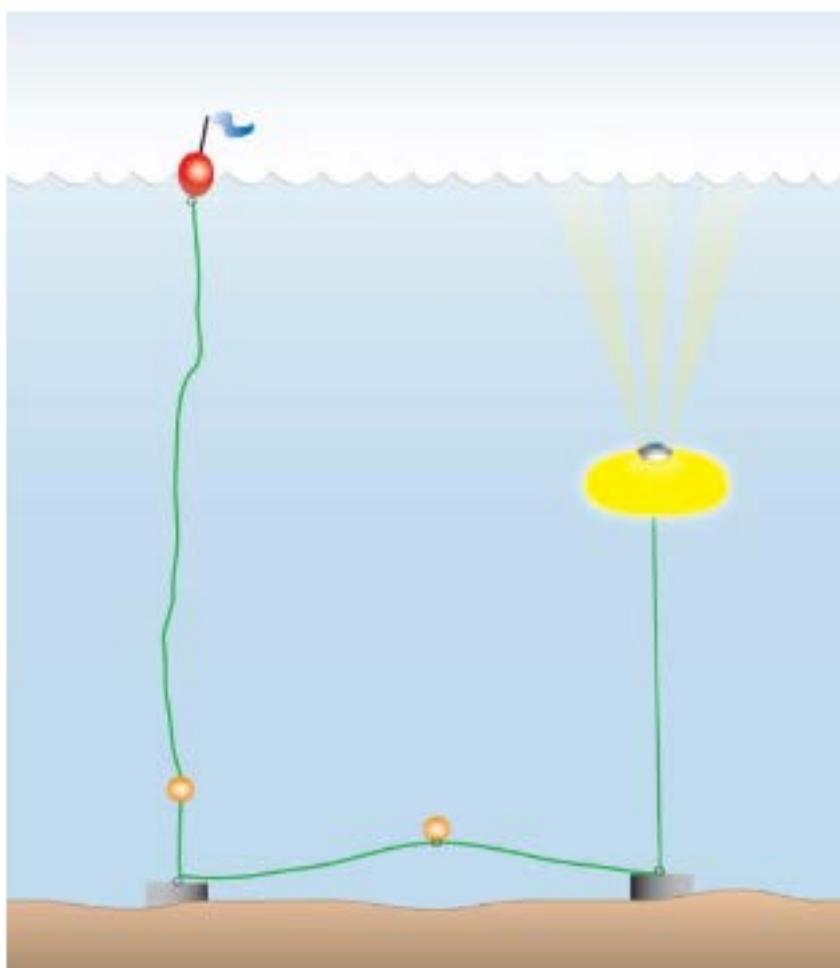


Figura 26 Schema di posizionamento del sistema ADCP



I dati saranno acquisiti in continuo per periodi definiti durante l'arco del progetto, durante le fasi ante, durante e post operam.

L'utilizzo di questo sistema permetterà anche il confronto con i dati acquisiti dal sistema radar e la validazione dei modelli matematici di dinamica costituendo una fonte d'informazione importante per lo studio della dinamica lungo il litorale.

6.1.4. Misure di correnti con ADCP da imbarcazione

Ad integrazione dei dati acquisiti con la strumentazione fissa, saranno acquisiti dati di corrente lungo la colonna d'acqua da imbarcazione, su stazioni distribuite lungo i transetti previsti dalla caratterizzazione della colonna d'acqua nell'intera unità fisiografica. Questo per avere una maggiore copertura spaziale e una maggiore disponibilità di dati per la validazione della modellistica numerica. I dati saranno acquisiti su punto fisso con ADCP montato su veicolo galleggiante; le acquisizioni dureranno circa 5-10 minuti per punto in modo da avere una caratterizzazione dettagliata delle correnti lungo la colonna d'acqua. I punti di acquisizione saranno rilocabili in funzione delle necessità della modellistica.

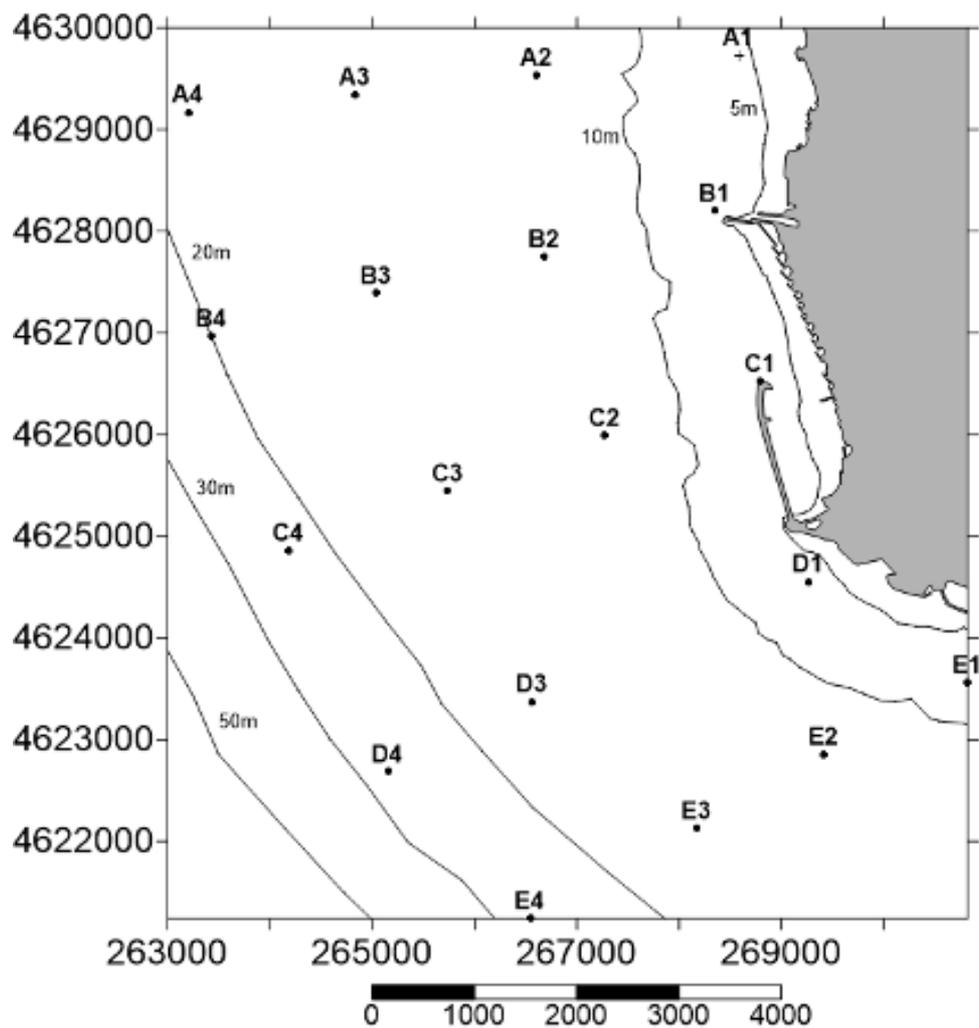


Figura 27 Piano di campionamento ADCP su punto fisso effettuato durante la Fase 0

Stazione	Latitudine	Longitudine
A1	N41.78558	E12.21223
A2	N41.78335	E12.19149
A3	N41.78107	E12.17025
A4	N41.77906	E12.15071
B1	N41.77184	E12.21296
B2	N41.76730	E12.19312
B3	N41.76357	E12.17350
B4	N41.75929	E12.15431
C1	N41.75688	E12.21898
C2	N41.75164	E12.20088
C3	N41.74629	E12.18268
C4	N41.74058	E12.16420
D1	N41.73930	E12.22533
D2	N41.73349	E12.20970
D3	N41.72788	E12.19339
D4	N41.72125	E12.17671
E1	N41.73080	E12.24442
E2	N41.72404	E12.22779
E3	N41.71711	E12.21319
E4	N41.70867	E12.19395

Tabella 2 Lista delle coordinate delle stazioni ADCP



Figura 28 Esempio di acquisizione da imbarcazione dei dati di correnti con ADCP su struttura galleggiante

6.1.5. Campagne correntometriche con traccianti lagrangiani

Gli strumenti lagrangiani, drifter, sono particolarmente adatti per studi di trasporto, in quanto danno informazioni dirette sul moto delle particelle d'acqua. Inoltre, consentono una stima diretta dei principali parametri che caratterizzano la dinamica superficiale e permettono soprattutto di monitorare vaste aree integrando così le misure acquisite dagli strumenti fissi.

Le campagne saranno effettuate durante le fasi ante, durante e post operam con la seguente frequenza e copertura areale:

- Fase 1: lancio di n.1 drifter durante n.1 campagna prima dell'inizio dei lavori, nei seguenti punti lancio: all'interno dell'alveo in prossimità della foce della Fiumara



Piccola del fiume Tevere; all'interno dell'alveo in prossimità della foce della Fiumara Grande del fiume Tevere; nell'area esterna la foce della Fiumara Piccola del fiume Tevere; nell'area esterna la foce della Fiumara Grande del fiume Tevere;

- Fase 2: lancio di n.1 drifter durante n.3 campagne nell'arco dei 24 mesi nei seguenti punti di lancio: all'interno dell'alveo in prossimità della foce della Fiumara Piccola del fiume Tevere; all'interno dell'alveo in prossimità della foce della Fiumara Grande del fiume Tevere; nell'area esterna la foce della Fiumara Piccola del fiume Tevere; nell'area esterna la foce della Fiumara Grande del fiume Tevere;
- Fase 3: lancio di n.1 drifter durante n.3 campagne nell'arco dei 24 mesi successivi al termine dei lavori, nei seguenti punti di lancio: all'interno dell'alveo in prossimità della foce della Fiumara Piccola del fiume Tevere; all'interno dell'alveo in prossimità della foce della Fiumara Grande del fiume Tevere; nell'area esterna la foce della Fiumara Piccola del fiume Tevere; nell'area esterna la foce della Fiumara Grande del fiume Tevere;

Le coordinate (in Datum WGS84) di rilascio dei drifter sono le seguenti:

- Foce Fiumara Piccola: 12.2208° E 41.7714° N
- Largo di Fiumara Piccola: 12.1938° E 41.7717° N
- Foce Fiumara Grande: 12.2365° E 41.7410° N
- Largo di Fiumara Grande: 12.2083° E 41.7248° N



Figura 29 Punti di lancio dei drifter: in verde i punti all'interno delle foci di 'Fiumara Grande' e Fiumicino 'Fiumara Piccola'; in viola i punti esterni



Figura 30 Esempio di Drifter per lo studio delle correnti superficiali

6.2. Campagne di misura colonna d'acqua

Lo studio delle variazioni dei parametri fisici, chimici e biologici della colonna d'acqua in ambiente costiero risulta molto complicato in quanto i fenomeni che avvengono in tale zona hanno scale spaziali e temporali molto ridotte e sono caratterizzati da un'elevata dinamica e variabilità. Risultano però fondamentali per la caratterizzazione dell'area oggetto di studio, nonché per l'implementazione della modellistica numerica dal punto di vista della validazione e dell'assimilazione nonché per l'integrazione spaziale dei dati acquisiti con le stazioni fisse.

Durante il corso del progetto, nelle tre Fasi, saranno effettuate una serie di campagne a carattere stagionale, come di seguito dettagliato, come anche richiesto nelle Considerazioni Tecniche ISPRA 2020.



6.2.1. Misure con metodi tradizionali

Al fine di caratterizzare la colonna d'acqua nell'area oggetto di studio saranno effettuati, come successivamente dettagliato, n.13 transetti lungo tutta l'unità fisiografica, lungo i quali verranno effettuate n.10 stazioni, per un totale di 130 stazioni per ogni singola campagna. In corrispondenza delle stazioni saranno effettuati profili lunga colonna d'acqua di temperatura, conducibilità (salinità, densità), ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla *a*, solido sospeso.

Lungo i transetti, in stazioni selezionate tra le 130 previste, saranno prelevati campioni di acqua per l'analisi della clorofilla *a*, del solido sospeso e per l'analisi della sostanza organica disciolta cromoforica CDOM (Chromophoric Dissolved Organic Matter), che serviranno per la calibrazione dei sensori e per la validazione dei dati satellitari.

In particolare, le attività si articoleranno nelle varie Fasi così come di seguito dettagliato:

- Fase 1: saranno effettuate n.10 stazioni lungo n.13 transetti durante n.2 campagne in due stagioni significative prima dell'inizio dei lavori, totale campioni prelevati n.90 (n.15 campioni clorofilla *a* * n.2 campagne, totale n.30 campioni; n.15 campioni solido sospeso * n.2 campagne, totale n.30 campioni, n.15 campioni CDOM * n.2 campagne, totale n.30 campioni);
- Fase 2: saranno effettuate n.10 stazioni lungo n.13 transetti durante n.2 campagne in due stagioni significative, totale campioni prelevati n.60 (n.10 campioni clorofilla *a* * n.2 campagne, totale n.20 campioni; n.10 campioni solido sospeso * n.2 campagne, totale n.20 campioni, n.10 campioni CDOM * n.2 campagne, totale n.20 campioni);
- Fase 3: saranno effettuate n.10 stazioni lungo n.13 transetti durante n.2 campagne in due stagioni significative, totale campioni prelevati n.60 (n.10 campioni clorofilla *a* * n.2 campagne, totale n.20 campioni; n.10 campioni solido sospeso



* n.2 campagne, totale n.20 campioni, n.10 campioni CDOM * n.2 campagne, totale n.20 campioni).

Le procedure che verranno adottate per l'analisi dei parametri sopra indicati sono conformi ai metodi standard ISO per il campionamento, la conservazione e l'analisi dei campioni di acqua di mare, alle metodiche descritte nei Manuali e Linee Guida APAT/CNR IRSA n. 29/2003 e successivi aggiornamenti e nelle 'Metodologie Analitiche di Riferimento-Programma di Monitoraggio per il controllo dell'Ambiente marino costiero/Triennio 2001.2003', MATTM, ICRAM, Roma 2001 e successivi aggiornamenti. In particolare: i) l'analisi della concentrazione di clorofilla *a* per la stima della biomassa fotosintetica verrà effettuata secondo i metodi descritti nei Manuali e Linee Guida ISPRA 56/2010 "Metodologie di studio del Plancton marino" e nel metodo ISO 10260:1992 "Water Quality Measurement of Biochemical Parameters; Spectrometric Determination of the Chlorophyll *a* Concentration"; ii) i solidi sospesi verranno analizzati in accordo con le metodologie descritte in Strickland & Parsons (1972) "A practical handbook of seawater analysis" e nei Manuali e Linee Guida APAT/CNR IRSA n. 29/2003; iii) la sostanza organica disciolta cromoforica CDOM verrà analizzata secondo le metodologie riportate in Wurl (2009) "Practical guidelines for the analysis of seawater" e nei protocolli NASA "Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation" Volume (IV), Pegau et al. (2003).

I dati raccolti durante le campagne di misura consentiranno di acquisire un set di dati utili a soddisfare anche le disposizioni contenute nel D.Lgs. 152/06 ed i successivi Decreti attuativi 131/08 e 56/09, nonché nel DM 260/10 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per la valutazione dell'Elemento di Qualità Biologica (EQB) Fitoplancton e degli elementi chimico-fisici a sostegno degli EQB.

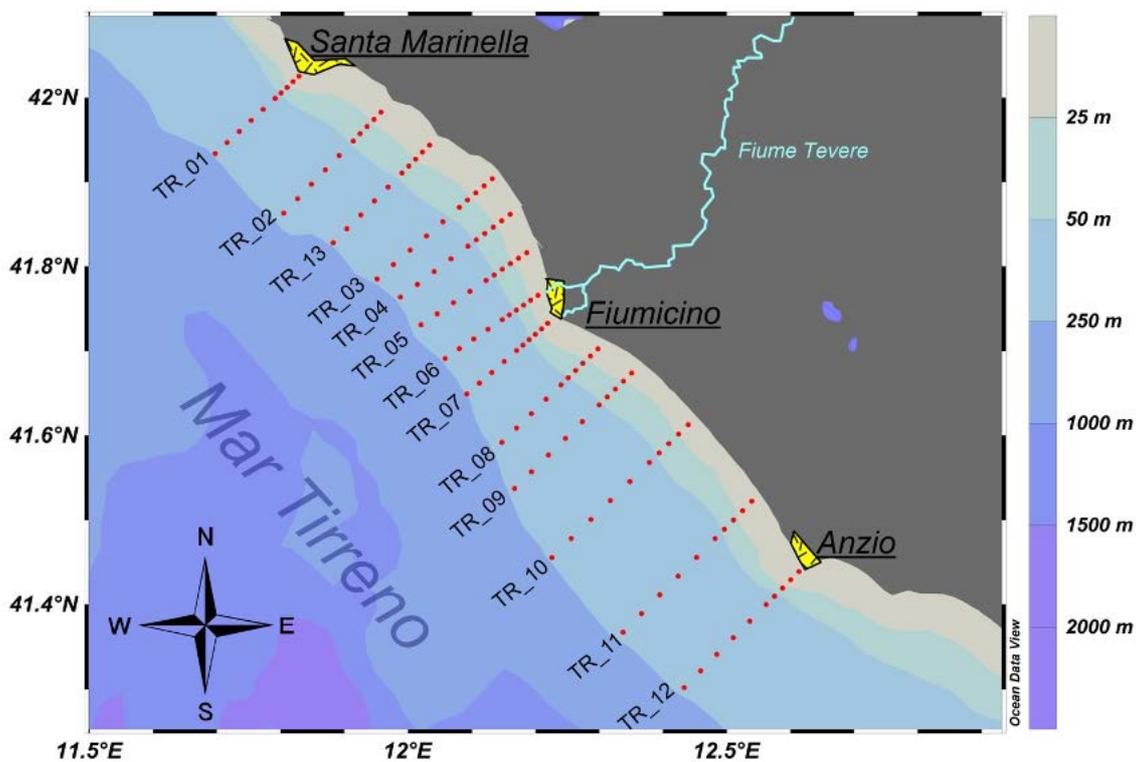


Figura 31 Localizzazione delle stazioni e dei transetti per la caratterizzazione della colonna d'acqua



STZ	LAT	LON	STZ	LAT	LON
TR01-201	42.02533099	11.82897626	TR03-204	41.8787377	12.093286
TR01-202	42.01880021	11.81957081	TR03-205	41.8702706	12.0803691
TR01-203	42.01226942	11.81016536	TR03-206	41.8533365	12.0545353
TR01-204	42.00573864	11.80075992	TR03-207	41.8364024	12.0287015
TR01-205	41.99920785	11.79135447	TR03-208	41.8194683	12.0028676
TR01-206	41.98614628	11.77254357	TR03-209	41.8025341	11.9770338
TR01-207	41.97308471	11.75373268	TR03-210	41.7856	11.9512
TR01-208	41.96002314	11.73492179	TR04-202	41.8619643	12.1599643
TR01-209	41.94696157	11.71611089	TR04-203	41.8544286	12.1467286
TR01-210	41.9339	11.6973	TR04-204	41.8468929	12.1334929
TR02-201	41.98284733	11.95745209	TR04-205	41.8393571	12.1202571
TR02-202	41.97431538	11.94653408	TR04-206	41.8318214	12.1070214
TR02-203	41.96578342	11.93561608	TR04-207	41.8242857	12.0937857
TR02-204	41.95725147	11.92469807	TR04-208	41.8092143	12.0673143
TR02-205	41.94871952	11.91378006	TR04-209	41.7941429	12.0408429
TR02-206	41.93165562	11.89194405	TR04-210	41.7790714	12.0143714
TR02-207	41.91459171	11.87010804	TR04-211	41.764	11.9879
TR02-208	41.89752781	11.84827203	TR05-202	41.8166286	12.1861214
TR02-209	41.8804639	11.82643601	TR05-203	41.8100571	12.1733429
TR02-210	41.8634	11.8046	TR05-204	41.8034857	12.1605643
TR13-201	41.94378727	12.03339038	TR05-205	41.7969143	12.1477857
TR13-202	41.93554532	12.02260535	TR05-206	41.7903429	12.1350071
TR13-203	41.92730338	12.01182033	TR05-207	41.7837714	12.1222286
TR13-204	41.91906143	12.0010353	TR05-208	41.7706286	12.0966714
TR13-205	41.91081948	11.99025027	TR05-209	41.7574857	12.0711143
TR13-206	41.89433558	11.96868022	TR05-210	41.7443429	12.0455571
TR13-207	41.87785169	11.94711016	TR05-211	41.7312	12.02
TR13-208	41.86136779	11.92554011	TR06-202	41.766025	12.203519
TR13-209	41.8448839	11.90397005	TR06-203	41.760267	12.192345
TR13-210	41.8284	11.8824	TR06-204	41.75451	12.181171
TR03-201	41.90413889	12.13203671	TR06-205	41.74878	12.16998
TR03-202	41.89567183	12.1191198	TR06-206	41.74301	12.15876
TR03-203	41.88720477	12.10620289	TR06-207	41.737336	12.147575

STZ	LAT	LON	STZ	LAT	LON
TR06-208	41.72588	12.1252	TR09-209	41.5574336	12.1935682
TR06-209	41.71443	12.1028	TR09-210	41.5377	12.167
TR06-210	41.70285	12.08046	TR10-201	41.6130465	12.4394746
TR06-211	41.69142	12.05808	TR10-202	41.6018715	12.424261
TR07-202	41.732911	12.219152	TR10-203	41.5906965	12.4090474
TR07-203	41.726471	12.209395	TR10-204	41.5795215	12.3938338
TR07-204	41.720049	12.199619	TR10-205	41.5683465	12.3786202
TR07-205	41.713609	12.189862	TR10-206	41.5458372	12.3479762
TR07-206	41.707188	12.180105	TR10-207	41.5233279	12.3173321
TR07-207	41.700747	12.170328	TR10-208	41.5008186	12.2866881
TR07-208	41.687886	12.150795	TR10-209	41.4783093	12.256044
TR07-209	41.675029	12.131262	TR10-210	41.4558	12.2254
TR07-210	41.662163	12.111732	TR11-201	41.5224644	12.5392266
TR07-211	41.6493002	12.0921966	TR11-202	41.5113884	12.5248033
TR08-202	41.7025934	12.2977	TR11-203	41.5003124	12.51038
TR08-203	41.694087	12.286104	TR11-204	41.4892363	12.4959567
TR08-204	41.6855792	12.2744991	TR11-205	41.4781603	12.4815333
TR08-205	41.6770716	12.2629001	TR11-206	41.4560082	12.4526867
TR08-206	41.6685644	12.2513	TR11-207	41.4338562	12.42384
TR08-207	41.6600565	12.2397006	TR11-208	41.4117041	12.3949933
TR08-208	41.6430401	12.2165019	TR11-209	41.3895521	12.3661467
TR08-209	41.6260299	12.1932989	TR11-210	41.3674	12.3373
TR08-210	41.609016	12.170103	TR12-201	41.4393676	12.6132626
TR08-211	41.5919974	12.1469014	TR12-202	41.4295534	12.6003889
TR09-201	41.6741986	12.3507733	TR12-203	41.4197393	12.5875151
TR09-202	41.664741	12.3380402	TR12-204	41.4099252	12.5746414
TR09-203	41.6552834	12.325307	TR12-205	41.4001111	12.5617676
TR09-204	41.6458258	12.3125739	TR12-206	41.3804829	12.5360201
TR09-205	41.6363682	12.2998408	TR12-207	41.3608547	12.5102726
TR09-206	41.6166346	12.2732726	TR12-208	41.3412264	12.484525
TR09-207	41.5969009	12.2467045	TR12-209	41.3215982	12.4587775
TR09-208	41.5771673	12.2201363	TR12-210	41.30197	12.43303

Tabella 3. Lista delle coordinate delle stazioni colonna d'acqua

6.2.2. Studio dello stato trofico delle acque

Al fine di analizzare le condizioni trofiche dell'area di studio e di calcolare l'indice trofico TRIX, individuato dal D.Lgs. 152/06 e successivi aggiornamenti per definire lo stato di qualità delle acque marino costiere così come dal D.M. 260/10 per la classificazione del loro stato ecologico, durante le campagne per la caratterizzazione della colonna d'acqua verranno effettuati prelievi superficiali per l'analisi dei nutrienti totali e disciolti di azoto e fosforo in corrispondenza di n.6 stazioni, indicate in Figura 32. Le metodiche analitiche che verranno utilizzate per l'analisi dei nutrienti sono quelle riportate nei Manuali e Linee Guida ISPRA 56/2010 "Metodologie di studio del Plancton marino".

