

PROGETTO DI RICERCA:

**PREDISPOSIZIONE DELLE ATTIVITA' DI INDAGINE PER LA
REALIZZAZIONE DELLO STRALCIO DEL 1° LOTTO FUNZIONALE
DEL NUOVO PORTO COMMERCIALE DI FIUMICINO**



INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. OGGETTO E SCOPO	7
3. METODOLOGIA DI PROGETTO	9
3.1 Approccio scientifico	9
3.2 Area di studio	10
4. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' FASE 0	14
4.1 Predisposizione modelli a scala regionale	14
4.2 Dataset necessario alla predisposizione del modello	22
4.3 Acquisizione dei dati di validazione e di input del modello	
a scala regionale	24
4.3.1 Colonna d'acqua	24
4.3.2 Dinamica	33
4.3.3 Campagne batimetriche	38
4.3.4 Remote Sensing	39
4.4 Raccolta ed analisi informazioni pregresse al fine di identificare le aree sensibili	42
4.5 Validazione e realizzazione di scenari di correnti ed onde in assenza/presenza del primo stralcio del porto	45
4.6 Validazione e realizzazione di scenari di dispersione del materiale dragato in assenza/presenza del primo stralcio del porto	47
4.7 Analisi preliminare delle aree di deposizione dei materiali per identificare le aree dove concentrare il campionamento per il monitoraggio degli impatti e proporzionare gli studi	49
4.8 Redazione del piano di monitoraggio	51
5. ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA PER LA DIVULGAZIONE DEI RISULTATI DERIVANTI DAL PRESENTE PROGETTO	52
6. CRONOPROGRAMMA	53

1. INTRODUZIONE

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), con Decreto di Valutazione di Impatto Ambientale n. 7 del 16.02.2010, ha decretato *“giudizio positivo circa la compatibilità ambientale relativamente al progetto Variante al Piano Regolatore Portuale di Fiumicino [...]”* presentata dall'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale. Il punto “10” del suddetto decreto riporta le condizioni e prescrizioni finalizzate alle misure di monitoraggio e mitigazione dei potenziali impatti dovuti alla realizzazione del Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino.

In particolare, le attività di monitoraggio si svolgeranno in conformità di quanto indicato nel punto 10.h del DEC VIA n. 7 del 16.02.2010 che nel dettaglio prevede:

- *“La predisposizione nell’ambito della progettazione esecutiva di un Piano di monitoraggio esteso a tutta l’Unità Fisiografica (da Capo Linaro a Capo Anzio)” [...]*
- *[...] “Porre attenzione sia al comparto biotico potenzialmente interessato dagli impatti dell’opera sia al comparto morfodinamico e di trasporto solido”.*
- *“Lo svolgimento del monitoraggio dovrà iniziare almeno prima dell’inizio dei lavori, in tempo utile da considerare almeno due stagioni significative e dovrà proseguire durante la fase di cantiere e fino ad almeno due anni dal completamento dell’opera”.*
- *“Il Piano di monitoraggio dovrà tenere conto di tutte le componenti biotiche e abiotiche comprese nelle matrici acqua, sedimento e benthos contenute 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”.*

I risultati del presente progetto sono inoltre funzionali all'ottemperanza del successivo punto 10.i del citato DEC VIA n.7 del 16.02.2010 che decreta:

- *“In fase di progettazione esecutiva l'Autorità Portuale dovrà elaborare secondo modalità da concordare con