In particolare, le attività si articoleranno nelle varie Fasi così come di seguito dettagliato:

- Fase 1: saranno effettuate n.6 stazioni durante n.2 campagne in due stagioni significative prima dell'inizio dei lavori, totale campioni prelevati n.12;
- Fase 2: saranno effettuate n.6 stazioni durante n.2 campagne in due stagioni significative, totale campioni prelevati n.12;
- Fase 3: saranno effettuate n.6 stazioni durante n.2 campagne in due stagioni significative, totale campioni prelevati n.12.

Oltre a quanto sopra descritto, al fine di individuare l'eventuale verificarsi di fenomeni di fioritura di microalghe potenzialmente tossiche verranno effettuate misure integrative sperimentali attraverso l'uso di sensori fluorimetrici specifici per i diversi pigmenti fitoplanctonici, utili all'identificazione delle principali classi fitoplanctoniche (Stauffer et al. 2019, Chang et al. 2005, Anderson et al.2001), come richiesto nelle osservazioni ISPRA di marzo del 2015.

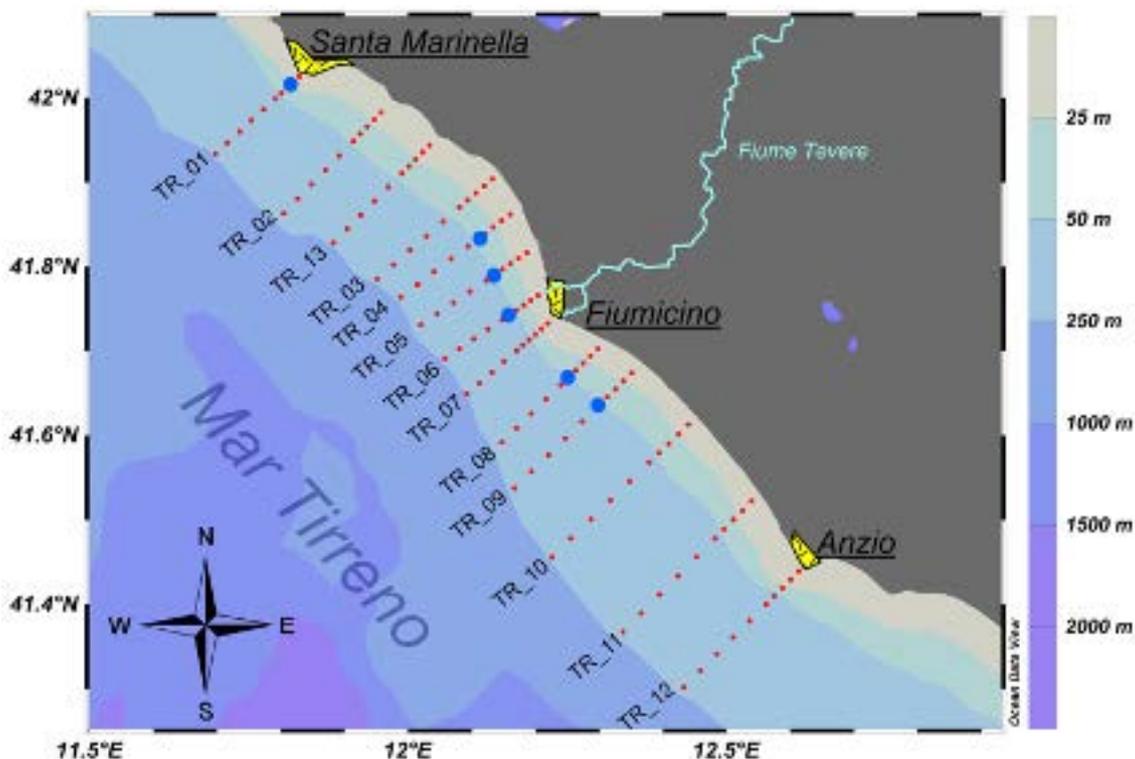


Figura 32 Posizionamento (in blu) delle stazioni di campionamento dei nutrienti

6.2.3. Stazioni di monitoraggio fissa e ripetuta della torbidità

Per poter valutare eventuali variazioni a breve-medio termine nell'area limitrofa alle nuove opere, è stata installata una stazione fissa di misura della torbidità sulla foce di 'Fiumara Piccola' a Fiumicino. In corso di progetto e con il procedere della costruzione delle infrastrutture previste, sarà valutata una nuova collocazione della suddetta stazione, in modo da poter essere utile all'acquisizione dei dati oggetto di studio. Ad integrazione della stazione fissa, o qualora non fosse possibile ricollocare la stazione in una posizione utile date le variazioni strutturali per la costruzione delle infrastrutture portuali, si prevede di effettuare una stazione di misura della torbidità 'ripetuta' nell'area adiacente a quelle

interessate dalle attività di dragaggio e costruzione. La stazione ‘ripetuta’ sarà effettuata con frequenza e numerosità che saranno commisurate ai volumi movimentati e alle lavorazioni in atto. Sarà quindi effettuata: prima dell’inizio dei lavori, in modo da avere un valore di bianco rispetto al quale valutare il valore soglia per eventuali superamenti per come previsto dal DM 173/2016; durante le lavorazioni in concomitanza delle attività di dragaggio, messa in opera e costruzione delle strutture, con una frequenza tale da seguire il cronoprogramma delle lavorazioni e i volumi movimentati; dopo la realizzazione delle opere.



Figura 33 Posizionamento delle stazioni di misura: in blu la stazione fissa; in rosso la stazione ripetuta



La stazione prevedrà profili verticali di torbidità effettuati con metodi tradizionali o tecnologie innovative (veicolo autonomo di superficie). Ad integrazione potranno essere acquisiti anche dati di temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla *a* utili anche alla modellistica numerica.

Le attività si articoleranno nelle varie Fasi così come di seguito dettagliato:

- Fase 1: stazione fissa di misura; stazione ‘ripetuta’ n.20 stazioni prima dell’inizio delle attività;
- Fase 2: stazione fissa di misura (qualora fosse possibile l’installazione nell’infrastruttura portuale); stazione ‘ripetuta’ n.80 stazioni in concomitanza delle attività di cantiere;
- Fase 3: stazione fissa di misura (qualora fosse possibile l’installazione nell’infrastruttura portuale); stazione ‘ripetuta’ n.60 stazioni durante la fase di esercizio.

6.2.4. Integrazione delle misure con metodi innovativi autonomi

Negli ultimi anni lo studio degli ecosistemi marini ha visto l’avvento di nuove tecnologie che permettono di acquisire dati in maniera sempre più efficace e dettagliata. Le piattaforme di misura sono diventate sempre più autonome e performanti, consentendo monitoraggi a lungo termine e ‘cost-effective’.

Tra queste il glider rappresenta un’importante evoluzione, essendo una potente piattaforma di rilevamento autonoma progettata per raccogliere profili lungo la colonna d’acqua con una copertura spazio-temporale molto ampia (migliaia di km e da settimane a mesi di resistenza).



Figura 34 Piattaforma Glider tipo e simulazione delle traiettorie effettuate in colonna d'acqua

I glider sono alianti sottomarini, privi di sistema di propulsione, che si muovono in virtù della sola variazione del loro assetto seguendo traiettorie a dente di sega. Si spostano dalla superficie fino a un massimo di 1000 m di profondità, lungo rotte programmabili e modificabili attraverso la comunicazione satellitare bidirezionale. Queste piattaforme sono in grado di percorrere lunghe distanze su rotte programmate e di trasmettere i dati a terra ad intervalli programmabili e stanno radicalmente modificando le metodologie di indagine nell'ambiente marino, aprendo nuovi scenari e possibilità di ricerca inimmaginabili fino a pochi anni fa. Durante questo progetto i metodi tradizionali per la raccolta dei dati lungo la colonna d'acqua saranno integrati/sostituiti dai dati acquisiti con il glider, che sarà equipaggiato con sensori per la misura di temperatura, conducibilità (salinità, densità), ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla *a*, torbidità.

Altra piattaforma innovativa che sarà utilizzata è un Autonomous Surface Vehicle, che permetterà di integrare le misure in colonna d'acqua da veicoli autonomi nelle aree costiere. E' una piattaforma con grande capacità di carico utile, in soli 1,7 metri di lunghezza: il veicolo e la sua strumentazione di bordo sono monitorati e comandati da remoto, oppure operano in modalità completamente autonoma.

Questo permetterà di ottimizzare i piani di campionamento.

In particolare, nelle Fase 2 e nella Fase 3 queste tecnologie, una volta calibrate, sostituiranno le metodologie tradizionali, migliorando così la capacità di caratterizzazione delle aree oggetto di studio, nonché i costi, aumentando eventualmente anche la copertura spaziale e temporale delle acquisizioni.



Figura 35 Veicolo autonomo di superficie

La strategia complessiva messa in campo per lo studio della dinamica e la caratterizzazione della colonna d'acqua vede l'integrazione di metodologie diverse al fine di poter analizzare in dettaglio i processi che interessano l'area di studio, identificare le eventuali variazioni nello spazio e nel tempo e supportare la modellistica numerica nella simulazione e previsione dei diversi scenari. La profondità alla quale si spingerà lo studio della colonna d'acqua è di 200 m; in questo modo si garantisce la copertura della circolazione litoranea e delle acque costiere e l'innesto delle stesse nella circolazione a scala regionale, analizzando anche la dinamica della plume del Tevere e la sua interazione con le acque costiere. I transetti consentiranno di rappresentare l'elevata variabilità spazio-temporale costa largo, e la loro assimilazione nei modelli matematici, di



rappresentarne l'evoluzione ad una adeguata risoluzione spaziale. Questo permetterà di comprendere la distribuzione dei sedimenti nella parte costiera e prevederne la loro interazione con la spiaggia sommersa ed emersa.

6.3. Studio della distribuzione del solido sospeso, della biomassa fitoplanctonica e della CDOM lungo l'unità fisiografica attraverso osservazioni satellitari

Durante le attività di progetto verranno acquisite le immagini satellitari per l'elaborazione delle mappe superficiali di clorofilla *a*, solido sospeso e CDOM, ove disponibili. Le mappe acquisite saranno confrontate con i risultati delle analisi dei campioni d'acqua raccolti durante le campagne oceanografiche, al fine di validare i dati satellitari e selezionare il miglior algoritmo per l'ottenimento dei prodotti ricercati nell'area oggetto di studio.

L'utilizzo dei satelliti come supporto negli studi oceanografici è consolidato ormai da anni, mediante l'impiego di sistemi remoti operativi a risoluzioni spaziali intermedie, incentrati principalmente sull'acquisizione di dati di Ocean Color, che permettono di ottenere come prodotto finale la distribuzione di clorofilla *a* e solido sospeso, sulla base di algoritmi già sviluppati. Da pochi anni sono stati messi a disposizione della comunità scientifica dati a risoluzione spaziale più elevata (Sentinel), consentendo l'acquisizione di dati dettagliati anche nelle aree costiere. Le informazioni da remoto il più possibile coerenti in termini di risoluzione spaziale, come quelle al momento disponibili, prevedono l'impiego delle piattaforme satellitari Landsat 8-OLI (Operational Land Imager), ultima della famiglia Landsat, appartenente alla costellazione NASA e Sentinel (in particolare 2A e 2B) lanciate dall'ESA nell'ambito del programma Copernicus.

L'utilizzo dei dati di remote sensing consente di ottenere mappe sinottiche di distribuzione superficiale delle variabili geofisiche di interesse per la valutazione della



qualità dell'area marina oggetto di studio, quali la concentrazione di solido sospeso, clorofilla *a* e CDOM.

Per quanto i dati remoti rimangono uno strumento fondamentale per l'analisi e la descrizione dei processi marini, permane un grande limite rappresentato dalla disponibilità delle immagini, fortemente legata alla sensoristica (nel caso di eventuale copertura nuvolosa che impedisce di avere dati nelle bande del visibile), e dai tempi di rivisitazione.

La famiglia dei satelliti Landsat opera con sensori ad alta risoluzione per acquisire sistematicamente dati di riflettanza in un'area 180x180 Km della superficie terrestre con una risoluzione spaziale di 30 m; grazie a queste caratteristiche il loro impiego fornisce un contributo significativo al monitoraggio delle aree marine costiere, dove le peculiari caratteristiche delle shallow water richiedono una maggiore risoluzione sia radiometrica che spaziale (acque di Caso 2). Inoltre, il nuovo sensore OLI presenta caratteristiche potenziate in termini di numero di bande di acquisizione, come la banda blu Coastal, e di radiometria, mantenendo allo stesso tempo le stesse funzionalità di base per quanto concerne risoluzione e intervalli di rivisitazione rispetto ai precedenti sensori. Quest'ultimo fattore può però rappresentare un limite nelle applicazioni, in quanto un intervallo di acquisizione dati di 16 giorni risulta, talvolta, insufficiente per lo studio dei fenomeni marino costieri, caratterizzati per loro natura da rapidi mutamenti e intervalli temporali ristretti spesso a pochi giorni, come ad esempio un dragaggio.

I Sentinel sono una famiglia di missioni sviluppate dall'ESA per far fronte alle esigenze operative del programma Copernicus. Ogni missione è dotata di una diversa gamma di tecnologie e si concentra su aspetti diversi dell'Osservazione della Terra: il monitoraggio atmosferico, quello oceanico e quello terrestre; i dati raccolti vengono utilizzati per un'ampia gamma di applicazioni. La missione Sentinel-2 si basa su una costellazione di due satelliti identici (2A e 2B) posizionati sulla stessa orbita al fine di ottenere copertura e trasmissione dei dati ottimali. I due satelliti viaggiano in orbita a una distanza di 180°



l'uno dall'altro, in modo tale che lo stesso punto al di sopra dell'equatore venga coperto ogni cinque giorni (o anche a intervalli più brevi, a latitudini maggiori).

Entrambi possiedono una strumentazione ottica, Sistema imaging Multispettrale (MSI, Multispectral imager), che misura la riflettanza in 13 bande spettrali da VNIR a SWIR, fornendo così informazioni destinate a molte applicazioni quali la mappatura delle variabili biofisiche e il monitoraggio costiero e delle acque interne e costiere.

I dati satellitari sono liberamente accessibili dai siti della NASA ocean.color.gsfc.nasa.gov (per il dato MODIS) e <http://glovis.usgs.gov> (per il dato Landsat8); qui è possibile selezionare l'area di interesse e visionare ogni giornata al fine di valutare la qualità del dato satellitare. Si deve infatti considerare che il segnale luminoso della superficie del mare (ma anche della terra) ricevuto dal satellite è fortemente influenzato dagli strati di atmosfera attraversati durante il cammino ottico della radiazione elettromagnetica e in particolare, in presenza di copertura nuvolosa, non è possibile ottenere un dato qualitativamente valido.

A tal riguardo, il processamento dei dati satellitari ha previsto l'utilizzo di software specifici per la correzione atmosferica, quale ACOLITE.

Il software Acolite è stato sviluppato specificatamente per il Landsat8-OLI, poiché l'osservazione da remote sensing delle aree costiere tramite la banda coastal necessita di una più accurata procedura di correzione atmosferica, in particolare per quanto riguarda il contributo dell'aerosol per la radiazione al top dell'atmosfera (TOA); a tale scopo è stato sviluppato uno specifico algoritmo correttivo basato sulla radiazione SWIR (Short Wave InfraRed), il quale permette una migliore restituzione del dato (ad esempio per il solido sospeso) per acque molto torbide, come appunto sono da considerare quelle costiere (Vanhellemont Q., Ruddick K., 2015).



7. STUDIO DELLA SPIAGGIA SOMMERSA, EMERSA E DEL RATEO DEPOSIZIONALE

7.1. Caratterizzazione della spiaggia sommersa

Al fine di acquisire dati utili nell'intero arco del progetto all'implementazione dei modelli matematici, verranno effettuate campagne per analizzare i profili della spiaggia sommersa nell'area di Fiumicino. I dati ricavati dalle suddette campagne di misura saranno utilizzati nelle simulazioni numeriche.

I profili della spiaggia sommersa saranno effettuati utilizzando un sistema di misura da sistema di posizionamento superficiale (GPS), sistema di acquisizione ed elaborazione dati, ecoscandaglio idrografico. Le operazioni di rilievo della spiaggia sommersa, al fine di avere la massima accuratezza, saranno effettuate prendendo in considerazione la correzione dell'effetto di marea.

7.1.1. Profili spiaggia sommersa area di Fiumicino

Durante la Fase 1 verrà effettuata una campagna di misura durante la quale verranno effettuate analisi *in situ* lungo n.5 transetti, fino alla batimetrica dei 30 metri.

Le indagini verranno effettuate nelle fasi progettuali Fase 1, Fase 2 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1 - Sarà effettuata n.1 campagna di misura durante la quale verranno effettuati rilievi lungo n.5 transetti.
- Fase 2 - Verranno effettuate n.3 campagne di misura durante le quali verranno effettuati rilievi lungo n.5 transetti. Le suddette campagne di misura verranno effettuate rispettivamente in due stagioni significative e successivamente ad un evento meteomarinico estremo.

- Fase 3 - Verranno effettuate n.3 campagne di misura durante le quali verranno effettuati rilievi lungo n.5 transetti. Le suddette campagne di misura verranno effettuate rispettivamente in due stagioni significative e successivamente ad un evento meteomarinico estremo.

Transetto	Latitudine(N)	Longitudine(E)
TRAI	N41.78550	E12.21477
TRAf	N41.77032	E12.13462
TRBi	N41.75494	E12.22337
TRBf	N41.73919	E12.15287
TRCi	N41.73757	E12.22993
TRCf	N41.71209	E12.17988
TRDi	N41.73084	E12.25320
TRDf	N41.69453	E12.21078
TREI	N41.71826	E12.28697
TREf	N41.67607	E12.24593

Tabella 4. Lista delle coordinate di inizio e fine dei transetti per lo studio della spiaggia sommersa

7.1.2. Profili della spiaggia sommersa lungo l'area estesa

Verranno effettuati profili della spiaggia sommersa all'interno dell'Unità Fisiografica di riferimento lungo n.8 transetti, fino alla batimetrica dei 30 metri.

Queste attività di progetto saranno integrate/sostituite con l'utilizzo di un veicolo autonomo innovativo, che consentirà di aumentare il dettaglio e ottimizzare il campionamento. Il veicolo autonomo di superficie sarà equipaggiato con un ecoscandaglio *single beam* di precisione, sistema di posizionamento, sistema di acquisizione ed elaborazione dati. Le indagini verranno effettuate in condizioni di mare calmo e possibilmente in assenza di vento, percorrendo i transetti a velocità bassa e costante.

Le indagini verranno effettuate nelle fasi progettuali Fase 1, Fase 2 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1 - Verranno effettuate n.3 campagne di misura durante le quali verranno effettuati rilievi lungo n.8 transetti. Le suddette campagne di misura verranno effettuate in due stagioni significative e successivamente ad un evento meteomarinico estremo.
- Fase 2 - Verranno effettuate n.3 campagne di misura durante le quali verranno effettuati rilievi lungo n.8 transetti. Le suddette campagne di misura verranno effettuate in due stagioni significative e successivamente ad un evento meteomarinico estremo.
- Fase 3 - Verranno effettuate n.3 campagne di misura durante le quali verranno effettuati rilievi lungo n.8 transetti. Le suddette campagne di misura verranno effettuate in due stagioni significative e successivamente ad un evento meteomarinico estremo.

Transetto	Latitudine(N)	Longitudine(E)
TR1f	N41.61444	E12.35898
TR1i	N41.65411	E12.40701
TR2f	N41.85878	E12.08505
TR2i	N41.89074	E12.15580
TR3F	N41.81557	E12.11161
TR3i	N41.83824	E12.19038
TR4f	N41.64902	E12.30187
TR4i	N41.68916	E12.34954
TR5f	N41.42058	E12.59118
TR5i	N41.44153	E12.61632
TR6f	N42.02125	E11.82242
TR6i	N42.02684	E11.83023
TR7f	N41.52721	E12.48489
TR7i	N41.55311	E12.52196
TR8f	N41.93855	E11.96670
TR8i	N41.97250	E12.02800

Tabella 5. Lista delle coordinate di inizio e fine dei transetti per lo studio della spiaggia sommersa

7.1.3. Campionamenti della spiaggia sommersa

Al fine di acquisire dati utili per la validazione dei modelli matematici e della strumentazione automatica, verranno effettuati campionamenti della spiaggia sommersa sia lungo i n. 5 transetti nell'area di Fiumicino, che lungo i n.8 transetti distribuiti nell'Unità Fisiografica. Nel dettaglio, verranno effettuate: n.2 campagne di campionamento, durante le quali verranno prelevati campioni di sedimento superficiale alle profondità di 2, 5 e 10 m lungo n.5 transetti, per un totale di n.30 campioni; n. 1 campagna di campionamento, durante la quale verranno prelevati campioni di sedimento superficiale alle profondità di 2, 5 e 10 m lungo n.8 transetti, per un totale di n.24 campioni. Il campionamento dei sedimenti superficiali verrà effettuato con campionatori a gravità, come riportato nel Decreto 15 luglio 2016, n. 173 (ex art 109, comma 2 del D.lgs 152/06) "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini". L'attività verrà effettuata durante la Fase 1. I campioni saranno analizzati dal punto di vista granulometrico, in particolare, verranno analizzate la frazione grossolana (> di 63 micron) e la frazione fine (< 63 micron) mediante *setacciatura meccanica* e *analisi strumentale* (ad esempio granulometria laser).

Nel corso del progetto la presente attività potrà essere integrata con il monitoraggio delle microplastiche associate al sedimento, ad ulteriore supporto della raccolta dati della Marine Strategy, in particolare del Descrittore 10 *marine litter*.

7.1.4. Campionamenti del sedimento per granulometrie in corrispondenza delle stazioni di benthos

In concomitanza delle indagini di caratterizzazione delle biocenosi bentoniche di fondo mobile, verranno integrati i campionamenti di spiaggia sommersa con stazioni ubicate alle batimetriche di 2, 5, 10, 20, e 30 m. Il campionamento dei sedimenti superficiali verrà



effettuato con campionatori a gravità, come riportato nel Decreto 15 luglio 2016, n. 173 (ex art 109, comma 2 del D.lgs 152/06) “Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”. I campioni verranno sottoposti ad analisi granulometrica. In particolare, verranno analizzate la frazione grossolana (> di 63 micron) e la frazione fine (< 63 micron) mediante *setacciatura meccanica e analisi strumentale* (ad esempio granulometria laser). L'attività verrà effettuata nella Fase 1 e nella Fase 3. L'ubicazione dei siti di campionamento è riportata nel paragrafo “Campagne comunità bentoniche”. Nel dettaglio:

- Fase 1 - Verrà effettuata n.1 campagna durante la quale verranno effettuati n.5 campioni (profondità di 2, 5, 10, 20, 30 m) lungo n.5 transetti, per un totale di 25 campioni.
- Fase 3 - Verrà effettuata n.1 campagna durante la quale verranno effettuati n.5 campioni (profondità di 2, 5, 10, 20, 30 m) lungo n.5 transetti, per un totale di 25 campioni.

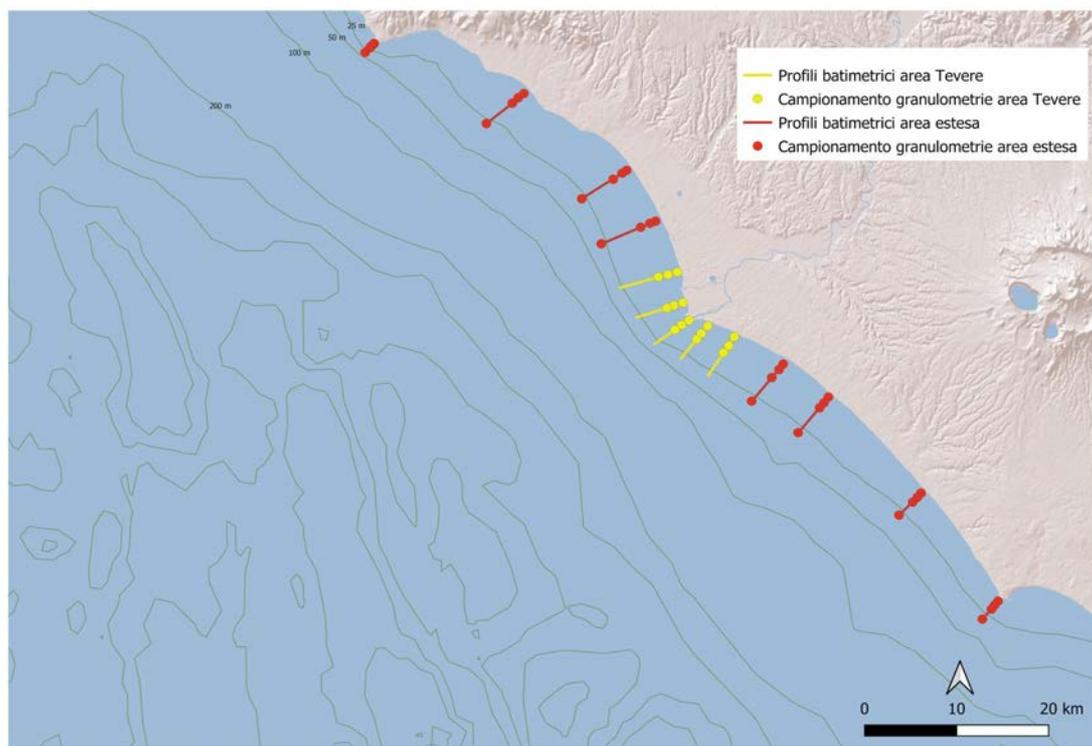


Figura 36 Ubicazione dei transetti e dei siti di campionamento “Analisi dei profili e sedimenti della spiaggia sommersa”

ID	Longitudine	Latitudine
A2	12.0190996	41.9843319
A5	12.0183907	41.9830559
A10	12.0156969	41.9792278
A20	11.9966982	41.9488865
A30	11.9849303	41.9290371
B2	12.1458372	41.9089795
B5	12.1429166	41.906643
B10	12.139996	41.9045012
B20	12.1030016	41.8778264
B30	12.0843097	41.8638074
C2	12.1982134	41.8369378
C5	12.1939299	41.8355749
C10	12.1884781	41.8342119
C20	12.1324024	41.8180512
C30	12.1189676	41.8141571
D2	12.2188524	41.7898187
D5	12.215153	41.7886504
D10	12.2032758	41.7853404
D20	12.1472001	41.770348
D30	12.1378542	41.7680115
E2	12.3155926	41.7126907
E5	12.3132139	41.7092416
E10	12.308018	41.7017442
E20	12.2935623	41.6754833
E30	12.2864729	41.6613803

Tabella 6. Lista delle coordinate delle stazioni di granulometria corrispondenti alle stazioni di benthos



7.1.5. Campagne batimetriche multibeam area portuale

Le indagini effettuate nell'area oggetto di studio dall'Autorità Portuale nel corso del progetto saranno rese disponibili e utilizzate per integrare quanto raccolto durante le attività di ricerca previste.

7.2. Caratterizzazione della spiaggia emersa

7.2.1. Profili della spiaggia emersa

La spiaggia emersa è un elemento soggetto ad elevata variabilità intra annuale, in quanto risente dei processi idrodinamici, indotti dal moto ondoso e del vento, che avvengono lungo l'intero sistema costiero che si estende dalla retroduna fino al limite verso mare della spiaggia sommersa. Essendo un sistema estremamente volubile il suo monitoraggio risulta essere un fattore fondamentale per la corretta analisi del bilancio sedimentario delle spiagge, necessariamente collegato all'analisi morfo-batimetrica della spiaggia sommersa.

I rilievi saranno effettuati in n. 4 aree: Campo di Mare presso la foce del torrente Zambra; Passoscuro presso la riserva naturale dune costiere; Focene; spiaggia di Castel Fusano.

I rilievi verranno effettuati mediante l'utilizzo di DGPS per una corretta e precisa geolocalizzazione della linea di riva. L'elevazione del terreno per indagare la morfologia della spiaggia emersa verrà effettuata mediante un Real-Time Kinematic (RTK) DGPS.

I rilievi verranno effettuati in un massimo di 4 aree di spiaggia, comprese tra Palidoro e Castel Fusano, con particolare riferimento ad arenili che conservano caratteristiche di naturalità (ad esempio la presenza di ambiente dunale e un basso grado di urbanizzazione), Le indagini verranno effettuate nei periodi invernali, estivi e post mareggiata, nelle fasi progettuali Fase 1, Fase 2 e Fase 3. Nel dettaglio:



- Fase 1 - Verranno effettuati n.2 rilevamenti in un massimo di 4 aree, in due stagioni significative, per un massimo di n.16 rilevamenti.
- Fase 2 - Verranno effettuati n.2 rilevamenti in un massimo di 4 aree, in tre stagioni significative, per un massimo di n.24 rilevamenti.
- Fase 3 - Verranno effettuati n.2 rilevamenti in un massimo di 4 aree, in tre stagioni significative, per un massimo di n.24 rilevamenti.

7.2.2. Campionamenti della spiaggia emersa

In corrispondenza di ogni area di spiaggia emersa scelta per l'indagine, verranno effettuati transetti perpendicolari alla linea di riva, lungo i quali verranno prelevati manualmente campioni di sedimento. I campioni verranno successivamente sottoposti ad analisi granulometrica. In particolare, verrà analizzata la frazione grossolana (> di 63 micron) mediante setacciatura meccanica. I campionamenti di sedimento lungo la spiaggia emersa verranno effettuati durante la fase progettuale Fase 1, Fase 2 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1 - Verranno effettuate n.2 campagne di campionamento in un massimo di n.4 aree. In ogni area verranno effettuati n.2 transetti, nei quali verranno prelevati n.3 campioni di sedimento, per un totale di n.48 campioni.
- Fase 2 - Verranno effettuate n.3 campagne di campionamento in un massimo di n.4 aree. In ogni area verranno effettuati n.2 transetti, nei quali verranno prelevati n.3 campioni di sedimento, per un totale di n.72 campioni.
- Fase 3 - Verranno effettuate n.3 campagne di campionamento in un massimo di n.4 aree. In ogni area verranno effettuati n.2 transetti, nei quali verranno prelevati n.3 campioni di sedimento, per un totale di n.72 campioni.

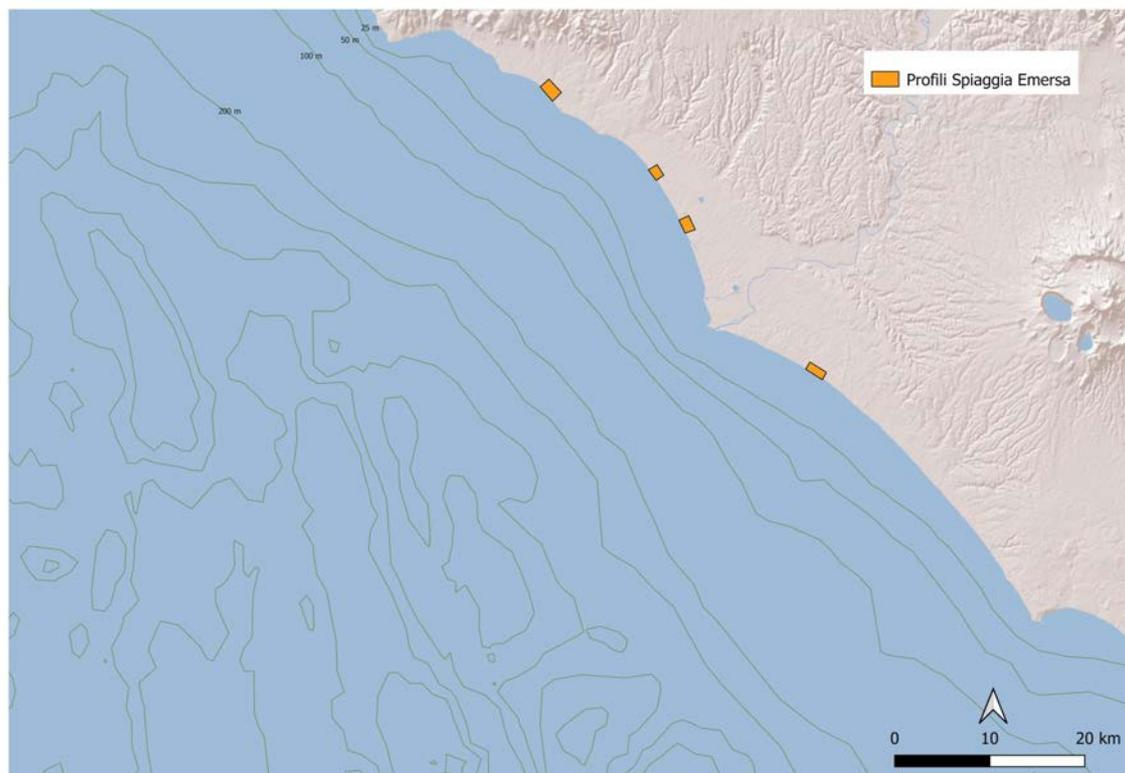


Figura 37 Ubicazione arenili per l'analisi dei profili e dei sedimenti della spiaggia emersa

7.3. Studio del rateo di sedimentazione

Al fine di dettagliare maggiormente la dinamica deposizionale dell'area interessata dagli apporti continentali del fiume Tevere, sarà effettuato n.1 carotaggio in corrispondenza della batimetrica dei 50 m nell'area di delta.

I risultati della geocronologia delle carote di sedimento, ottenuti attraverso l'analisi degli isotopi ^{210}Pb e ^{137}Cs dei vari strati, forniranno il rateo di deposizione nell'area della foce del Tevere. Il metodo utilizzato consentirà di ottenere un rateo di sedimentazione a medio e lungo termine quasi assoluto.



Il rateo deposizionale verrà successivamente confrontato direttamente con i valori ottenuti dagli scenari modellistici relativi alla dinamica sedimentaria. Il confronto verrà effettuato in entrambe le fasi progettuali (Fase 1 e Fase 3), operando un controllo sui valori modellistici sia nella fase ante-operam che nella fase post-operam. Verrà anche valutata l'eventuale variazione temporale delle curve di deposizione nel punto di prelievo dei carotaggi.

L'attività verrà eseguita durante le fasi progettuali Fase 1 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1 – Verrà effettuato n.1 carotaggio alla profondità di 50 m, dal quale verranno ricavati n.10 strati da sottoporre ad analisi.
- Fase 3 – Verrà effettuato n.1 carotaggio alla profondità di 50 m, dal quale verranno ricavati n.10 strati da sottoporre ad analisi.

Carotaggio		
ID	Longitudine	Latitudine
Geo	12.15613	41.72845

Tabella 7. Lista delle coordinate del punto di carotaggio

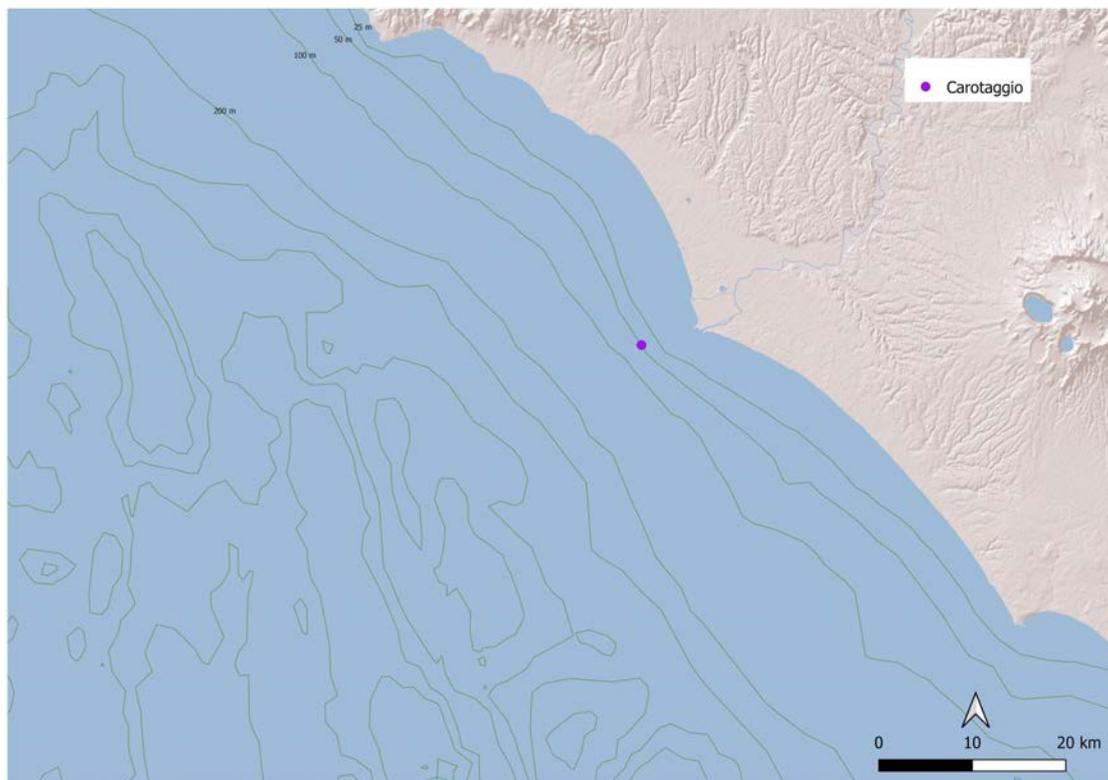


Figura 38 Ubicazione del sito per lo studio del rateo di sedimentazione

7.4. Analisi dei sedimenti funzionale alle attività di dragaggio

In concomitanza con le indagini di caratterizzazione delle biocenosi bentoniche di fondo mobile, verranno effettuati campionamenti di sedimento superficiale alle profondità di 2, 5, 10, 20 e 30 m. Il campionamento verrà effettuato con campionatori a gravità, come riportato nel Decreto 15 luglio 2016, n. 173 (ex art 109, comma 2 del D.lgs 152/06) “Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”. I campioni una volta prelevati saranno conservati per poi essere sottoposti ad analisi chimica. In particolare, gli elementi presi in considerazione saranno quelli i cui risultati hanno superato i valori limite di riferimento

(LCB e LCL elaborati da ISPRA su base locale da Onorati et al. 2012), come riportato nella Relazione Tecnica Sintetica "Caratterizzazione ambientale dei sedimenti del porto canale di Fiumicino", redatta nel 2015 dall'Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, e nello specifico: As, Cu, Ni, Pb, Zn, Al, Antracene, PCB. Questi ultimi saranno eventualmente aggiornati in funzione delle risultanze delle analisi previste per l'aggiornamento della caratterizzazione ambientale dei sedimenti previsto prima dell'inizio delle attività di dragaggio e propedeutico alle attività di escavo.



Figura 39 Ubicazione delle stazioni per la nuova caratterizzazione ambientale dei sedimenti



L'attività sarà effettuata durante le fasi progettuali Fase 1 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1 - Verrà effettuata n.1 campagna durante la quale verranno effettuati n.5 campioni (profondità di 2, 5, 10, 20, 30 m) lungo n.5 transetti, più n. 3 campioni lungo n.1 transetto nell'area portuale per un totale di n. 28 campioni.
- Fase 3 - Verrà effettuata n.1 campagna durante la quale verranno effettuati n.5 campioni (profondità di 2, 5, 10, 20, 30 m) lungo n.5 transetti, più n. 3 campioni lungo n.1 transetto nell'area portuale per un totale di n. 28 campioni.

L'analisi dei metalli verrà eseguita utilizzando i metodi EPA 3051A 2007 ed EPA 6010D 2014. L'analisi degli idrocarburi leggeri (Antracene) verrà eseguita secondo i metodi EPA 5035A/2002 ed EPA 8015D/2003. L'analisi dei congeneri di PCB seguirà i metodi EPA 3550C 2007 ed EPA 8270D 2014. I dati raccolti durante le campagne costituiranno un set di dati utile a soddisfare le disposizioni del D.M. 260/10 per la valutazione dello Stato Chimico. Infatti, le concentrazioni ottenute dall'analisi dei sedimenti verranno poi analizzate facendo riferimento a quanto riportato nel Dec. 8 novembre 2010, n. 260, Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo.

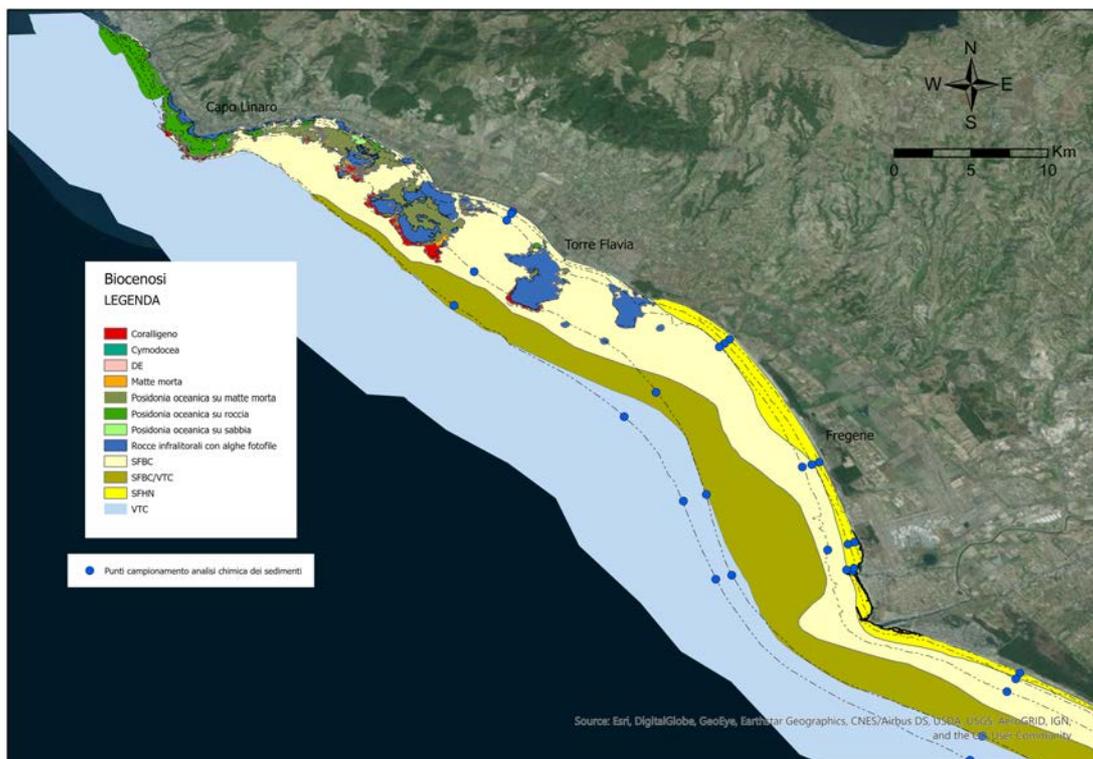


Figura 40a Ubicazione dei siti di campionamento per l'analisi chimica dei sedimenti nell'area Nord

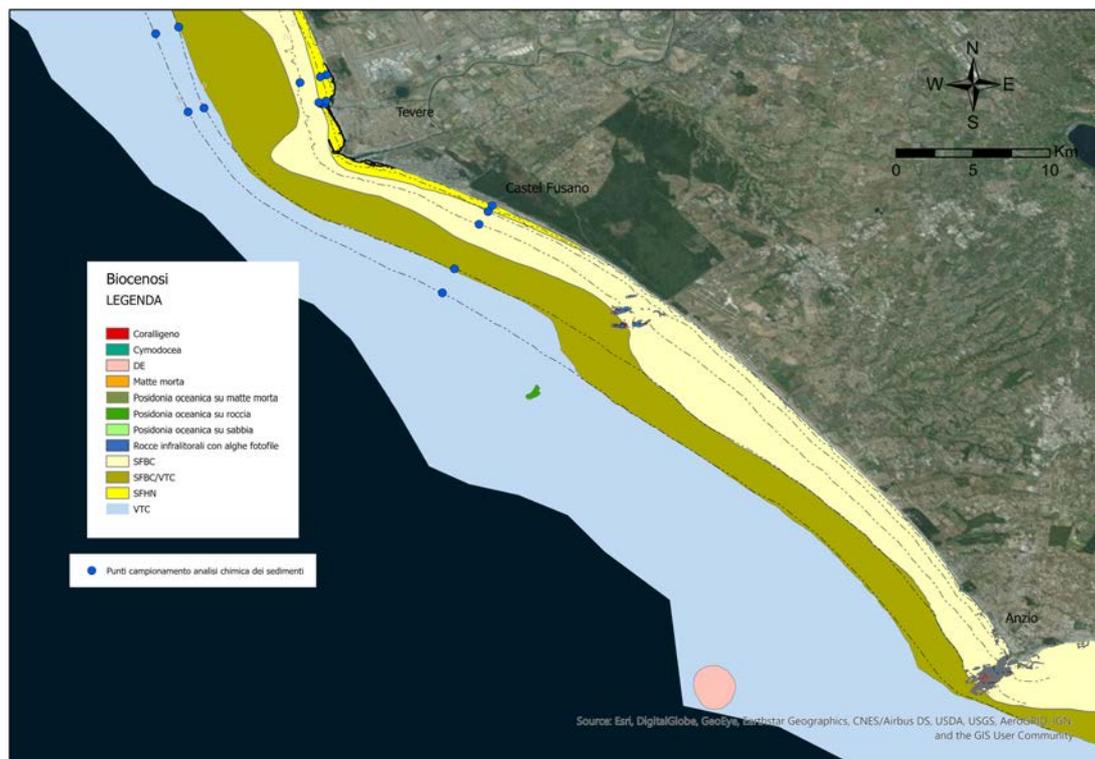


Figura 40b Ubicazione dei siti di campionamento per l'analisi chimica dei sedimenti nell'area Sud

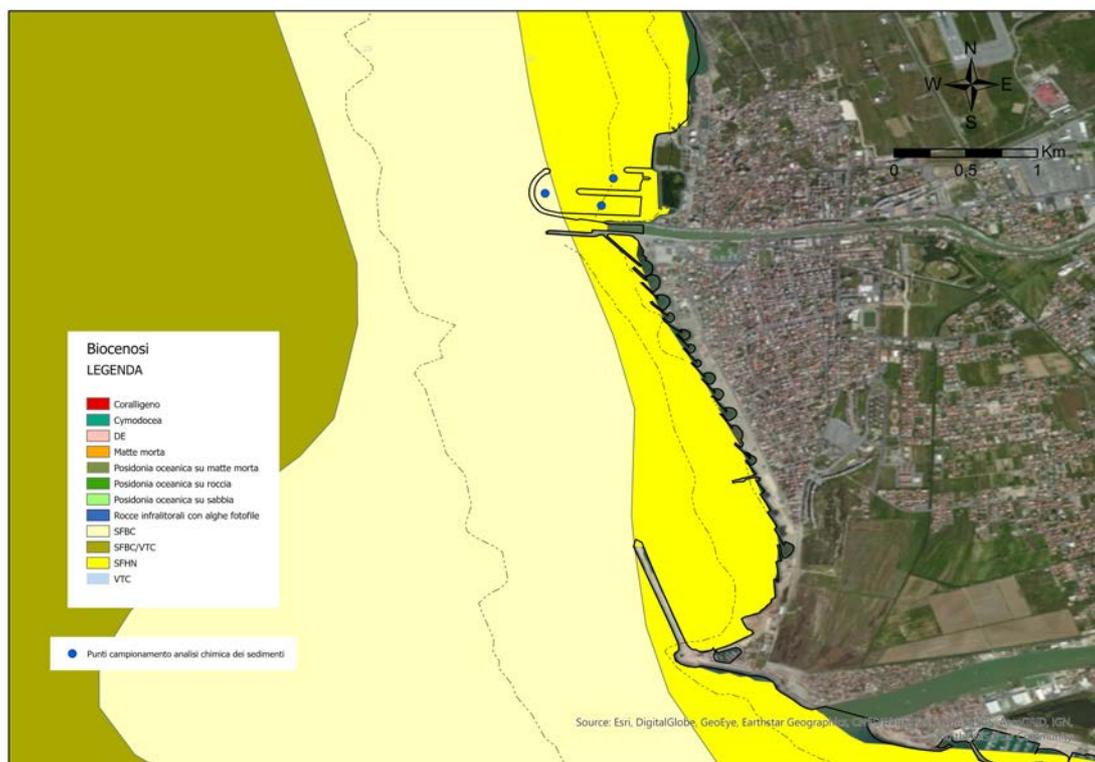


Figura 40c Ubicazione dei siti di campionamento per l'analisi chimica dei sedimenti nell'area portuale

ID	Longitudine	Latitudine
A2	12.0190996	41.9843319
A5	12.0183907	41.9830559
A10	12.0156969	41.9792278
A20	11.9966982	41.9488865
A30	11.9849303	41.9290371
B2	12.1458372	41.9089795
B5	12.1429166	41.906643
B10	12.139996	41.9045012
B20	12.1030016	41.8778264
B30	12.0843097	41.8638074
C2	12.1982134	41.8369378
C5	12.1939299	41.8355749
C10	12.1884781	41.8342119
C20	12.1324024	41.8180512
C30	12.1189676	41.8141571
D2	12.2188524	41.7898187
D5	12.215153	41.7886504
D10	12.2032758	41.7853404
D20	12.1472001	41.770348
D30	12.1378542	41.7680115
E2	12.3155926	41.7126907
E5	12.3132139	41.7092416
E10	12.308018	41.7017442
E20	12.2935623	41.6754833
E30	12.2864729	41.6613803
Porto 1	12.2185928	41.7745135
Porto 2	12.2178414	41.7727821
Porto 3	12.2143135	41.7735661

Tabella 8. Lista delle coordinate dei punti per l'analisi chimica dei sedimenti

8. CARATTERIZZAZIONE DEI PRINCIPALI CORSI D'ACQUA RILEVANTI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DEGLI INPUT FLUVIALI

Le campagne di misura verranno effettuate in corrispondenza di cinque foci fluviali (Fig.41), relative al Fiume Tevere (Fiumicino e Fiumara grande), Canale dei Pescatori di Ostia, torrente Arrone a Fregene e torrente Zambra a Campo di Mare. Di seguito il dettaglio delle attività, come anche richiesto nelle Considerazioni Tecniche ISPRA 2020

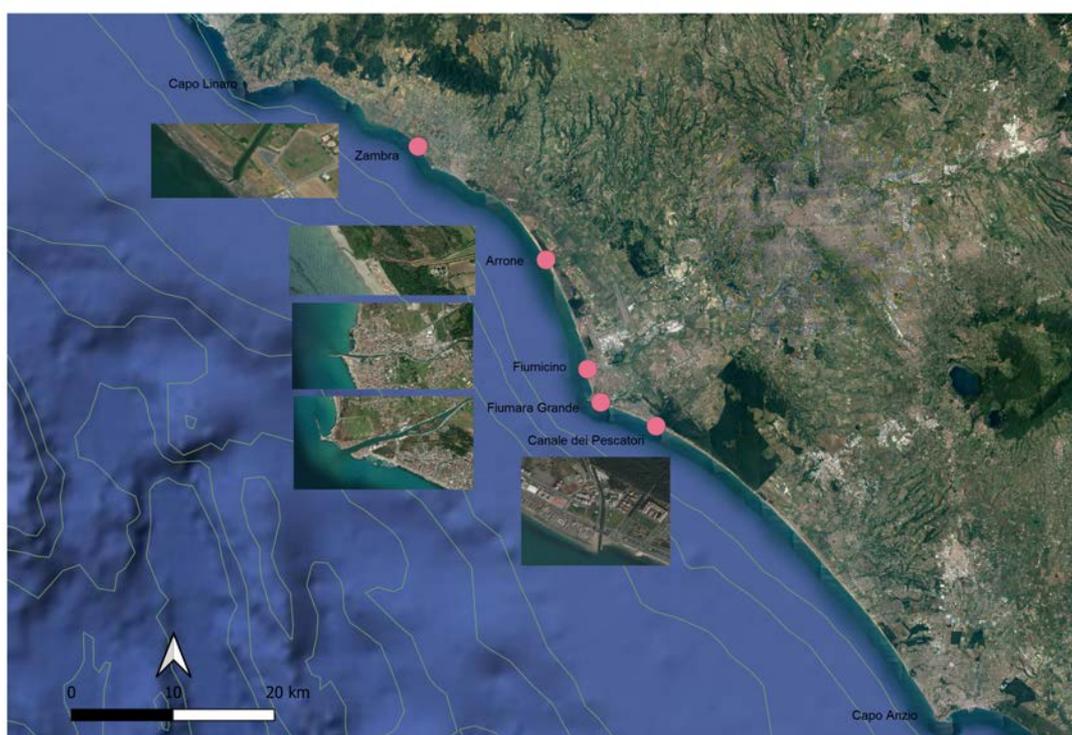


Figura 41 Carta dei punti di rilievo delle foci fluviali nell'Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio.



La distribuzione dei punti di foce in cui effettuare le campagne di misura è stata stabilita in funzione di criteri di rilevanza (come nel caso delle due foci del fiume Tevere) e di criteri di confrontabilità con le campagne di misura di spiaggia emersa. In particolare, il torrente Zambra (Campo di Mare) è stato scelto poiché la sua foce è situata in corrispondenza del tratto di spiaggia emersa oggetto di studio più settentrionale ed il Canale dei Pescatori è il corso d'acqua che drena i territori situati nell'entroterra dell'area di Ostia. La foce del torrente Arrone (Fregene) è stata scelta in quanto rappresenta il corso d'acqua più importante tra quelli prossimi al delta del Tevere.

Considerando la scarsa quantità di dati idrologici e morfologici relativi ai corsi d'acqua minori nell'area di progetto, i dati acquisiti durante la Fase 1 verranno condivisi con gli enti preposti al controllo ed alla gestione dei suddetti bacini idrografici. Inoltre, indicatori e frequenza delle indagini durante le fasi progettuali successive verranno condivisi al fine di attuare eventuali integrazioni, se ritenute necessarie.

Canale dei Pescatori (Ostia)

Il Canale dei Pescatori è un corso d'acqua artificiale e raccoglie le acque dai corsi minori del Fosso del Dragoncello, il Canale della Lingua e di Pantanello. Inoltre, riceve le acque delle idrovore della zona al di sotto del livello del mare (acque medie e basse). Il Canale dei Pescatori venne realizzato in epoca romana (356 a.C.) al fine di drenare i terreni paludosi.

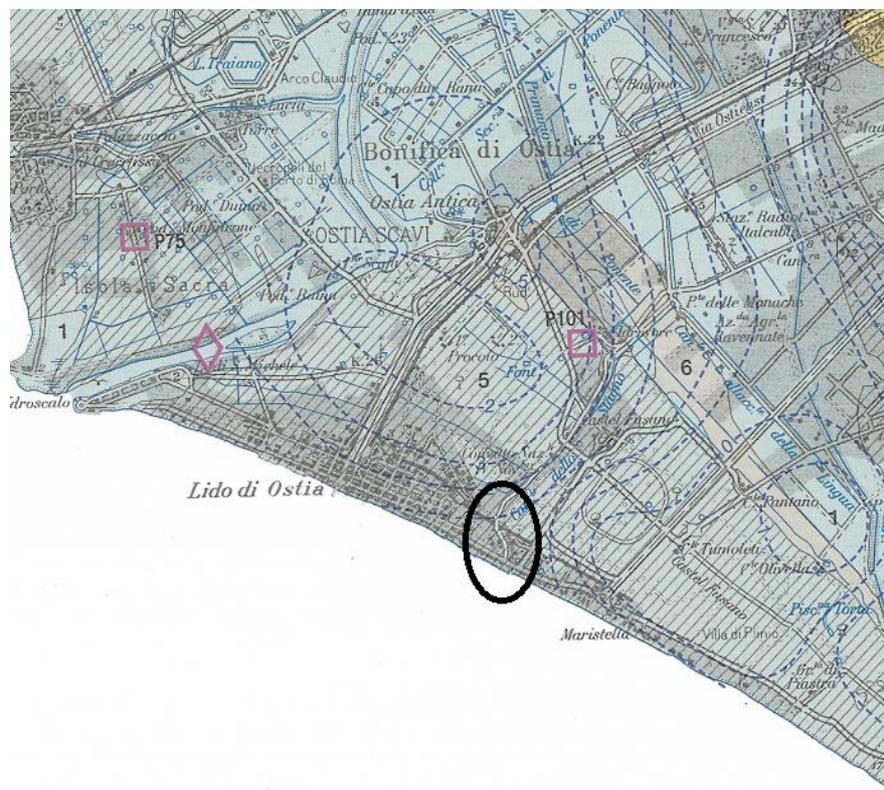


Figura 42 Canale dei Pescatori (Ostia) (Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio)

Fiume Tevere

Il principale fiume dell'Italia centrale e terzo fiume italiano per lunghezza (405 km). Il Tevere sfocia nel Mar Tirreno nei pressi di Ostia, in un delta di due soli bracci: uno naturale (Fiumara grande) che dà origine alla foce vera e propria e uno artificiale scavato in epoca romana (Canale di Traiano) o Fiumara piccola. Il bacino idrografico misura 17375 km² di superficie. I punti di misura sono posti in corrispondenza della foce di Fiumara piccola e Fiumara grande.

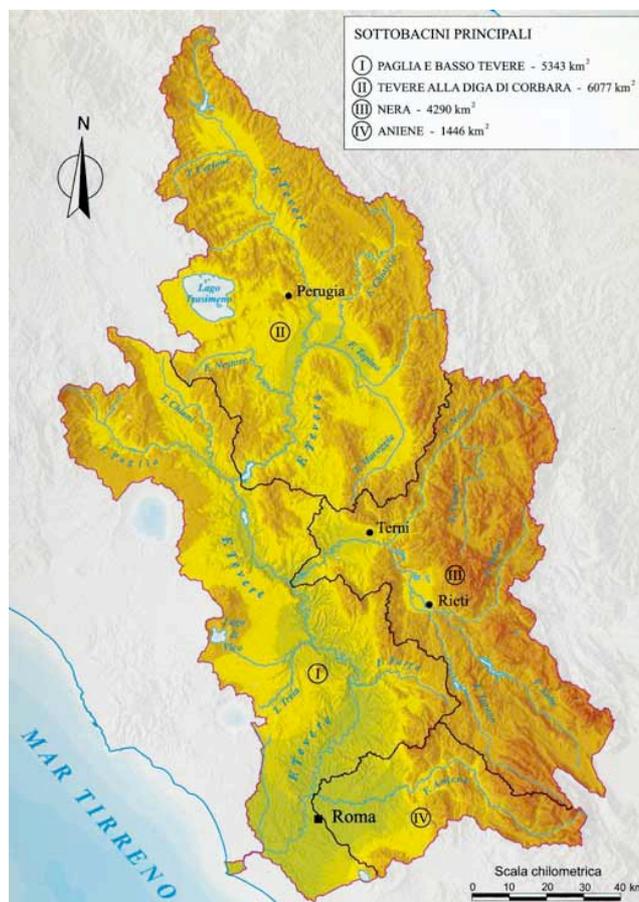


Figura 43 Bacino idrografico del Fiume Tevere (Bersani e Bencivenga, 2001).

Arrone (Fregene)

L'Arrone scorre nella provincia di Roma ed è lungo 35 km. Nasce nella parte sud-orientale del lago di Bracciano, ad Anguillara Sabazia, e sfocia a Fiumicino, tra Maccarese e Fregene. Il bacino misura 125 km² di superficie.

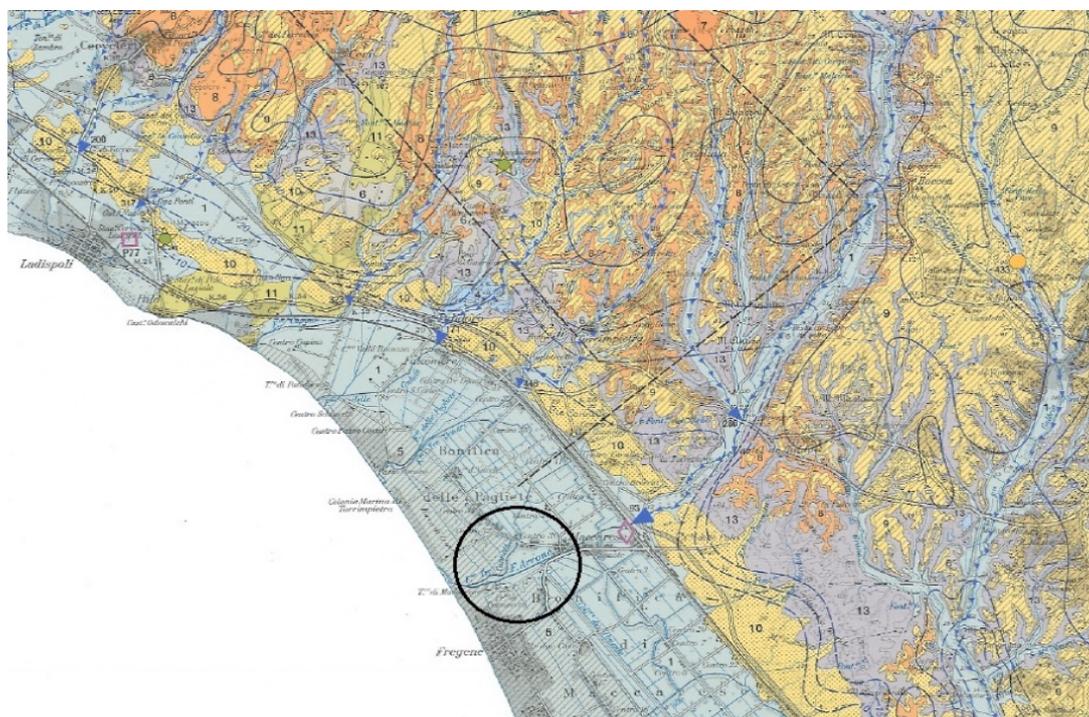


Figura 44 Fiume Arrone (Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio).

Zambra (Campo di Mare)

Il corso d'acqua ha origine sulle pendici occidentali di Costa Catena, a quota di 175 metri circa e riceve il contributo di diversi fossi lungo il suo percorso. La lunghezza d'asta del fosso, fino all'inizio della piana costiera è di 10.8 km e la sua pendenza media è di circa 1,5%. La superficie del bacino è di circa 20 kmq.

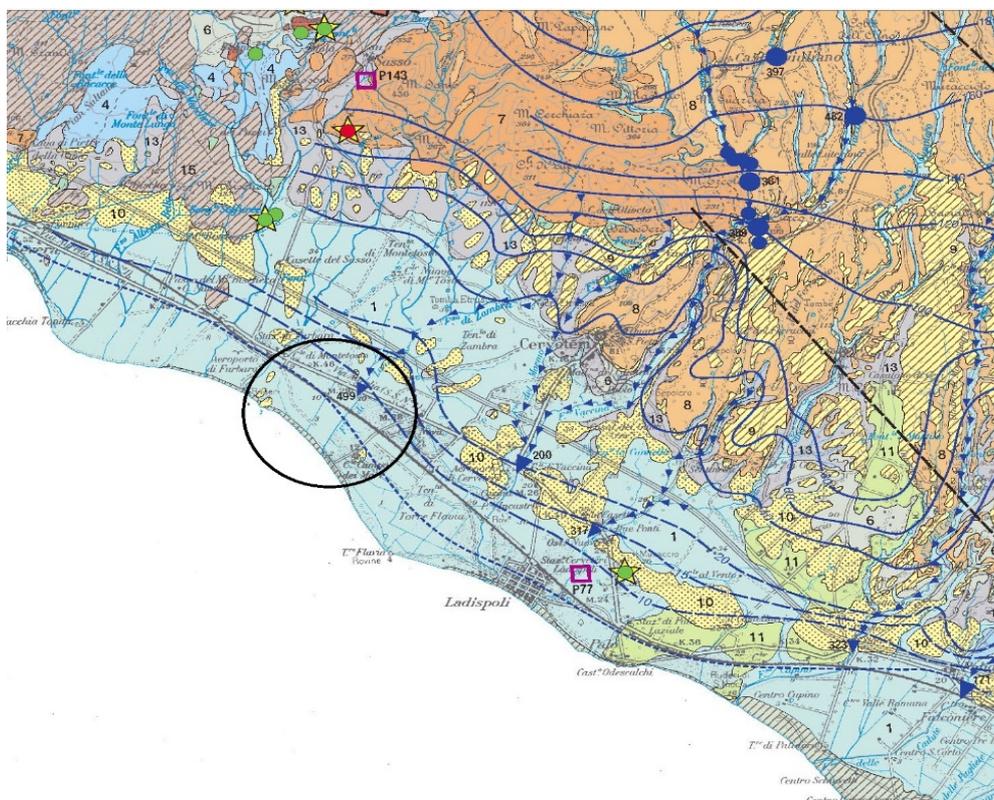


Figura 45 Fiume Zambra (Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio).

8.1. Misure di alveo in prossimità della foce

L'analisi del trasporto fluviale avverrà principalmente mediante un approccio diretto basato su campagne di misure sul campo relative a: (a) misura dell'ampiezza dell'alveo nel tratto fluviale precedente allo sbocco in mare; (b) misura idrometrica; (c) misure della velocità della corrente fluviale nella sezione di misura idrometrica. Le indagini verranno effettuate durante i periodi sia di magra sia di portata media dei corsi d'acqua al fine di ottenere informazioni relative a diverse condizioni di portata. Le misure di alveo in prossimità della foce dei corsi d'acqua verrà effettuata durante le fasi progettuali Fase 1 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1 – Verranno effettuate indagini in prossimità delle n.5 foci di n.4 corsi d'acqua in n.2 periodi, rispettivamente in condizioni di magra e di piena.
- Fase 3 – Verranno effettuate indagini in prossimità delle n.5 foci di n.4 corsi d'acqua in n.2 periodi, rispettivamente in condizioni di magra e di piena.

8.2. Analisi degli apporti liquidi e solidi dei principali corsi d'acqua

Verranno caratterizzati gli apporti fluviali liquidi e solidi dei corsi d'acqua indagati attraverso un approccio indiretto basato su formulazioni teorico-empiriche geomorfologiche, idrologiche e idrauliche. Inoltre, verranno effettuati campionamenti di sedimento superficiale delle foci fluviali dei corsi d'acqua considerati durante i periodi sia di magra sia di portata media. I sedimenti campionati verranno analizzati dal punto di vista granulometrico. In particolare, verranno analizzate la frazione grossolana (> di 63 micron) e la frazione fine (< 63 micron) mediante setacciatura meccanica e analisi strumentale (ad esempio granulometria laser). La caratterizzazione dei corsi d'acqua verrà effettuata durante le fasi progettuali Fase 1 e Fase 3. Nel dettaglio:



- Fase 1– Verranno effettuate indagini in prossimità delle n. 5 foci di n. 4 corsi d'acqua, in n.3 periodi, considerando anche condizioni di magra e di piena, per un totale di n.15 campioni.
- Fase 3 – Verranno effettuate indagini in prossimità delle n. 5 foci di n. 4 corsi d'acqua, in n.3 periodi, considerando anche condizioni di magra e di piena, per un totale di n.15 campioni.

9. STUDIO DEL COMPARTO BIOTICO

Nell'ambiente marino, le comunità bentoniche comprendono l'insieme degli organismi animali e vegetali che popolano il fondo e che sono ad esso strettamente legati. I numerosi fattori abiotici e l'elevato numero di specie animali e vegetali creano una straordinaria diversificazione dell'ambiente, spesso difficile da analizzare e schematizzare ma di enorme importanza nella comprensione della qualità delle acque marine costiere.

Le comunità bentoniche rivestono un ruolo fondamentale nella caratterizzazione e nella funzionalità degli ecosistemi marini costieri, in quanto, per le loro caratteristiche di persistenza, costituiscono delle vere e proprie memorie biologiche capaci di integrare nel tempo eventi distinti (Pearson T.H., Rosenberg R., 1978). Inoltre, rappresentano uno dei passaggi coinvolti nel ciclo dei nutrienti, partecipando allo scambio di sostanze tra sedimenti e colonna d'acqua. L'estrema eterogeneità trofico-funzionale delle specie che compongono tali comunità e la presenza di cicli vitali complessi fa dello studio della comunità macrozoobentonica di fondo mobile e duro un prezioso strumento di valutazione dell'integrità ecosistemica, sia da un punto quantitativo che qualitativo.

Per le acque marine costiere l'utilizzo di parametri e indici biologici per studi di qualità ha avuto negli ultimi anni un notevole sviluppo. 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).

Poiché il Fiume Tevere è il principale vettore di sedimento nell'area di studio è necessario analizzare l'eventuale influenza delle opere sulla variazione delle comunità bentoniche estraendo la componente di stress dovuta agli apporti fluviali, valutando come qualsiasi modificazione del percorso del flusso di sedimento e della sua composizione potrà portare ad un'alterazione delle comunità bentoniche ad esso associate (Fresi et al. 1982).

Si rende quindi necessario un esame della comunità accurata e ripetuta, costituito da campionamenti effettuati nelle stesse stagioni (ante e post operam) che consentiranno di



ricavare una serie di dati utili alla valutazione degli effetti che l'opera induce sulle comunità nel tempo e nello spazio. Inoltre, si valuterà, grazie all'ausilio dei modelli matematici, il potenziale impatto sulle comunità bentoniche degli afflussi sedimentari prodotti dalle operazioni di escavo per la realizzazione delle opere portuali.

Il piano di campionamento ha lo scopo di analizzare le comunità bentoniche che caratterizzano l'unità fisiografica compresa tra Capo Linaro Capo D'Anzio ed è stato strutturato in modo da comprendere differenti tipologie di substrato come fondi mobili, fondi duri, coralligeno e praterie di *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813.

Il posizionamento delle stazioni di campionamento e il loro numero è stato predisposto sulla base dei risultati delle simulazioni numeriche della Fase 0 utili ad evidenziare aree in grado di rappresentare significativamente possibili alterazioni nella struttura delle comunità bentoniche dovute alla realizzazione delle opere. Inoltre, il campionamento di maggior dettaglio delle aree "sensibili" sarà utile in futuro per determinare i cambiamenti a lungo termine che potranno avvenire nelle zoocenosi potenzialmente più impattate dall'opera.

9.1. Analisi del Benthos di fondo mobile

Al fine di analizzare le differenti biocenosi bentoniche che caratterizzano l'U.F., saranno effettuati n.5 transetti costa largo distribuiti sulla base dei risultati della modellistica numerica come riportato nel capitolo 'Valutazione degli Impatti Potenziali' (n.4 a Nord e n.1 a Sud rispetto all'opera), e come anche richiesto nelle Considerazioni Tecniche ISPRA 2020. Ogni transetto comprenderà n.5 punti di campionamento posizionati a profondità fisse di 2, 5, 10, 20 e 30 m per un totale di n.25 punti di prelievo e analisi, come riportato in Figg 47 e 48.

Le attività di campionamento saranno effettuate nel corso di n.2 campagne: una durante la Fase 1, prima dell'inizio delle attività di dragaggio e costruzione; l'altra durante la Fase 3, dopo le attività di cantiere.



Come previsto dalla normativa vigente e ai sensi del Dlgs 152/2006 e del Dlgs 260/2010 i campionamenti saranno eseguiti attraverso l'utilizzo di Benna Van Veen standard da 18 litri effettuando n.3 sottocampioni per un totale di 54 litri; per ogni sottocampione sarà verificato che lo strumento abbia lavorato in condizioni ottimali e che non ci sia stata fuoriuscita di sedimento, come descritto anche nel documento tecnico "Analisi delle comunità bentoniche di fondi mobili in ambiente marino" pubblicato e aggiornato dall'ISPRA. I campioni così raccolti saranno setacciati mediante maglia standard da 1mm, verranno stoccati in etanolo 75% ed in laboratorio saranno effettuate le operazioni di sorting e identificazione tassonomica.

Inoltre, in corrispondenza di ogni punto di campionamento verrà prelevato un campione di sedimento utile alla caratterizzazione dei substrati, che verrà effettuata tramite analisi granulometrica.

I risultati ottenuti dall'analisi dei campioni consentirà di elaborare l'indice AMBI (ATZI's Marine Biotic Index), uno degli indici più usati in Europa negli ultimi anni, il cui valore, m-AMBI, varia tra 0 ed 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) richiesto dalla Direttiva 2000/60/CEE. Questo indice sarà utilizzato al fine di valutare le potenziali variazioni dell'EcoQS nell'area di studio anche attraverso un confronto diretto con le valutazioni di qualità ecologica descritte dall'Arpa Lazio

La caratterizzazione del benthos di fondo mobile verrà effettuata durante le fasi progettuali Fase 1 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1– Sarà effettuata n.1 campagna lungo n. 5 transetti, in cui verranno prelevati n. 5 campioni per un totale di n.25 campioni.
- Fase 3 – Sarà effettuata n.1 campagna lungo n. 5 transetti, in cui verranno prelevati n. 5 campioni per un totale di n.25 campioni.



9.2. Analisi del Benthos di fondo mobile nell'area portuale

Al fine di ottenere una scala di indagine di dettaglio (strettamente locale) e di evidenziare la presenza di variazioni quali quantitative nelle comunità bentoniche associate ai substrati mobili presenti nell'area di costruzione, sono stati predisposti n.3 punti di campionamento all'interno dell'area interessata dai lavori, come riportato in Figura 46. I n.3 punti di campionamento saranno effettuati durante la Fase 1 e durante la Fase 3, mediante l'utilizzo di Benna Van Veen standard da 18 litri, per un totale di 3 sottocampioni a punto di prelievo, come previsto dalla normativa vigente e ai sensi del Dlgs 152/2006 e del Dlgs 260/2010 e descritto anche nel documento tecnico "Analisi delle comunità bentoniche di fondi mobili in ambiente marino" pubblicato e aggiornato dall'ISPRA.

La caratterizzazione del benthos di fondo mobile all'interno dell'area interessata dalle opere verrà effettuata durante le fasi progettuali Fase 1 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1– Sarà effettuata n.1 campagna, in cui verranno prelevati n. 3 campioni;
- Fase 3 – Sarà effettuata n.1 campagna, in cui verranno prelevati n. 3 campioni.

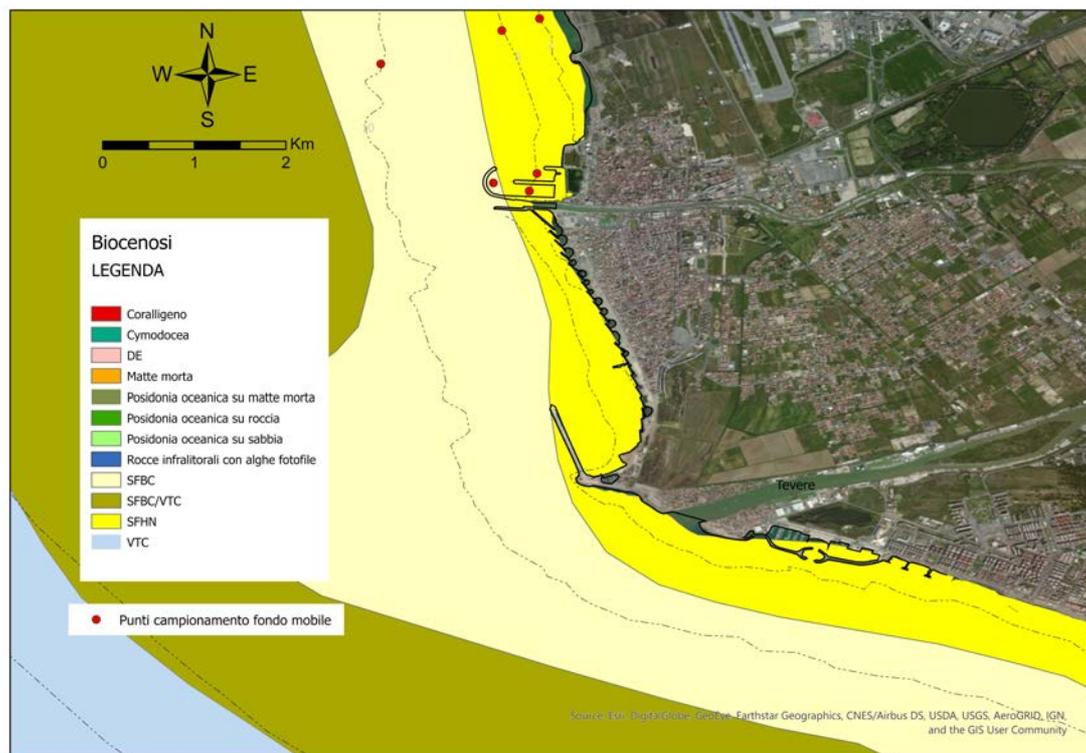


Figura 46 Ubicazione dei siti di campionamento per la caratterizzazione delle comunità bentoniche di fondo mobile nell'area interessata dalla costruzione delle nuove opere

Fondo Mobile		
ID	Longitudine	Latitudine
A2	12.0190996	41.9843319
A5	12.0183907	41.9830559
A10	12.0156969	41.9792278
A20	11.9966982	41.9488865
A30	11.9849303	41.9290371
B2	12.1458372	41.9089795
B5	12.1429166	41.906643
B10	12.139996	41.9045012
B20	12.1030016	41.8778264
B30	12.0843097	41.8638074
C2	12.1982134	41.8369378
C5	12.1939299	41.8355749
C10	12.1884781	41.8342119
C20	12.1324024	41.8180512
C30	12.1189676	41.8141571
D2	12.2188524	41.7898187
D5	12.215153	41.7886504
D10	12.2032758	41.7853404
D20	12.1472001	41.770348
D30	12.1378542	41.7680115
E2	12.3155926	41.7126907
E5	12.3132139	41.7092416
E10	12.308018	41.7017442
E20	12.2935623	41.6754833
E30	12.2864729	41.6613803
Porto 1	12.2185928	41.7745135
Porto 2	12.2178414	41.7727821
Porto 3	12.2143135	41.7735661

Tabella 9. Lista delle coordinate delle stazioni di benthos di fondo mobile

9.3. Analisi del Benthos di fondo duro

I substrati duri, che comprendono rocce infralitorali e substrati coralligeni, verranno indagati mediante campionamenti non distruttivi come ROV (Remotely Operated underwater Vehicle) su substrati a profondità comprese tra 35 e 50m, come indicato nel manuale “Monitoraggio e valutazione dello stato ecologico dell’habitat a coralligeno. Il coralligeno di parete, ISPRA, Manuali e Linee Guida n.191/2020” con riferimento alla (UNEP-MAP, 2017; 2019). I video e le foto prodotte saranno utilizzati per l’applicazione di uno o più indici tra cui: il MAES (Mesophotic Assemblages Ecological Status index, Cánovas-Molina et al., 2016), il MACS (Mesophotic Assemblages Conservation Status, Enrichetti et al., 2019) e il CBQI (Coralligenous Bioconstructions Quality Index, Ferrigno et al., 2018); questi indici, descritti e consigliati nei manuali ISPRA, sono stati concepiti allo scopo di analizzare filmati prodotti con veicoli operati da remoto.

Le indagini saranno eseguite in due aree distinte: a Nord in corrispondenza di Macchiatonda su cui la modellistica numerica ha evidenziato dei potenziali impatti dovuti al dragaggio portuale; a Sud in corrispondenza dell'AMP delle Secche di Tor Paterno. In entrambe le aree verranno effettuati n.3 transetti tramite ROV della distanza di 100/150 m ciascuno, posizionati in base alle caratteristiche biologiche e morfostrutturali dell’area; l’indagine e la caratterizzazione delle biostrutture coralligene sarà utile a evidenziare la presenza potenziale di alterazioni quali-quantitative legate alla costruzione dell’opera portuale.

Le indagini verranno eseguite tramite un ROV dotato di sistema di georeferenziazione, modello blue ROV 2 della Blue Robotics equipaggiato con un sistema di ripresa video HD e 4 illuminatori modello Lumen Subsea Light. L’utilizzo di tecniche di rilievo visivo da piattaforma remota georeferenziata, permetteranno di acquisire immagini, che verranno utilizzate per la caratterizzazione quali-quantitativa delle comunità presenti (foto o filmati in HD).



Nel dettaglio, la caratterizzazione del benthos di fondo duro verrà effettuata durante le fasi progettuali Fase 1 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1– Sarà effettuata n.1 campagna ROV lungo n. 3 transetti in n.2 aree;
- Fase 3 – Sarà effettuata n.1 campagna ROV lungo n. 3 transetti in n.2 aree.

Fondo duro/Posidonia oceanica		
ID	Longitudine	Latitudine
Fondo duro 1 inizio	11.8352	42.0285677
Fondo duro 1 fine	11.8300728	42.0200247
Fondo duro 2 inizio	11.9737399	41.9982502
Fondo duro 2 fine	11.922713	41.9711275
Fondo duro 3 inizio	12.3425744	41.6065873
Fondo duro 3 fine	12.3366203	41.5988102

Tabella 10. Lista delle coordinate di inizio e fine dei transetti

9.4. Analisi della *Posidonia oceanica*

Il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica* lungo l'U.F verrà effettuato tramite acquisizione di dati acustici raccolti con un ecoscandaglio scientifico MX AQUATIC HABITAT ECHOSOUNDER della BioSonics che funziona con un trasduttore a frequenza singola di 204.8 kHz. Tale tecnica di monitoraggio permette di stimare i descrittori sintetici strutturali (densità assoluta, relativa e copertura) della *P. oceanica*, con l'obiettivo di restituire una misura diretta dell'abbondanza della pianta nello spazio e se misurata su una scala temporale ampia, permette di definire la dinamica dello stato di salute dell'ecosistema. Verrà effettuato un totale di n.3 transetti, nel dettaglio: a Nord sarà effettuato nella prateria di Capo Linaro, come controllo di eventuali impatti nell'area di chiusura dell'UFCS; sempre a Nord n. 1 transetto sarà effettuato nella prateria localizzata



nelle Secche di Torre Flavia; a Sud un transetto verrà effettuato all'interno delle Secche di Tor Paterno. In ogni transetto verrà effettuato n.1 campionamento di calibrazione utile a validare i dati acustici; la calibrazione sarà effettuata tramite prelievi diretti e mediante l'analisi dei parametri morfo-strutturali della prateria, le operazioni di campionamento si svolgeranno mediante l'impiego di operatori subacquei.

L'analisi dello stato del posidonieto verrà effettuata mediante l'applicazione integrata di una serie di descrittori indicativi, seguendo i protocolli standardizzati riportati nelle "Metodologie analitiche di riferimento ICRAM-ISPRA" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (Cicero e Di Girolamo, 2001) e successive modifiche (Buia et al., 2003) e come previsto anche nei programmi di monitoraggio per la Strategia Marina (Art. 11, D.Lgs. 190/2010) con riferimento metodologico relativo al DM 260/2010, nell'attesa di seguire le metodologie e i protocolli standardizzati riportati nei nuovi piani di monitoraggio MSFD 2021-2026 che saranno emanati nei prossimi mesi, come previsto nel Report Nazionale sui Programmi di Monitoraggio per la Direttiva Marina Art.11, Dir. 2008/56/CE.

Nel dettaglio, la caratterizzazione della *Posidonia oceanica* verrà effettuata durante le fasi progettuali Fase 1 e Fase 3. Nel dettaglio:

- Fase 1– Sarà effettuata n.1 campagna in n. 3 aree;
- Fase 3 – Sarà effettuata n.1 campagna in n. 3 aree.

Fondo duro/Posidonia oceanica		
ID	Longitudine	Latitudine
Fondo duro 1 inizio	11.8352	42.0285677
Fondo duro 1 fine	11.8300728	42.0200247
Fondo duro 2 inizio	11.9737399	41.9982502
Fondo duro 2 fine	11.922713	41.9711275
Fondo duro 3 inizio	12.3425744	41.6065873
Fondo duro 3 fine	12.3366203	41.5988102

Tabella 11. Lista delle coordinate di inizio e fine dei transetti

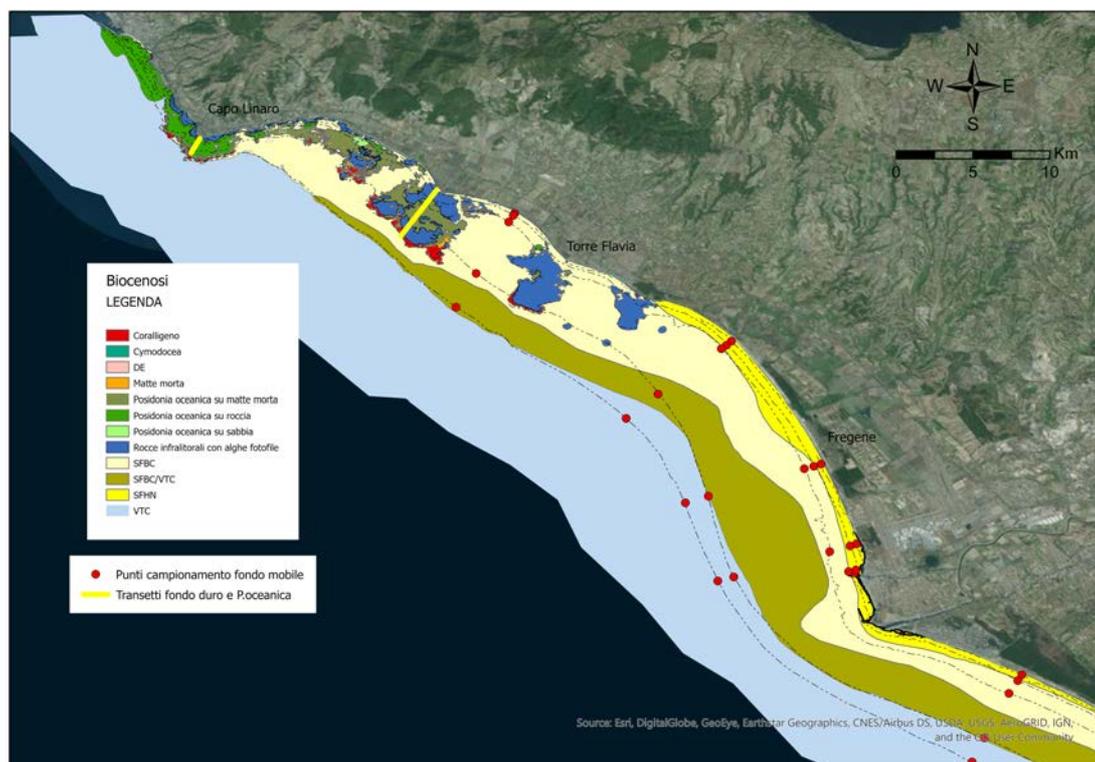


Figura 47 Ubicazione dei siti di campionamento per la caratterizzazione delle comunità bentoniche di fondo mobile e di fondo duro a Nord della foce del Tevere

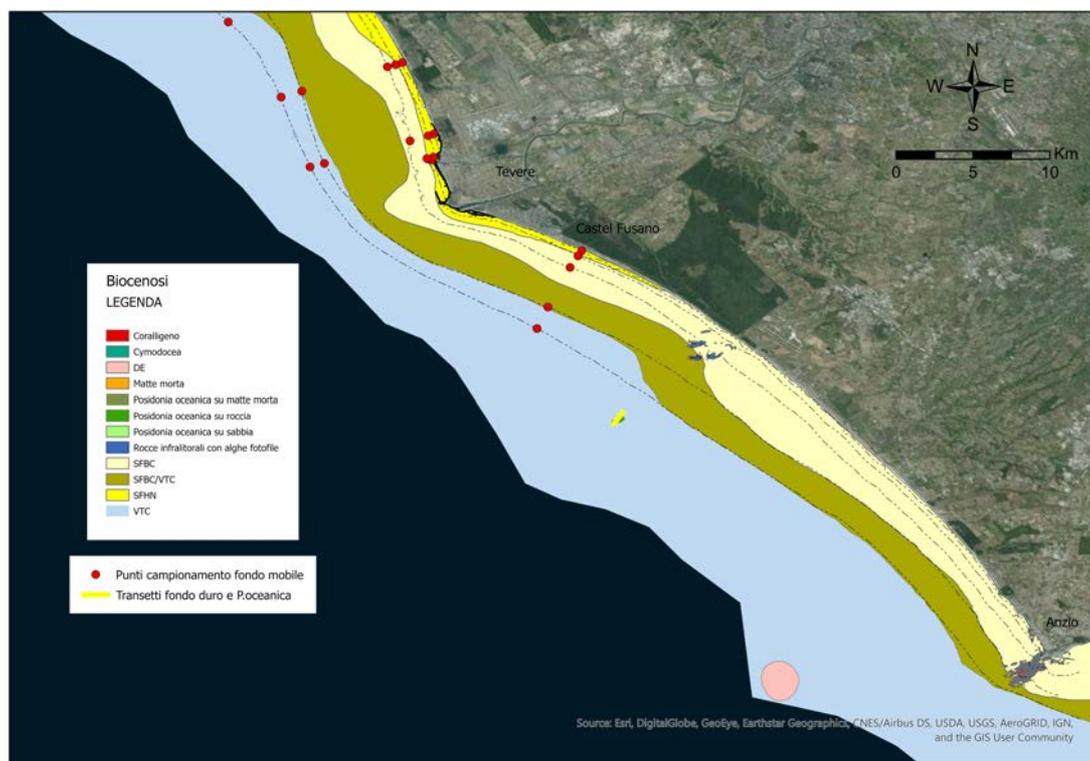


Figura 48 Ubicazione dei siti di campionamento per la caratterizzazione delle comunità bentoniche di fondo mobile e di fondo duro a Sud della foce del Tevere

9.5. Analisi delle variazioni quali-quantitative del pescato delle Marinerie locali

La costruzione di opere portuali e le operazioni di dragaggio ad essa associate possono alterare le caratteristiche quali-quantitative dei popolamenti ittici demersali e le reti trofiche ad esse associate.

Al fine di caratterizzare le popolazioni ittiche sfruttate dalla pesca locale e di creare un bianco utile a confronti futuri, saranno raccolti ed analizzati i dati quali quantitativi relativi al pescato delle marinerie locali degli ultimi 10 anni.



I dati saranno forniti dalle marinerie di Civitavecchia, Fiumicino e Anzio e saranno utilizzati per analizzare gli andamenti e le oscillazioni nei quantitativi di cattura a scala stagionale ed annuale. I dati raccolti saranno relativi sia alla pesca professionale con attrezzi da traino (strascico) che i dati relativi alla pesca costiera di bivalvi (vongole, telline, lupini ecc.) effettuata mediante sistemi di draghe idrauliche e rastrelli da natante (turbosoffianti - HMD/ draga meccanizzata - DRB).

Nella Fasi 1 e 3 si procederà alla raccolta (diari di bordo e descrizione del pescato giornaliero) dei dati quali quantitativi relativi al pescato delle marinerie locali; questi dati saranno utili ad evidenziare, attraverso un confronto diretto, se le attività di dragaggio comporteranno alterazioni dirette sia per quanto riguarda la composizione del pescato a livello specifico (dati qualitativi), sia per quanto riguarda le catture per unità di sforzo e la pescosità media (dati quantitativi).



10. MARINE STRATEGY FRAMEWORK DIRECTIVE

Tra le politiche di protezione dell'ambiente marino, la Direttiva Quadro 2008/56/CE sulla Strategia per l'ambiente marino (MSFD, *Marine Strategy Framework Directive*) ha come obiettivo il raggiungimento del buono stato ambientale (GES, “*Good Environmental Status*”) per le proprie acque\fondali\biota marini, attraverso l'attribuzione di un valore quantitativo e misurabile per 11 descrittori articolati attorno a una serie di dettagliati criteri e standard metodologici. La MSFD rappresenta il primo strumento Europeo legislativo che ingloba l'approccio ecosistemico integrato nella gestione delle attività umane e dei relativi impatti sull'ambiente marino.

L'attuazione del Decreto legislativo 190/2010 ha previsto, tra le altre fasi, “l'elaborazione dei Programmi di Monitoraggio coordinati, finalizzati a valutare in maniera continua lo stato dell'ambiente marino per stimare l'eventuale divario rispetto al buono stato ambientale definito o il suo mantenimento nel tempo. I criteri per la definizione del monitoraggio dei mari italiani sono stati definiti con l'obiettivo di colmare i gap conoscitivi in funzione dei GES e dei traguardi ambientali precedentemente definiti, raccordandosi alle attività di monitoraggio svolte ai sensi di altre normative e/o accordi internazionali”. I programmi di monitoraggio con i relativi sottoprogrammi sono stati ufficializzati con il D.M. del 11 febbraio 2015, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 2 marzo 2015.

Il progetto di monitoraggio proposto, finalizzato alla conoscenza delle potenziali alterazioni ed i potenziali effetti a breve e lungo termine, che la realizzazione della nuova area portuale potrà causare sull'ecosistema marino, fornisce un apporto a quanto richiesto dai Programmi e Sottoprogrammi di monitoraggio definiti per la valutazione continua dello stato ambientale delle acque marine comprese nell'unità fisiografica che va da Capo Linaro a Capo d'Anzio. Nell'ambito di questo progetto è prevista inoltre, l'integrazione



del piano di monitoraggio con alcuni indicatori associati ai target ambientali coerentemente con quanto indicato nel D.M. del 11 febbraio 2015.

Il contributo del presente progetto alla Marine Strategy è sintetizzato nella tabella di seguito.

Programma		attività connesse alla valutazione del raggiungimento dei traguardi ambientali del descrittore...
1 - Fito-Zooplankton, caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua e rifiuti spiaggiati		
1.1	Monitoraggio delle variabili chimico-fisiche in ambito costiero	5 - Eutrofizzazione
2 - Habitat del fondo marino e biodiversità.		
2.2	Monitoraggio dell'estensione dell'habitat a coralligeno	1 - Biodiversità e habitat, 6 - Integrità el fondale marino
2.3	Monitoraggio delle praterie di Poidonia oceanica	1 - Biodiversità e habitat, 6 - Integrità el fondale marino
2.7	Monitoraggio di specie bentoniche protette - Pinna nobilis	1 - Biodiversità e habitat
2.8	Identificazione e mappatura di aree ad rischio di introduzione di specie non indigene	2 - Specie non indigene
2.11	Monitoraggio associato alla valutazione di impatto di specie aliene invasive in aree marino costiere	2 - Specie non indigene
4 - Contaminanti ambientali e input di nutrienti.		
4.6	Monitoraggio delle concentrazioni di contaminanti chimici nei sedimenti	8 - Contaminanti chimici
6 - Condizioni idrografiche.		
6.1	Censimento di nuove infrastrutture costiere o offshore e altre attività antropiche potenzialmente in grado di alterare le condizioni idrografiche	7 - Condizioni Idrografiche
6.2	Monitoraggio costiero dei parametri chimico-fisici con piattaforme fisse	7 - Condizioni Idrografiche
6.4	Messa a sistema delle informazioni su topografia e batimetria del fondo marino e monitoraggio della loro evoluzione	1 - biodiversità e habitat, 6 - Integrità del fondo marino, 7 - Condizioni Idrografiche
6.5	Validazione della modellistica oceanografica in aree chiave	7 - Condizioni Idrografiche
6.9	Monitoraggio dei parametri chimico fisici a scala di sottobacino con navi oceanografiche, VOS e sistemi autonomi (drifter e glider)	7 - Condizioni Idrografiche
7 - Rumore sottomarino		
7.2	Monitoraggio dei suoni continui a bassa frequenza	11 - Rumore sottomarino

Tabella 12 Elenco delle attività che contribuiranno all'estrazione dei dati utili alla Marine Strategy Framework Directive



11. MODELLI NUMERICI APPLICATI ALLO STUDIO DEI POTENZIALI IMPATTI SUGLI ECOSISTEMI MARINI E SULLA DINAMICA SEDIMENTARIA

Di seguito si riporta la descrizione delle attività previste per la modellistica numerica utilizzata per studiare gli impatti potenziali sugli ecosistemi marini costieri e sulla dinamica sedimentaria dovuti alla realizzazione della nuova opera portuale. Al fine di perseguire tale obiettivo i dati raccolti nel corso di attività sperimentali descritte nei paragrafi precedenti saranno integrati nei modelli numerici (Figura 49).

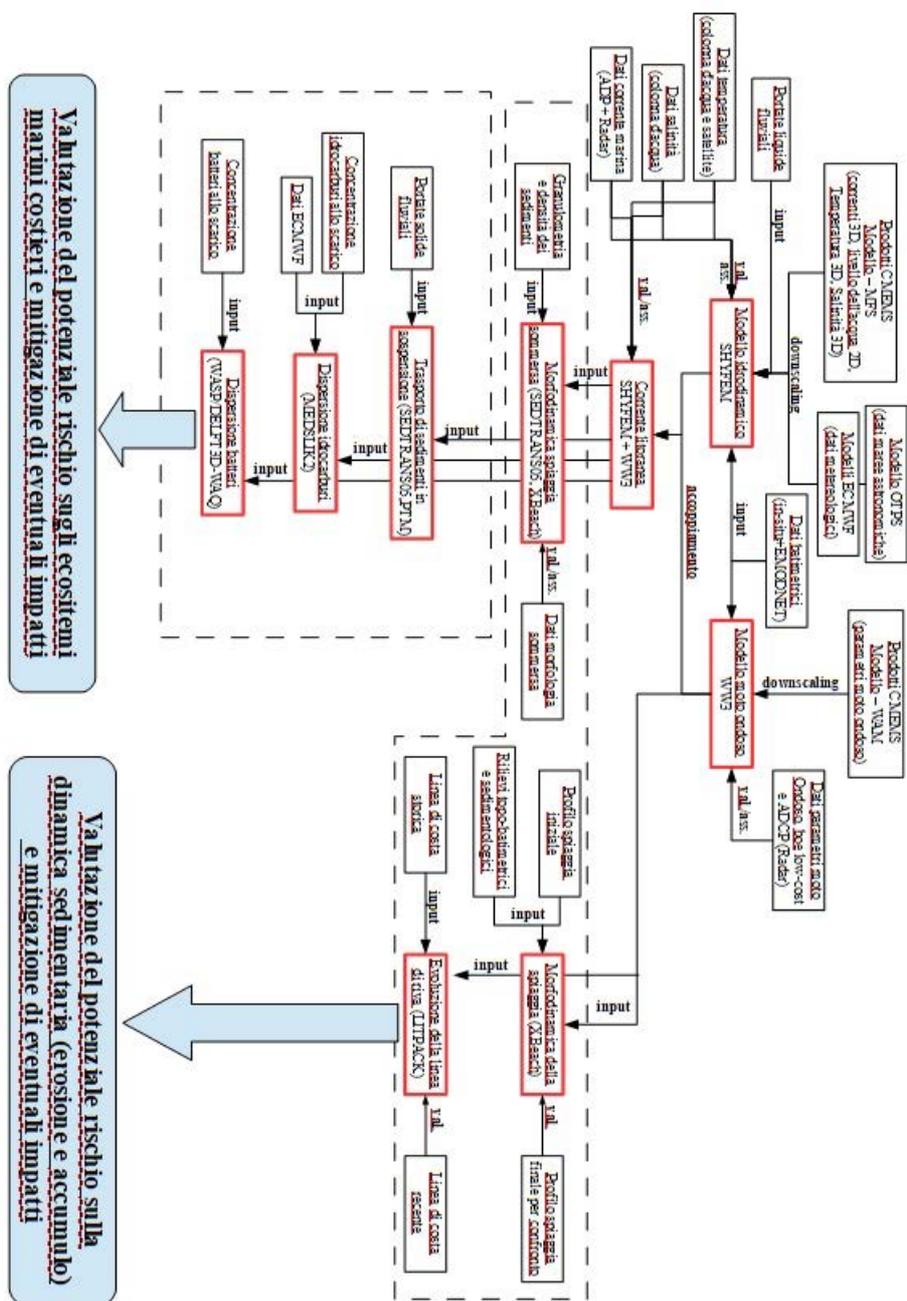


Figura 49 Ruolo e integrazione della modellistica numerica nel progetto di ricerca



11.1. Downscaling con modelli a scala regionale

Le condizioni iniziali e al contorno laterali del modello idrodinamico e di moto ondoso saranno forniti dai risultati dei modelli a scala di bacino e/o regionali presenti nel sistema Copernicus Marine Service che fornisce prodotti osservativi, di previsione, analisi e rianalisi di variabili ambientali marine utili per il monitoraggio della Terra. Tra i prodotti di previsione disponibili verranno utilizzati quelli relativi a:

- correnti marine prodotte dal modello MFS (Mediterranean Forecasting System);
- livello del mare rispetto alla superficie media prodotte dal modello MFS (Mediterranean Forecasting System);
- temperatura e salinità prodotte dal modello MFS (Mediterranean Forecasting System);
- parametri del moto ondoso calcolate attraverso il modello WAM nel Mar Mediterraneo.

Il livello del mare tiene anche conto della marea astronomica che viene fornita attraverso il modello OTPS (OSU Tidal Prediction Software). Per quanto riguarda le condizioni al contorno in superficie verranno utilizzati i dati meteorologici (temperatura di rugiada a 2m, temperatura dell'aria a 2m, velocità del vento a 10m, pressione atmosferica, copertura nuvolosa e precipitazione totale) provenienti dai modelli di previsione del sistema ECMWF fornito al CMCC dall'Aeronautica Militare.

11.2. Predisposizione dei modelli a scala di unità fisiografica

Il modello idrodinamico SHYFEM (System of HydroDYNAMIC Finite ElementModules) (Umgiesser et Al. 2004) e di moto ondoso Wave Watch 3 utilizzeranno lo stesso approccio basato sull'utilizzo di una griglia agli elementi finiti di tipo non strutturata riconfigurabile. Tale griglia avrà una risoluzione variabile, dell'ordine di 1 km in mare aperto in modo da potersi annidare su modelli a scala di bacino del sistema Copernicus Marine Service- CMEMS, raggiungendo 50 m sulla linea di costa e di 15 m nella zona



portuale e periportuale di Fiumicino. La risoluzione verticale ha griglia non uniforme caratterizzata da 70 livelli aventi uno spessore minimo di 1 m in prossimità della superficie marina.

Il modello idrodinamico e di moto ondoso necessitano di altri dati di input per simulare il campo di corrente marino e il moto ondoso. Di seguito vengono riportati i principali dati richiesti dai modelli e le fonti da cui saranno reperiti.

- La morfologia sommersa dalla banca dati disponibile su Emodnet, la quale sarà integrata con i dati dei rilievi batimetrici acquisiti nell'area dell'Unità Fisiografica.

- Gli inputs fluviali da dati bibliografici disponibili per il fiume Tevere (gli altri apporti fluviali verranno analizzati in seguito quando si dovrà studiare il potenziale impatto del porto nella sua configurazione definitiva).

11.3. Integrazione dei modelli nel Tevere

I fiumi rappresentano la principale fonte di materiale sedimentario che viene in parte utilizzato per alimentare la spiaggia emersa e quella sommersa. All'interno dell'unità fisiografica Capo Linaro – Capo d'Anzio il Tevere con le sue due foci, Fiumara Grande e Fiumara Piccola, è in termini di portata liquida e di portata solida il principale corso d'acqua della zona. Nel corso del tempo la quantità di materiale sedimentario apportata dal fiume è passata da 10 milioni di tonnellate/anno nel 1935 a 0.37milioni di tonnellate annue del 1973 (Margaritora, 1993).

Al fine di analizzare la dispersione dei sedimenti fluviali all'interno del tratto di costa oggetto di studio e individuare le aree soggette ad erosione e sedimentazione sono stati utilizzati i modelli XBeach, PTM e SEDTRANS05 che utilizzano il campo di correnti calcolato da SHYFEM e i parametri d'onda generati dal modello WW3. In questo contesto per simulare la velocità della corrente in prossimità delle foci di Fiumara Grande e di



Fiumara Piccola e la relativa dispersione dei sedimenti fluviali saranno utilizzati i dati di portata liquida e solida forniti dal Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Lazio e quelli raccolti mediante campagne di misura in situ, mentre per quanto riguarda i dati meteomari saranno impiegati quelli derivanti dal downscaling con i modelli regionale (vedi Par. 11.1). La griglia agli elementi finiti del modello consentirà di ottenere un elevato dettaglio in prossimità delle foci fluviali e, laddove necessario, lungo l'ultima parte del corso dei fiumi.

11.4. Predisposizione dei modelli operativi e catena operativa

All'interno del progetto di ricerca verrà predisposto un sistema operativo in cui convergeranno il modello idrodinamico SHYFEM, il modello di moto ondoso WW3 e i modelli XBeach, PTM e SEDTRANS05 che simulano la dispersione dei sedimenti e il cambiamento morfologico del fondale. L'obiettivo è quello di fornire delle previsioni nell'intera unità fisiografica oggetto di studio e a scala di dettaglio nella zona in cui verrà realizzata l'opera delle seguenti variabili:

- velocità e direzione della corrente marina in diversi strati della colonna d'acqua;
- livello del mare rispetto alla superficie media;
- temperatura e salinità in diversi strati della colonna d'acqua;
- parametri del moto ondoso (altezza significativo, periodo di picco e direzione media);
- cambiamento morfologico del fondale e trasporto in sospensione.

Per migliore l'attendibilità delle previsioni i dati raccolti in situ saranno integrati all'interno del sistema di previsione (data assimilation).



11.5. Simulazioni con modelli idrodinamici e di trasporto solido al fine di definire il corretto posizionamento delle stazioni di campionamento e misura

Sia per il modello idrodinamico che per quello di moto ondoso verrà riprodotto un anno significativo con un output di 1h (simulazione realistica) al fine di analizzare nel dettaglio la variabilità giornaliera e stagionale (variabilità intra-annuale) dei parametri calcolati dai modelli (correnti marine, stress al fondo, livello dell'acqua, temperatura salinità, altezza d'onda, periodo di picco, direzione media del moto ondoso). Tali simulazioni permettono di riprodurre la completa variabilità fisica dei processi idrodinamici e di condurre un'analisi dei risultati di carattere statistico (es. il tempo e la frequenza di superamento di determinati livelli di riferimento per le variabili di interesse, le intensità massime raggiunte dalle variabili su un periodo rappresentativo, l'evoluzione spazio-temporale delle variabili simulate, etc.) che sarà propedeutica all'identificazione delle aree che potenzialmente subiranno il maggior impatto. Questa tipologia di simulazione verrà effettuata sia in assenza che in presenza della nuova opera al fine di evidenziare le principali differenze tra le variabili che descrivono gli effetti sulle biocenosi costiere.

Le simulazioni che riproducono la dispersione del sedimento proveniente dai fiumi o dalle attività di dragaggio avranno una durata che dipenderà dalla durata delle operazioni di dragaggio. In accordo alle formulazioni per il calcolo del sedimento risospeso dalle attività di dragaggio riportate sul Manuale ISPRA (La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere), la frazione granulometrica utilizzata nelle simulazioni relative alla dispersione del materiale dragato è quella inferiore a 74 μm . La percentuale di tale frazione sarà ottenuta analizzando i dati granulometrici dei campioni di sedimento prelevati nell'area in cui sarà realizzata la nuova opera. Tale percentuale verrà poi applicata ai volumi di sedimento che devono essere dragati per la realizzazione della diga di sottoflutto e della banchina a nord. Per il calcolo del flusso di sedimento sarà infine utilizzata la produttività



di dragaggio di una draga idraulica così come comunicato dal Committente. Nelle simulazioni i sedimenti dragati verranno rilasciati secondo le tempistiche previste dal programma di dragaggio che prevede l'inizio dei lavori approssimativamente tra la fine della prossima stagione autunnale e l'inizio di quella invernale. Al fine di discriminare gli effetti prodotti dalle attività di dragaggio rispetto a quelle provenienti da altre sorgenti, sono state effettuate anche simulazioni in cui viene considerato il rilascio di sedimento dalle foci di Fiumara Piccola e Fiumara Grande in quanto apportano una grande quantità di sedimento fine e si trovano nelle vicinanze dell'area in cui verrà realizzata la nuova opera. Per confrontare i risultati dei due scenari di simulazione il sedimento rilasciato dalle due foci fluviali ha le medesime caratteristiche (granulometria e densità) di quello utilizzato nelle simulazioni relative al dragaggio.

Per quanto riguarda i processi legati alla morfologia sommersa la scala temporale riguarderà un periodo di tempo di 1 anno al fine di analizzare nel dettaglio la variabilità giornaliera e stagionale della morfologia del fondale (zone di erosione e accumulo) nell'area di studio. Tali simulazioni verranno effettuate sia in assenza che in presenza della nuova opera al fine di evidenziare le principali differenze relative alla morfologia sommersa.

In generale, verranno riprodotti tre scenari di simulazione:

- nel primo verrà simulata la distribuzione dei materiali sospesi aventi le medesime caratteristiche granulometriche dei materiali che verranno dragati (inserendo anche punti di immissione che simulano gli input fluviali);
- nel secondo scenario verrà aggiunto, alla simulazione precedente, l'input derivante dalle attività di dragaggio;
- nel terzo scenario verrà simulato il cambiamento morfologico del fondale in presenza ed assenza del primo lotto funzionale del Porto. Tali simulazioni permettono di riprodurre



la completa variabilità fisica dei processi dinamici del sedimento e di condurre un'analisi dei risultati di carattere statistico (es. il tempo e la frequenza di superamento di determinati livelli di riferimento per le variabili di interesse, le intensità massime raggiunte dalle variabili su un periodo rappresentativo, l'evoluzione spazio-temporale delle variabili simulate, etc.) che sarà propedeutica all'identificazione delle aree che subiranno potenzialmente il maggior impatto.

Le variabili che verranno prese in considerazione sono il cambiamento morfologico del fondale, la variazione di solido sospeso all'interno della colonna d'acqua e il tasso di sedimentazione (accumulo), che risultano essere i parametri che possono causare dei potenziali effetti negativi sulle biocenosi marine costiere. Le zone che risulteranno avere un maggior grado di rischio saranno quelle in cui si concentrerà il campionamento per il monitoraggio degli eventuali impatti, permettendo così di proporzionare gli studi e le attività.

In particolare, nelle aree evidenziate dalle simulazioni verranno incrementati i punti di prelievo e campionamento relativi alla fauna macrozoobentonica, al fine di evidenziare la potenziale presenza di alterazioni nella struttura delle comunità di fondo mobile. L'utilizzo di griglie di campionamento più fitte sarà utile per osservare le alterazioni dirette, a breve e medio termine, legate alla deposizione del sedimento risospeso sui substrati limitrofi al porto. Infatti, il rapido accumulo di ingenti quantità di sedimento sui fondi mobili potrebbe comportare un "soffocamento" delle zoocenosi bentoniche ad essi associate che causerebbe sia alterazioni quali/quantitative nelle comunità animali (es. scomparsa specie sensibili, aumento specie opportuniste/tolleranti, variazione dei rapporti trofici ecc.) sia una potenziale perdita di biodiversità a scala locale. Inoltre, il campionamento di maggior dettaglio delle aree "sensibili" sarà utile in futuro per determinare i cambiamenti a lungo termine che potranno avvenire nelle zoocenosi potenzialmente più impattate dall'opera. La struttura delle griglie di campionamento (tipo



di griglia, numero di transetti, batimetria ecc.) e il la localizzazione dei punti di prelievo saranno stabiliti sulla base delle risultanze dalle simulazioni numeriche e quindi alla morfologia e all'estensione all'eventuale impatto sulle aree "sensibili" evidenziate.

11.6. Validazione dei modelli idrodinamici (onde e correnti) e di trasporto solido con i dati di raccolti in situ

La validazione dei modelli numerici è prevista in ogni fase del progetto e si basa sull'acquisizione di dati in-situ e da remoto che vengono effettuate in diverse condizioni meteorologiche ed idrodinamiche. La metrica statistica che viene utilizzata per il confronto è rappresentata dal BIAS ed RMSD che vengono comunemente utilizzati in letteratura per misurare la performance dei modelli numerici. Affinché i risultati delle validazioni siano considerati adeguati, i valori ottenuti saranno confrontati con quelli dei modelli a grande scala (prodotti CMEMS) o con quelli di altri modelli a più alta risoluzione applicati nella stessa area studio, laddove disponibili. Qualora i valori degli indici statistici risultassero maggiori rispetto a quelli di CMEMS negli hotspot costieri di interesse (e.g. foce del fiume e aree costiere), si definirà un piano di calibrazione del modello a diverse caratteristiche (geometria della griglia, ricostruzione dell'alveo fluviale, calibrazione delle portate fluviali per le due branch, schemi numerici e parametrizzazioni del modello). Tali modifiche sono iniziate nella Fase 0, dove si hanno a disposizione principalmente dati storici, e saranno finalizzate nelle successive fasi progettuali, quando sarà disponibile una quantità sempre maggiore di dati rappresentativi di diverse condizioni ambientali di nuova acquisizione.

La validazione del modello idrodinamico SHYFEM verrà effettuata confrontando i risultati delle simulazioni (velocità e direzione delle correnti marine, livello dell'acqua, temperatura e salinità) con i dati acquisiti *in situ* e da remoto. In particolare, il campo di velocità superficiale nella zona antistante il nuovo porto di Fiumicino verrà validato attraverso le misure del radar in banda X che permettono la misura della velocità e della



direzione della corrente marina con una elevata risoluzione spaziale quando esistono eventi che determinano significative anomalie della superficie dell'acqua. Il sistema consente infatti di rilevare le correnti marine e il moto ondoso quando le onde hanno un'altezza superiore a 0.5 m ed un periodo sufficientemente lungo da essere al di sopra della frequenza di Nyquist. Inoltre, un altro limite del sistema è l'incapacità di effettuare misure in assenza totale di vento condizione, comunque, molto poco frequente. La corrente marina superficiale verrà inoltre messa a confronto con i dati acquisiti dalle boe lagrangiane che verranno lanciate nella zona costiera e di largo a bordo di una imbarcazione e da terra all'interno dell'alveo del fiume Tevere. Il modello calcolerà la traiettoria delle boe attraverso il rilascio di un corpo galleggiante nello stesso punto e allo stesso orario in cui queste saranno lanciate. Successivamente verrà confrontata la traiettoria simulata con il percorso compiuto dai diversi drifter. Il profilo verticale delle correnti marine (direzione e velocità) viene invece validato attraverso i dati acquisiti dallo strumento ADP (Acoustic Doppler Profiler) che una frequenza spaziale di 1 m ed una temporale di 10 s. A livello spaziale e temporale, le misure saranno definite sulla base delle prime simulazioni del modello SHYFEM in modo da confrontare i dati in zone ed in periodi in cui si verificano processi dinamici diversi.

La temperatura superficiale calcolata con il modello idrodinamico nella zona di studio verrà messa in relazione con le immagini satellitari a media ed alta risoluzione dei sensori di Modis e LandSAT8 (TIRS) che permettono di rilevare dati sulla superficie del mare ad una risoluzione orizzontale pari rispettivamente a circa 500/1000 m e a circa 30 m. Il confronto permetterà inoltre di valutare l'attendibilità del modello nel riprodurre la dinamica della plume del fiume Tevere, necessaria per gli studi di dinamica costiera. L'andamento verticale della temperatura e della salinità verrà validato utilizzando le misure da imbarcazione con la sonda CTD (Conductivity Temperature Depth) che saranno effettuate con cadenza stagionale (regime di stratificazione e regime di mescolamento).



La performance del modello di moto ondoso WWIII (WAVEWATCH III) verrà valutata utilizzando gli spettri d'onda acquisiti dal radar in banda X nell'area di Fiumicino. Come già detto per i campi di velocità, lo strumento permette la misura dello spettro e dei principali parametri del moto ondoso (altezza d'onda significativa, periodo di picco e direzione media) negli intervalli di tempo in cui le onde hanno un'altezza superiore a 0.5 m e un periodo sufficientemente lungo da essere al di sopra della frequenza di Nyquist. All'interno di questi periodi di tempo vengono acquisite le caratteristiche spettrali del moto ondoso al centro del dominio del radar che possono essere confrontati con i risultati delle simulazioni del modello WWIII.

I risultati delle simulazioni del modello idrodinamico e di moto ondoso prodotti saranno utilizzati per analizzare la dispersione delle frazioni granulometriche di sedimento che caratterizzano i fondi mobili della zona di studio. A tale scopo saranno utilizzati tutti i dati disponibili relativi ai campioni di sedimento raccolti nel corso di precedenti campionamenti all'interno dell'unità fisiografica Capo Linaro-Capo d'Anzio. In particolar modo si farà riferimento alle diverse classi della frazione sabbiosa e ghiaiosa e all'intera frazione fine ($< 63 \mu\text{m}$), e, qualora fossero disponibili, anche alle analisi mineralogiche, fondamentali per definire la densità del materiale che verrà trasportato dalle correnti marine costiere.

Il trasporto del materiale sedimentario e i cambiamenti morfologici del fondale verranno calcolati dai modelli, gradualmente nelle diverse fasi del progetto, con XBeach, PTM e SEDTRANS05 che tengono conto dei processi associati ai sedimenti di diversa classe granulometrica.

La capacità del modello SEDTRANS05 e XBeach di simulare i processi di sedimentazione ed erosione sarà valutata analizzando la morfologia sommersa che definisce in diversi istanti di tempo la variazione del fondale all'interno dell'area di studio. Questo parametro sarà confrontato con i dati batimetrici acquisiti lungo 5 transetti in due regimi idrodinamici significativi (inverno e estate). I dati del primo campionamento



verranno forniti in input al modello mentre quelli del secondo rilievo batimetrico serviranno per valutare le performance del modello nel riprodurre i cambiamenti morfologici del fondale lungo i transetti di indagine. Anche in questo caso, come per i modelli idrodinamici, la calibrazione dei modelli di trasporto dei sedimenti si svilupperà nelle diverse fasi del progetto in relazione ai rilievi effettuati.

Nella zona interessata dalla realizzazione della nuova opera portuale dove è prevista una maggiore risoluzione spaziale della griglia di calcolo, la validazione dei modelli usufruirà di un maggior numero di dati in quanto sono previste stazioni di misura più ravvicinate. Nelle Fasi 1, 2 e 3 le stazioni in prossimità dell'area interessata dal progetto saranno ripetute nel tempo al fine di analizzare la variabilità intra-stagionale delle variabili acquisite durante i campionamenti. Nella zona di Fiumicino è stata inoltre prevista la messa in opera di diverse stazioni fisse di monitoraggio per la misura della torbidità, delle correnti marine, del moto ondoso e delle variazioni morfologiche del fondale. L'impiego di un modello di moto ondoso capace di simulare la diffrazione dell'onda (tipo Boussinesq) sarà valutato solo dopo aver analizzato i risultati della validazione ottenuti utilizzando il modello Wave Watch III nell'area dove verrà realizzata la nuova opera.

11.7. Modello operativo: simulazioni del trasporto solido per la valutazione delle zone soggette ad erosione e sedimentazione

Al fine di prevedere gli effetti prodotti dalla realizzazione della nuova struttura portuale sui fenomeni di erosione e sedimentazione che potrebbero coinvolgere la zona costiera oggetto di studio, verrà utilizzato il sistema di previsioni che fornirà risultati relativi al cambiamento morfologico del fondale nei tre giorni successivi rispetto a quello in cui ha inizio la simulazione. I risultati delle previsioni saranno divulgati attraverso un portale messo a disposizione dal CMCC per l'intera durata del progetto in cui verranno riportati ad intervalli di 3 ore per i 3 giorni di previsione le seguenti variabili:



- velocità e direzione della corrente marina in diversi strati della colonna d'acqua;
- livello del mare rispetto alla superficie media;
- temperatura e salinità in diversi strati della colonna d'acqua;
- parametri del moto ondoso (altezza significativo, periodo di picco e direzione media);
- cambiamento morfologico del fondale.

Queste variabili saranno visualizzate sia nell'intera unità fisiografica oggetto di studio, che a scala di dettaglio nella zona in cui verrà realizzata l'opera. In questo modo sarà più efficace l'identificazione e la sitizzazione di interventi volti a mitigare gli effetti della struttura portuale sull'evoluzione della linea di costa mediante adeguate azioni correttive da attuare in corso d'opera.

11.8. Modello operativo: simulazioni del materiale dragato per la valutazione dei potenziali effetti indotti sull'ecosistema marino

Al fine di prevedere gli effetti prodotti dalla realizzazione della nuova struttura portuale sugli ecosistemi marini costieri presenti nella zona di studio, verrà impiegato il sistema di previsioni che fornirà risultati relativi alla concentrazione del sedimento fine in sospensione e dei relativi tassi di sedimentazione nei tre giorni successivi rispetto a quello in cui ha inizio la simulazione. I risultati delle previsioni saranno divulgati attraverso un portale messo a disposizione dal CMCC per l'intera durata del progetto in cui verranno riportati ad intervalli di 3 ore per i 3 giorni di previsione, oltre alle variabili elencate al punto precedente, anche la torbidità indotta dal sedimento fine ed i relativi ratei di sedimentazione.

Queste variabili saranno visualizzate sia nell'intera unità fisiografica oggetto di studio, che a scala di dettaglio nella zona in cui verrà realizzata l'opera. In questo modo sarà più efficace l'identificazione e la sitizzazione di interventi volti a mitigare gli effetti della



struttura portuale sugli ecosistemi marini costieri mediante adeguate azioni correttive da attuare in corso d'opera.

11.9. Predisposizione e simulazioni attraverso il modello di oil slick ed il modello di dispersione dei batteri

Ad integrazione di quanto già messo in campo **RIF PARERE 2015** tener conto del rischio di alterazione della qualità delle acque per immissione in mare di idrocarburi, acque di scarico da navi in movimento e/o in stazionamento. A tale riguardo verrà utilizzato il modello di dispersione degli idrocarburi MEDSLIK-II (De Dominicis et. al 2013) che consente di riprodurre il trasporto e i processi di weathering del petrolio utilizzando una rappresentazione lagrangiana delle macchie di olio all'interno dell'ambiente marino. L'input idrodinamico del modello viene fornito dai risultati delle simulazioni di SHYFEM mentre la parte atmosferica (es. velocità e direzione del vento) viene trasmessa attraverso i dati risultanti dai modelli di previsione del sistema ECMWF. Il modello riprodurrà degli scenari in cui verranno simulate diverse tipologie di sorgente (navi e pipeline) e di sversamento (continuo e istantaneo) in differenti condizioni meteomarine. In particolare, verranno effettuate simulazioni con navi in movimento e in stazionamento all'interno e all'esterno della nuova struttura portuale per valutare il rischio sull'ambiente marino e per poter mitigare eventualmente tale impatto. Ad oggi non sono previste opere legate a spostamento o realizzazione delle SeaLine, quindi qualora venissero effettuate tali opere il modello sarà in grado di analizzare il rischio degli eventuali impatti.

Oltre al rischio di sversamento da idrocarburi si può verificare anche quello relativo alle acque di scarico che possono contenere, se non efficientemente depurate, una elevata concentrazione di batteri fecali che possono arrecare danni all'ambiente marino e alla salute pubblica. In quest'ultimo caso possono determinare anche la chiusura temporanea delle attività di balneazione negli stabilimenti limitrofi alla sorgente con conseguente danno economico al turismo locale. Per analizzare il rischio alla salute pubblica e agli



ecosistemi marini costieri verrà utilizzato il modello WASP/Delft3D-WAQ che consente di analizzare la dispersione e i processi di decadimento, dovuti alla temperatura, salinità e alla radiazione UV, del carico batterico patogeno. L'input idrodinamico del modello viene fornito dai risultati delle simulazioni di SHYFEM mentre la parte atmosferica (es. radiazione UV) viene trasmessa attraverso i dati risultanti dai modelli di previsione del sistema ECMWF.

La dispersione dei batteri nell'ambiente marino costiero verrà riprodotta tenendo conto di diverse tipologie di fonti, come gli scarichi urbani costieri che possono immettere in mare una elevata quantità di acque reflue non depurate. In questo ambito saranno censiti tutti gli scarichi di questa tipologia che si trovano nelle zone limitrofe all'area in cui verrà realizzata la nuova opera. Saranno considerati le eventuali immissioni in mare dalle navi in movimento e in stazionamento all'interno e all'esterno della nuova struttura portuale utilizzando il traffico e le rotte previste dagli organi competenti (Capitaneria di Porto). Verrà dato anche risalto ai possibili effetti di deviazione del plume fluviale del Tevere in corrispondenza di Fiumara Piccola, indotto dalla presenza della nuova struttura portuale. La dispersione dei batteri patogeni nella zona oggetto della realizzazione della nuova opera sarà valutata considerando una tipologia di sorgente alla volta ed il campo idrodinamico prodotto da diverse condizioni meteomarine.

Per valutare l'attendibilità del modello i risultati delle simulazioni saranno confrontati con i dati microbiologici (concentrazione del carico batterico patogeno) raccolti da ARPA Lazio secondo le modalità riportate nell'Allegato D del decreto attuativo 30.03.2010, ovvero ad una profondità di circa 30 centimetri sotto il pelo libero dell'acqua ad una distanza dalla battigia tale che il fondale abbia una profondità tra gli 80 e i 120 cm. In corrispondenza di scogliere a picco o di fondali rapidamente degradanti i prelievi vengono effettuati vicino alla scogliera o alla battigia. Ai punti di campionamento previsti per il monitoraggio delle acque di balneazione sono stati aggiunti altri tre punti lungo il litorale di Fiumicino. Le analisi microbiologiche delle acque dell'area in oggetto verranno



effettuate in accordo alla normativa vigente (D. Lgs 116/2008 e DM 30/2010) che prevede l'analisi dei parametri microbiologici, *Escherichia coli* ed *Enterococchi intestinali*, per la classificazione della qualità delle acque di balneazione. I campionamenti saranno effettuati da ARPA Lazio con frequenza mensile in concomitanza con il monitoraggio delle acque di balneazione (da aprile a settembre di ogni anno). Le attività di campionamento sono infatti oggetto di una specifica convenzione tra l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale e l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Lazio e saranno svolte durante la Fase 1, la Fase 2 e la Fase 3.



12. STUDIO DELLA VARIAZIONE DELLA LINEA DI RIVA A BREVE E A LUNGO TERMINE

Uno degli obiettivi principali del progetto è quello di studiare il comparto morfodinamico in termini di variazioni della linea di riva nell'area oggetto di studio, tenendo conto delle dinamiche e dei processi già in atto.

Al fine di valutare l'eventuale contributo delle opere e "individuare eventuali alterazioni a breve e lungo termine sull'evoluzione della linea di costa e sugli ecosistemi marini costieri" si rende necessario predisporre un modello (o più modelli) previsionale/i per analizzare, nelle differenti scale spaziali e temporali, l'andamento della linea di riva ed eventualmente anche la morfologia (nel breve termine) della spiaggia emersa e sommersa, a seguito della realizzazione delle opere del nuovo porto di Fiumicino, sia della darsena pescherecci che di tutte le altre opere portuali previste dal PRP.

Per una previsione attendibile dell'evoluzione futura della linea di riva è necessaria una preliminare calibrazione e validazione del modello sulla base dei dati storici a disposizione.

L'obiettivo della fase di calibrazione consisterà nel verificare che il modello sia in grado di simulare l'evoluzione lungo l'unità fisiografica nel periodo compreso tra il 1990 ed il 2020 (prima della realizzazione delle opere portuali) e nel determinare il set di parametri che meglio la riproducono.

Per calibrare il modello quindi, sarà necessario comparare i risultati dell'analisi storica (nel periodo 1990-2020) della variazione della linea di riva con i risultati delle simulazioni modellistiche (sempre 1990-2020) ottenute considerando anche i parametri meteomarini per il corrispondente periodo.

Una volta calibrati i modelli verranno utilizzati per simulare scenari evolutivi in assenza e presenza delle opere portuali nel breve periodo (analisi intra-annuale per 2-3 anni) e nel lungo periodo (inter-annuale 10, 20, 30 anni).

12.1. Analisi storica della linea di riva e ricostruzione dei profili della spiaggia

sommersa

La linea di riva rappresenta il contatto aria-terra-mare e la sua mappatura è essenziale per la pianificazione e gestione costiera. La linea di riva è un elemento soggetto ad elevata variabilità intra-annuale, in quanto risente dei processi idrodinamici, indotti dal moto ondoso e del vento che avvengono lungo l'intero sistema costiero che si estende dalla retroduna al limite verso mare della spiaggia sommersa. Essendo un sistema estremamente dinamico il suo monitoraggio risulta essere un fattore fondamentale per una corretta analisi del bilancio sedimentario della spiaggia, sia quella emersa che quella sommersa.

La linea di riva può migrare a seguito di diversi processi, quali:

- innalzamento del livello del mare;
- cambiamenti nel drift litoraneo;
- cambiamenti stagionali o annuali delle tempeste in termini di altezza d'onda, durata dell'evento di tempesta, angolo d'incidenza e wave set-up;
- cambiamenti nel budget sedimentario;
- cambiamenti nell'apporto sedimentario fluviale;
- variazioni del clima d'onda;
- eventi estremi;
- interventi antropici (sia nella spiaggia emersa sia in quella sommersa).

Per un corretto monitoraggio le incertezze legate alla mappatura della linea di costa non devono essere maggiori della risoluzione dei cambiamenti della linea di costa (Bowman, Pranzini, 2007). Per questo motivo quando si intendono acquisire le tendenze e l'intensità delle variazioni spazio-temporali della linea di riva la strategia di acquisizione deve essere calibrata allo scopo che s'intende raggiungere.



Il piano di monitoraggio della linea di riva prevederà una serie di attività specifiche per le diverse fasi del monitoraggio e che di seguito vengono descritte.

L'analisi dell'evoluzione storica, a medio e lungo termine, della linea di riva sarà condotta prima della realizzazione delle opere, attraverso l'esame comparato di documenti storici ed elaborati cartografici relativi alle varie epoche (laddove disponibili). In particolare, verranno prese in considerazione variazioni a medio e lungo termine che saranno analizzate attraverso foto aeree ed immagini satellitari ad altissima risoluzione.

L'analisi delle immagini satellitari e delle foto aeree permetterà di ottenere un'osservazione sinottica dell'area estesa, effettuando valutazioni relative al trend passato della linea di riva, e la tendenza attuale in relazione al periodo di osservazione. Al fine di definire in maniera accurata la posizione della linea di costa verranno scelti degli indicatori come HWL (High Water Line) che basa la sua stima sull'ultimo evento di acqua alta e di conseguenza risulta facilmente distinguibile nelle foto aeree (Dolan and Hayden, 1983) e nelle osservazioni satellitari (Carli et al., 2008) o MHWL (Mean High Water Line) che si basa sull'intersezione della HWL con la topografia trasversale ottenuta mediante rilievi topografici e altimetrici sul campo (Liu et al., 2007).

Inoltre, verranno presi come riferimento dell'andamento batimetrico i profili della spiaggia sommersa ed emersa disponibili che potranno essere comparati con i profili attuali per verificare la variazione batimetrica a lungo termine.

I dati raccolti in questa fase saranno fondamentali per validare i modelli che analizzeranno l'evoluzione della linea e il cambiamento morfologico della spiaggia emersa e sommersa (vedi par 11.2).

12.2. Predisposizione e simulazioni attraverso il modello per l'analisi dell'evoluzione della linea di riva e della spiaggia sommersa ed emersa

Una parte rilevante degli studi di dinamica costiera viene svolta attraverso l'analisi dell'evoluzione della linea di riva. Nella fattispecie deve essere considerato un tratto di



costa sufficientemente esteso all'interno del quale i materiali che formano o contribuiscono a formare la costa presentano movimenti confinati all'interno del tratto stesso o scambi con l'esterno in misura non influenzata da quanto accade nel litorale.

In questo studio l'evoluzione della linea di riva e della spiaggia emersa sarà effettuata a scala di unità fisiografica attraverso il modello monodimensionale LITPACK (LittoralTransport and CoastlineKinetics) e il modello bidimensionale XBeach. Il primo, sviluppato dal DanishHydraulic Institute, consiste in un sistema di modellazione deterministica che descrive i maggiori processi della fascia costiera, mentre il secondo, finanziato da US Army Corps of Engineers e messo a punto da un consorzio formato da UNESCO-IHE, Delft University of Technology e University of Miami, simula la propagazione dell'onda, il trasporto solido e i cambiamenti morfologici sulla spiaggia emersa e sommersa, sia in modalità 1D (lungo un profilo trasversale alla linea di costa) e 2D (in un'area ristretta interessata dalla nuova opera).

Entrambi i modelli hanno bisogno di dati meteomarini e di dati sedimentologici (granulometria e densità dei sedimenti). Il modello LITPACK ha inoltre bisogno della morfologia della linea di riva mentre il modello XBeach necessita di dati topo-batimetrici della spiaggia emersa e sommersa

I processi dinamici che determinano la variazione della linea di costa nel modello LITPACK saranno validati utilizzando simulazioni a breve e a lungo termine che prevedono l'impiego di linee di costa antecedenti a quella attuale. La linea di costa dell'unità fisiografica è stata ricostruita da fotografie aeree composte insieme, sulle quali è stata fissata una linea di riferimento necessaria per definire la griglia numerica utilizzata dal modello per risolvere le equazioni matematiche alle differenze finite. Al fine di valutare l'attendibilità del modello nel riprodurre le variazioni della linea di costa a seguito della costruzione di opere costiere che, limitando il trasporto di sedimenti da una parte all'altra della linea di riva, modificano significativamente la morfologia del tratto costiero oggetto di studio, il modello sarà validato confrontando i risultati dell'analisi



storica (nel periodo 1990-2020) della variazione della linea di riva con i risultati delle simulazioni modellistiche (sempre 1990-2020). In particolare, la performance del modello sarà valutata considerando l'eventuale impatto sul sistema morfodinamico dovuto alla realizzazione della vasca di colmata a nord della foce di Fiumara Piccola che fa parte degli interventi previsti dal PRP. Una volta che il modello è stato validato si procederà ad effettuare scenari futuri per analizzare il contributo degli effetti della nuova struttura portuale sulle variazioni morfologiche della linea di costa.

Lo stesso approccio verrà seguito per validare il modello XBeach e analizzare gli eventuali impatti del nuovo porto sui profili di spiaggia emersa e sommersa nelle zone in cui si manifesta la maggiore variazione morfologica del fondale (risultati del modello SEDTRANS05). Come base di partenza verranno utilizzati i profili topo-batimetrici effettuati prima delle mareggiate. Il modello verrà validato con i rilievi morfologici della spiaggia emersa e sommersa effettuati successivamente al suddetto periodo di mareggiate. In seguito, verranno predisposti degli scenari per valutare e discriminare i potenziali impatti prodotti dalla realizzazione dell'opera.

L'analisi dei risultati prodotti da entrambi i modelli consentirà di identificare e posizionare in maniera tempestiva ed efficace interventi volti a mitigare gli effetti dell'opera sull'evoluzione della linea e sui cambiamenti morfologici della spiaggia emersa e sommersa (zone soggette ad erosione).



13. OPERE DI MITIGAZIONE

Il Dec. VIA specifica: “il monitoraggio sarà finalizzato ad individuare eventuali alterazioni a breve e lungo termine sull'evoluzione della linea di costa e sugli ecosistemi marini costieri ed a mitigare gli stessi mediante adeguate azioni correttive da attuare in corso d'opera e in fase di esercizio”.

Durante la fase istruttoria VIA, in via preliminare, dalla commissione tecnica di verifica ambientale (parere n. 187 del 15.12.2008) vengono identificate alcune azioni di mitigazione da effettuare durante la fase di Cantiere e durante l'esercizio.

Inoltre, nello Studio Preliminare Ambientale SPA04 rev. 04-2014 vengono proposte alcune misure mitigative che in parte riprendono quanto prescritto durante la fase istruttoria.

In entrambi i documenti viene posta attenzione alle tecnologie e metodologie che verranno utilizzate durante le attività realizzative delle opere, alle caratteristiche infrastrutturali del porto in termini di sistemi di confinamento e depurazione degli inquinanti per la minimizzazione degli impatti e in termini di controllo ambientale.

La definizione delle azioni correttive si svolgerà durante la fase di cantiere e di esercizio con tempi utili alla attuazione degli interventi.

Sulla base dei risultati del modello operativo verranno identificati e situati gli eventuali interventi di mitigazione e correzione degli effetti prodotti sull'evoluzione della linea di riva e sugli ecosistemi marini costieri.

Al termine della fase di caratterizzazione (ante operam) il modello operativo, attraverso l'assimilazione dei dati satellitari e delle misure in sito, fornirà previsioni relative alla diffusione dei sedimenti e degli inquinanti associati che si verificherà durante la fase di cantiere a causa delle operazioni di escavo e di realizzazione delle opere a mare e durante l'esercizio, nell'ambito delle operazioni di dragaggio. Inoltre, nella fase di esercizio il



modello operativo fornirà automaticamente la circolazione delle acque all'interno del porto.

Successivamente all'identificazione e sitizzazione degli interventi, si effettueranno simulazioni numeriche basate sugli eventi più frequenti e più intensi (analisi di scenario) per procedere al dimensionamento degli interventi stessi. E' prevista inoltre una attività di monitoraggio sistematica.

Questa attività verrà effettuata durante la Fase 2 (cantiere) e durante la Fase 3 (esercizio) e prevede l'analisi di differenti interventi e la valutazione del loro effetto in funzione dei risultati dei modelli numerici al fine di scegliere tempestivamente la tipologia di intervento (tra una serie di ipotesi progettuali) che possa minimizzare gli eventuali impatti sull'ambiente.



14. ANALISI DELL'IMPATTO DOVUTO ALLO SPOSTAMENTO DELLA SEALINE

Questo impatto verrà studiato solamente quando sarà realizzato l'intero Porto, in quanto lo spostamento della SeaLine è previsto nell'ultima fase dello sviluppo del porto di Fiumicino. Questa tematica pertanto non verrà affrontata per la realizzazione del primo stralcio del primo lotto funzionale.



15. ANALISI DATI E REPORTING

Durante tutte le fasi del progetto sarà garantita la redazione di reportistica scientifica per massimizzare la condivisione dei risultati ottenuti dalle diverse attività di monitoraggio svolte con le parti interessate e le autorità competenti.

Report descrittivi delle attività svolte e relativa analisi dei dati raccolti verranno prodotti con una cadenza coerente alla durata delle attività previste nelle diverse fasi del progetto. Le attività di ricerca sviluppate durante il progetto verranno quindi indirizzate alla divulgazione scientifica, ovvero i risultati ottenuti dalle attività di ricerca verranno pubblicati su riviste scientifiche internazionali referate nonché presentati a convegni scientifici di settore, sia nazionali che internazionali. Il progetto di ricerca posto in essere infatti, integra una serie di attività e di collaborazioni con diversi istituti scientifici (Università della Tuscia, SCRIPPS Institution of Oceanography, CNR, Università di Bologna), con lo scopo di eseguire, nel corso delle attività, approfondite elaborazioni dei dati finalizzate alla produzione scientifica. I dati raccolti potranno essere inoltre oggetto di tesi di laurea triennale, magistrale e di dottorato.

Verranno prodotte rappresentazioni cartografiche al fine di consentire una rapida consultazione dei risultati del monitoraggio in merito al comparto biotico (distribuzione ed estensione delle praterie di *P. oceanica*, caratterizzazione delle comunità bentoniche, etc), alla colonna d'acqua (profili di temperatura, salinità, solido sospeso, etc.), e al comparto sedimentologico (caratterizzazione granulometrica e chimica dei sedimenti). Verranno inoltre restituite simulazioni preliminari di corrente marina, moto ondoso, trasporto solido e cambiamento morfologico del fondale al fine di valutare le zone soggette ad erosione e sedimentazione prima e dopo la costruzione delle opere nonché, simulazioni dell'eventuale dispersione di idrocarburi e batteri.



Infine, verrà prodotto un elaborato contenente l'identificazione, la sitizzazione e l'entità degli interventi volti a mitigare gli eventuali effetti della costruzione della nuova area portuale sull'evoluzione della linea di costa e sugli ecosistemi marini costieri, mediante adeguate azioni correttive da attuare in corso d'opera.

16. TABELLA RIASSUNTIVA DELLE ATTIVITA'

ATTIVITA'	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'	FASE 1 - ANTE OPERAM (Luglio 2020-Dicembre 2020-Agosto 2021)	FASE 2 (24 mesi) - CANTIERE	FASE 3 (24 mesi) - POST OPERAM
Raccolta dati progressi e predisposizione GIS. Integrazione dei dati acquisiti nella piattaforma GIS	Raccolta dati disponibili all'interno dell'UF F per la redazione del nuovo piano di monitoraggio			
	Predisposizione GIS			
	Integrazione dati nella piattaforma GIS			
Studio della variazione della linea di riva a breve e a lungo termine	Analisi storica linea di riva mediante ricostruzione dei profili spiaggia sommersa 1990 e successive modifiche (GIS)			
	Predizioni e simulazioni attraverso il modello per analisi evoluzione linea di riva a breve e medio-lungo periodo - 30 anni (bianco sedimentario X-beach)			
Predisposizione dei modelli numerici per l'area di studio	Downscaling con modello a scala regionale			
	Predisposizione dei modelli a scala di unità fisiografica			
	Integrazione modelli nel Tevere			
	Predisposizione modelli operativi e catena operativa (onde e correnti; dati in input batimetrici)			
Applicazione dei modelli e simulazioni	Simulazioni con modelli idrodinamici e di trasporto solido al fine di definire il corretto posizionamento delle stazioni di campionamento e misura			
Modelli numerici: validazione e mantenimento modelli matematici. Messa a punto ulteriori modelli per simulazioni	Validazione dei modelli idrodinamici (onde e correnti) e di trasporto con i dati di raccolti in situ			
	Modello operativo: Simulazioni del materiale eventualmente dragato per la validazione dei potenziali effetti indotti sull'ecosistema marino			
	Predizioni e simulazioni modello di oil slick e modello di dispersione batteri			
	Modello operativo: Simulazioni del trasporto solido per la valutazione delle zone soggette ad erosione e sedimentazione (per definire eventuali opere di mitigazione)			
Dati di input per i modelli numerici	Analisi delle condizioni al contorno (batimetrica, apporti fluviali, campo di vento)			
	Analisi della Linea di riva (aggiornamento nei modelli)			
	Analisi dati Copernicus service			
Campagne di misura colonna d'acqua	Misure colonna d'acqua (pressione, temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla a, torbidità) mediante metodi tradizionali e strumentazione autonoma (Older-Vehicolo Superficiale)	n. 2 Campagne n. 13 Transetti (n. 10 stazioni a transetto)	n. 2 Campagne n. 13 Transetti (n. 10 stazioni a transetto)	n. 2 Campagne n. 13 Transetti (n. 10 stazioni a transetto)
	Raccolta e analisi campioni di acqua per la calibrazione dei sensori e delle immagini satellitari (clorofilla, solido sospeso, CDOM)	n. 2 Campagne tot n. 90 campioni (n.30 cHA; n.30 SS; n.30 CDOM)	n. 2 Campagne tot n. 60 campioni (n.30 cHA; n.20 SS; n.20 CDOM)	n. 2 Campagne tot n. 60 campioni (n.30 cHA; n.20 SS; n.20 CDOM)
Qualità dell'acqua	Raccolta campioni di acqua per l'analisi dei nutrienti	n. 2 Campagne totale n. 12 campioni totali	n. 2 Campagne totale n. 12 campioni totali	n. 2 Campagne totale n. 12 campioni totali
	Controllo caratteristiche colonna d'acqua mediante stazione ripetuta su punto fisso	n. 20 stazioni punto fisso	n. 80 stazioni punto fisso	n. 60 stazioni punto fisso
	Predisposizione di una stazione ripetuta con strumentazione innovativa HAB (il fluorimetro sarà campionato solo a seguito di allarme da specie tossiche rilevato dalla strumentazione automatica). Campionamenti ed analisi saranno a cura di ARPA	Installazione in periodi predefiniti Mediante il sistema di warning si comunicano ad Arpa le situazioni anomale Campionamento a cura di ARPA	Installazione in periodi predefiniti Mediante il sistema di warning si comunicano ad Arpa le situazioni anomale Campionamento a cura di ARPA	Installazione in periodi predefiniti Mediante il sistema di warning si comunicano ad Arpa le situazioni anomale Campionamento a cura di ARPA

	Radar X-Band inclusa elaborazione dati	IN CONTINUO da Dicembre 2020	IN CONTINUO	IN CONTINUO
Misura delle onde e delle correnti	Misure correntometriche e di onde attraverso ADCP fisso	Installazione per periodi definiti per validazione modelli e intercalibrazione metodi	Installazione per periodi definiti per validazione modelli e intercalibrazione metodi	Installazione per periodi definiti per validazione modelli e intercalibrazione metodi
	Misure di onde con boe fisse low-cost 'Isocabli'	Installazione per periodi definiti per validazione modelli e intercalibrazione metodi	Installazione per periodi definiti per validazione modelli e intercalibrazione metodi	Installazione per periodi definiti per validazione modelli e intercalibrazione metodi
	Misure con boe lagrangiane	n.1 Drifter n.1 campagna in n.4 punti totale n.4 Lanci	n.1 Drifter n.3 Campagne in n.4 punti totale n.12 lanci	n.1 Drifter n.3 Campagne in n.4 punti totale n.12 lanci
	Studio della distribuzione di Solido Sospeso, Clorofilla e CDOM da satellite	Elaborazione di immagini satellitari ad alta risoluzione dell'andamento superficiale di clorofilla, solido sospeso e CDOM	IN CONTINUO (in funzione della disponibilità dei dati satellitari)	IN CONTINUO (in funzione della disponibilità dei dati satellitari)
Analisi dei profili e sedimenti della spiaggia sommersa	Profili spiaggia sommersa area Fiumicino	Spiegia sommersa: n.1 campagna x n.5 transesti	Spiegia sommersa: n.3 campagne (stagioni inverno, estate ed evento estremo) x n.5 transesti totale n.15 transesti	Spiegia sommersa: n.3 campagne (stagioni inverno, estate ed evento estremo) x n.5 transesti totale n.15 transesti
	Profili della spiaggia sommersa lungo l'area estesa per verifica modelli matematici e analisi delle aree soggette a erosione e/o deposizione anche attraverso veicoli autonomi	n.3 campagne x n.8 transesti totale n.24 transesti	n.3 campagne x n.8 transesti totale n.24 transesti	n.3 campagne x n.8 transesti totale n.24 transesti
	Campionamenti della spiaggia sommersa per calibrazione modelli e strumentazione automatica	Campionamento nell'area di Fiumicino per granulometria: n.2 campagne x 5 transesti x 3 profondità (2,5,10 m) totale 30 campioni Campionamento nell'area estesa per granulometria: n.1 campagna x 8 transesti x 3 profondità (2,5,10 m) totale n.24 campioni		
	Campionamenti del sedimento per granulometria in corrispondenza delle stazioni di benthos	Spiegia sommersa, granulometria: n.1 campagna x n.5 transesti x n.5 campioni (2, 5, 10, 20, 30m) totale n.25 campioni		Spiegia sommersa, granulometria: n.1 campagna x n.5 transesti x n.5 campioni (2, 5, 10, 20, 30m) totale n.25 campioni
Analisi dei profili e sedimenti della spiaggia emersa	Profili spiaggia emersa	Spiegia emersa: n.2 rilevamenti per area (max 4 aree) x 2 stagioni totale n.16 rilevamenti	Spiegia emersa: n.2 rilevamenti per area (max 4 aree) x 3 stagioni totale n.24 rilevamenti	Spiegia emersa: n.2 rilevamenti per area (max 4 aree) x 3 stagioni totale n.24 rilevamenti
	Campionamenti della spiaggia emersa	Spiegia emersa, granulometria: N.2 campagne x max 4 aree x 2 transesti x 3 campioni totale n.48 campioni	Spiegia emersa, granulometria: N.3 campagne x max 4 aree x 2 transesti x 3 campioni totale n.72 campioni	Spiegia emersa, granulometria: n.3 campagne x max 4 aree x 2 transesti x 3 campioni totale n.72 campioni
Caratterizzazione dei principali corali d'acqua rilevanti ai fini della valutazione degli input fluviali	Misure di alveo in prossimità della foce	Morfologia (ampiezza, profondità) dell'alveo x 2 periodi		Morfologia (ampiezza, profondità) dell'alveo x 2 periodi
	Analisi degli apporti liquidi e solidi dei principali corsi d'acqua	n.5 Foci (4 Fiumi) x n.3 periodi totale n.15 campioni		n.5 Foci (4 Fiumi) x n.3 periodi totale n.15 campioni
Studio del rateo di sedimentazione	Verranno effettuati dei carotaggi al fine di analizzare, attraverso analisi di radiodazione, il rateo deposizionale dei sedimenti	n.1 carotaggio x 10 strati totale n.30 strati		n.1 carotaggio x 10 strati totale n.30 strati
Analisi dei sedimenti funzionali ad eventuali attività di dragaggio	Verranno effettuate analisi chimiche dei sedimenti come bianco in corrispondenza delle stazioni di benthos.	Campioni chimici: n.1 Campagna x n.5 transesti x n.5 campioni (2, 5, 10, 20, 30m) + n.1 transesto x n.3 campioni totale n.28 campioni		Campioni chimici: n.1 Campagna x n.5 transesti x n.5 campioni (2, 5, 10, 20, 30m) + n.1 transesto x n.3 campioni totale n.28 campioni
Campagne di studio delle comunità bentoniche	Analisi della Posizione oceanica mediante metodi acustici e campionamenti in situ	n.1 Campagna x n.3 transesti (n.1 calibrazione a transesto con n.3 campioni) totale n.3 transesti e n.9 campioni		n.1 Campagna x n.3 transesti (n.1 calibrazione a transesto con n.3 campioni) totale n.3 transesti e n.9 campioni
	Analisi del Benthos di fondo duro attraverso metodi non distruttivi (ROV e/o metodi fotografici)	n.1 Campagna ROV x n.3 transesti in n. 2 aree		n.1 Campagna ROV x n.3 transesti in n. 2 aree
	Analisi del Benthos di fondo mobile	n.1 Campagna x n.5 transesti x n.5 stazioni totale n.25 campioni		n.1 Campagna x n.5 transesti x n.5 stazioni totale n.25 campioni
	Analisi del Benthos di fondo mobili nell'area portuale	n.1 Campagna x n.3 stazioni totale n. 3 campioni		n.1 Campagna x n.3 stazioni totale n. 3 campioni
Pesca	Analisi delle variazioni quali-quantitative del pescato delle Marinerie locali	Raccolta dati quali quantitativi relativi al pescato delle marinerie locali		Raccolta dati quali quantitativi relativi al pescato delle marinerie locali
Batteri	Attività di campionamento ed analisi a supporto dei modelli di dispersione batterica		A cura di ARPA	A cura di ARPA
Supporto alla MSFD	Estrazione dei dati utili a supporto dei descrittori MSFD	D1 - Biodiversità e habitat D2 - Specie non indigene D3 - Eutrofizzazione D6 - Integrità del fondale marino D7 - Condizioni litografiche D8 - Contaminanti chimici	D1 - Biodiversità e habitat D2 - Integrità del fondale marino D4 - Eutrofizzazione D7 - Condizioni litografiche	D1 - Biodiversità e habitat D2 - Specie non indigene D6 - Eutrofizzazione D6 - Integrità del fondale marino D7 - Condizioni litografiche D8 - Contaminanti chimici
	Integrazione dati in conformità con descrittori MSFD	D11 - Rumore sottomarino D10 - Rifiuti Marini	D11 - Rumore sottomarino	D11 - Rumore sottomarino D10 - Rifiuti Marini
Reporting	I dati acquisiti nelle diverse fasi del progetto saranno analizzati ed elaborati al fine di produrre una serie di report descrittivi delle attività effettuate	n. 1 report	n. 2 report	n. 2 report



17. ALLEGATI

- Allegato 1: Descrizione dei modelli
- Allegato 2: Riassunto Relazioni Progressse
- Allegato 3: Relazione: Predisposizione delle attività di indagine per la realizzazione dello stralcio del I° Lotto Funzionale del Nuovo Porto commerciale di Fiumicino - Relazione di Avanzamento attività art. 4.1.4 Convenzione Operativa n.1 PRP Fiumicino
- Allegato 4: Relazione: Predisposizione delle attività di indagine per la realizzazione dello stralcio del I° Lotto Funzionale del Nuovo Porto commerciale di Fiumicino - Relazione di Avanzamento attività art. 4.1.3 Convenzione Operativa n.1 PRP Fiumicino
- Allegato 5: Osservazioni ISPRA marzo 2015 (Osservazioni al documento "Nuovo porto commerciale di Fiumicino. progetto di monitoraggio dei comparti biotico, morfodinamico e di trasporto solido lungo l'unità fisiografica Capo Linaro - Capo d'Anzio" (rev. 1 del 7/2014)
- Allegato 6: Documento ISPRA del 30.10.2020 'Relazione di sintesi delle risposte alle condizioni ambientali del Decreto 2010-00000007 del 16 febbraio 2010 e Considerazioni tecniche – Elementi per la stesura della bozza di relazione istruttoria per la verifica di ottemperanza'

BIBLIOGRAFIA

AA.VV 2007, Manuale per la movimentazione di sedimenti marini. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare-ICRAM.APAT.

Anderson, D. M., Andersen, P., Bricelj, V. M., Cullen, J. J., & Rensel, J. J. (2001). Monitoring and management strategies for harmful algal blooms in coastal waters (pp. 201-203). Unesco.

APAT, Irsa-Cnr. Metodi analitici per le acque. Manuali e linee guida, 2003, 29: 2003.

Bonamano, S., Scanu, S., Peviani, M.A., Marcelli, M., 2009. Hydrodynamic and littoral transport study of new Port of Fiumicino (Lazio region, Italy). International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, MARINE 2009.

Arany, L., Bhattacharya, S., Macdonald, J., & Hogan, S. J. (2015). Simplified critical mudline bending moment spectra of offshore wind turbine support structures. *Wind Energy*, 18(12), 2171-2197.

Borge, J. C. N. (1997). Análisis de campos de oleaje mediante radar de navegación en Banda X (Doctoral dissertation, Universidad de Alcalá).

Borge J. C. N. and C. Guedes Soares, “Analysis of directional wave fields using X-band navigation radar,” *Coastal Eng.*, vol. 40, no. 4, pp. 375–391, Jul. 2000.

Borge, J.N, Rodríguez, G. R., Hessner, K., & González, P. I. (2004). Inversion of marine radar images for surface wave analysis. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21(8), 1291-1300.

Burchard, H., Petersen, O., 1999. Models of turbulence in the marine environment – a comparative study of two equation turbulence models. *J. Mar. Syst.* 21, 29–53.

Cánovas-Molina A., Montefalcone M., Vassallo P., Morri C., Bianchi, C.N., Bavestrello G. (2016). Combining literature review, acoustic mapping and in situ observations: an



overview of coralligenous assemblages in Liguria (NW Mediterranean Sea). *Scientia Marina* 80, 7-16.

Centurioni, L., A. Horányi, C. Cardinali, E. Charpentier, and R. Lumpkin. 2017. A global ocean observing system for measuring sea level atmospheric pressure: Effects and impacts on numerical weather prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society* 98(2):231–238, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00080.1>.

Chang, G. C., & Dickey, T. D. (2005). Interdisciplinary sampling strategies for detection and characterization of harmful algal blooms. *Real-time observation systems for ecosystem dynamics and harmful algal blooms*. UNESCO, Paris.

De Dominicis, M., Pinardi, N., Zodiatis, G., Lardner, R. 2015. MEDSLIK-II, a Lagrangian marine surface oil spill model for short-term forecasting–Part 1: Theory. *Geoscientific Model Development*, 6(6), 1851-1869.

Engelund F., e Fredsoe J. 1976. A Sediment Transport Model for Straight Alluvial Channels. *Nordic Hydrology*, 7, pag.293-306.

Enrichetti F., Bo M., Morri C., Montefalcone M., Toma M., Bavestrello G., Tunesi L., Canese S., Giusti M., Salvati E., Bianchi C.N. (2019). Criteria to assess the environmental status of temperate mesophotic reefs. *Ecological Indicators* 102, 218-229.

Ferrarin, C., Umgiesser, G., Cucco, A., Hsu, T. W., Roland, A., Amos, C. L., 2008. Development and validation of a finite element morphological model for shallow water basins. *Coastal Engineering*, 55(9), 716-731.

Fang, H., Xie, T., Perrie, W., Zhao, L., Yang, J., & He, Y. (2017). Ocean wind and current retrievals based on satellite sar measurements in conjunction with buoy and hf radar data. *Remote Sensing*, 9(12), 1321.

Ferrigno F., Apolloni L., Russo G.F., Sandulli R. (2018). Impact of fishing activities on different coralligenous assemblages of Gulf of Naples (Italy). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 98 (1), 41-50.



FRESI, Eugenio, et al. Benthic community and sediment types: a structural analysis. *Marine Ecology*, 1983, 4.2: 101-121.

Gennaro P., Piazzoli L., Cecchi E., Montefalcone M., Morri C., Bianchi C.N. (Eds.), 2020. Monitoraggio e valutazione dello stato ecologico dell'habitat a coralligeno. Il coralligeno di parete. ISPRA, Manuali e Linee Guida n.191/2020

Grant, W.D., Madsen, O.S., 1986. The continental shelf bottom boundary layer. *Annual Review of Fluid Mechanics* 18, 265–305.

Gunther, H., Hasselmann, H., Janssen, P., 1993. The WAM model cycle 4. DKRZ report n.4.

Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Miller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W., Walden, H. 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe, A8-12*.

Hedegaard, I. B., Deigaard, R., & Fredsøe, J. (1991). Onshore/offshore sediment transport and morphological modelling of coastal profiles. In *Coastal Sediments* (pp. 643-657). ASCE.

Horányi, A., C. Cardinali, and L. Centurioni. 2017. The global numerical weather prediction impact of mean-sea-level pressure observations from drifting buoys. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 143(703):974–985, <https://doi.org/10.1002/qj.2981>.

International Organization for Standardization (ISO). 5667-9:1992 Water quality — Sampling — Part 9: Guidance on sampling from marine waters. ISO: Geneva, Switzerland, 1992.

International Organization for Standardization (ISO). 10260:1992 Water Quality Measurement of Biochemical Parameters Spectrometric Determination of the Chlorophyll a Concentration; ISO: Geneva, Switzerland, 1992.



Lazzara L., Bianchi F., Massi L., Ribera D'Alcalà M. (2010). Pigmenti clorofilliani per la stima della biomassa fototrofa. Manuali e Linee guida ISPRA 56/2010. Metodologie di studio del plancton marino. ISBN 978-88-448-0427-5. pp.365-377.

Ludeno, G., Flampouris, S., Lugni, C., Soldovieri, F., & Serafino, F. (2013). A novel approach based on marine radar data analysis for high-resolution bathymetry map generation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(1), 234-238.

Ludeno, G., Reale, F., Dentale, F., Carratelli, E. P., Natale, A., Soldovieri, F., & Serafino, F. (2015). An X-band radar system for bathymetry and wave field analysis in a harbour area. *Sensors*, 15(1), 1691-1707.

Ludeno, G., Reale, F., Dentale, F., Carratelli, E. P., Natale, A., & Serafino, F. (2015). Estimating nearshore bathymetry from X-band radar data. In *Coastal Ocean Observing Systems* (pp. 265-280). Academic Press.

Marcelli, M., Scanu S., Bonamano, S., Piermattei, V., 2008. Caratterizzazione batimetrica, della colonna d'acqua e correntometrica di due siti marini ubicati nell'area prospiciente il porto canale di Fiumicino: relazione tecnica finale e valutazione delle ricerche effettuate. REL-11.0-MET-0608-ICR

Margaritora, G. 1993. Il Tevere urbano. Accademia Nazionale dei Lincei Commissione per l'ambiente e grandi calamità naturali, 17.

MATTM-Regioni, 2018. Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018 - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp

Maximenko, N., R. Lumpkin, and L. Centurioni. 2013. Ocean surface circulation. Pp. 283-304 in *Ocean Circulation & Climate: A 21st Century Perspective*. G. Siedler, S.M. Griffies, J. Gould, and J.A. Church, eds, International Geophysics, vol. 103, Academic Press.



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. Lo Studio Editoriale srl, Roma (2001).

Neumeier, U., Ferrarin, C., Amos, C.L., Umgiesser, G., Li, M.Z., 2008. Sedtrans05: An improved sediment-transport model for continental shelves and coastal waters. *Comput. Geosci.* 34, 1223–1242.

Niiler, P.P. 2001. The world ocean surface circulation. Pp. 193–204 in *Ocean Circulation and Climate: Observing and Modelling the Global Ocean*. G. Siedler, J. Church, and J. Gould, eds, *International Geophysics*, vol. 77, [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(01\)80119-4](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(01)80119-4).

Novi, L., Raffa, F., & Serafino, F. (2020). Comparison of Measured Surface Currents from High Frequency (HF) and X-Band Radar in a Marine Protected Coastal Area of the Ligurian Sea: Toward an Integrated Monitoring System. *Remote Sensing*, 12(18), 3074.

Onorati, F., Mugnai, C., Pulcini, M., & Gabellini, M. (2013). A framework for the integrated assessment and management of dredged materials in Italy: a case study based on the application of Local Sediment Quality Guidelines. *Journal of Soils and Sediments*, 13(2), 474-487.

Pearson T.H., Rosenberg R., (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 16: 229-311.

Pegau, S., Zaneveld, J. R. V., Mitchell, G. B., Mueller, J. L., Kahru, M., Wieland, J., & Stramska, M. (2003). *Ocean Optics Protocols For Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 4. Volume IV: Inherent Optical Properties: Instruments, Characterizations, Field Measurements and Data Analysis Protocols.[and Erratum 1]*.

Relazione ARPA (2014) “Valutazione degli indici di qualità ambientale delle acque marino-costiere prospicienti Capo Circeo e Golfo di Gaeta mediante analisi del macrobenthos di fondo mobile”



Relazione ARPA (2014) Valutazione degli indici di qualità ambientale delle acque marino-costiere prospicienti il litorale da Anzio al Lido di Tarquinia mediante analisi del macrobenthos di fondo mobile.

Roelvink D., Ad Reniers A., Van Dongeren A., Van Thiel de Vries J, Lescinski J., McCall R.F., 2010. XBeach model description and manual 6end. Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology. 108 pp.

Serafino F., C. Lugni, and F. Soldovieri, “A novel strategy for the surface current determination from marine X-band radar data,” IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 7, no. 2, pp. 231–235, Apr. 2010.

Serafino, F., Lugni, C., Ludeno, G., Arturi, D., Uttieri, M., Buonocore, B., ... & Soldovieri, F. (2012). REMOCEAN: A flexible X-band radar system for sea-state monitoring and surface current estimation. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 9(5), 822-826.

Shen, H., Perrie, W., & Wu, Y. (2019). Wind drag in oil spilled ocean surface and its impact on wind-driven circulation. Anthropocene Coasts, 2(1), 244-260.

Shigunov, V. (2018). Numerical Prediction of Added Power in Seaway. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 140(5).

Socal, G., Buttino, I., Cabrini, M., Mangoni, O., Penna, A., & Totti, C. (2010). Metodologie di studio del plancton marino. ISPRA, Manuali e Linee Guida, 56, 623.

Strickland, J.D.H., T.R. Parsons. (1972). A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board Can. Bull. 167, 2nd ed.

Stauffer BA, Bowers HA, Buckley E, Davis TW, Johengen TH, Kudela R, McManus MA, Purcell H, Smith GJ, Vander Woude A and Tamburri MN (2019) Considerations in Harmful Algal Bloom Research and Monitoring: Perspectives From a Consensus-Building Workshop and Technology Testing. Front. Mar. Sci. 6:399. doi: 10.3389/fmars.2019.00399.



- Sugianto, D. N., Zainuri, M., Darari, A., Suripin, S., Darsono, S., & Yuwono, N. (2017). Wave height forecasting using measurement wind speed distribution equation in Java Sea, Indonesia. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(5), 604-619.
- Tolman, H. L., 2009. User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14. Technical note, MMAB Contribution, 276, 220.
- Umgiesser, G., 1997. Modelling the Venice Lagoon. *Inter. J. Salt Lake Res.* 6, 175–199
- Umgiesser, G., Canu, D.M., Cucco, A., Solidoro, C., 2004. A finite element model for the Venice lagoon: development, set up, calibration and validation. *J. Mar. Syst.* 51, 123–145.
- UNEP/MAP-RAC/SPA (2014). Monitoring Protocol for Reefs - Coralligenous Community. By Garrabou J., Kipson S., Kaleb S., Kruzic P., Jaklin A., Zuljevic A., Rajkovic Z., Rodic P., Jelic K., Zupan D. (Eds.) RAC/SPA - MedMPAnet Project, Tunis. 35 pages + annexes.
- UNEP/MED (2019). Monitoring Protocols for IMAF Common Indicators related to Biodiversity and Non-Indigenous species, which includes the Guidelines for monitoring marine benthic habitats in the Mediterranean (WG.467/16). UNEP/MAP Athens, 301 pp.
- Van Rijn L. C., 1985, Sediment transport, part III: bed forms and alluvial roughness. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110: 1733-1754.
- Vanhellemont, Q., & Ruddick, K. (2015). Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing: Examples from Landsat-8. *Remote Sensing of Environment*, 161, 89-106.
- Vichi M., Cossarini G., Gutierrez Mlot E., Lazzari P., Lovato T., Mattia G., Masina S., McKiver W., Pinardi N., Solidoro C., Zavatarelli M. (2015): The Biogeochemical Flux
- Vichi, M., Masina, S., and Navarra, A., (2007a) A generalized model of pelagic biogeochemistry for the global ocean ecosystem. Part II: numerical simulations. *Journal of Marine Systems*, 64, 110-134.



Vichi, M., Pinardi, N., and Masina, S., (2007b) A generalized model of pelagic biogeochemistry for the global ocean ecosystem. Part I: theory. *Journal of Marine Systems*, 64, 89-109.

Wool, T., Ambrose, R. B., Martin, J. L., & Comer, A. (2020). WASP 8: The Next Generation in the 50-year Evolution of USEPA's Water Quality Model. *Water*, 12(5), 1398.

Wurl, O. (Ed.). (2009). *Practical guidelines for the analysis of seawater*. CRC press.

Young, I. R., Rosenthal, W., & Ziemer, F. (1985). A three-dimensional analysis of marine radar images for the determination of ocean wave directionality and surface currents. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 90(C1), 1049-1059.

Zampato, L., Umgiesser, G., Peron, F., 1998. Sviluppo di un modello di scambio termico all'interfaccia acqua-aria nella Laguna di Venezia. Technical Report 221. ISDGM/CNR. Venice. Pp. 33

Dataset: http://www.db_strategiamarina.isprambiente.it/app/#/data_consultation

https://www.weather.gov/media/akq/marine/Wind_Wave_Relationship_Reference.pdf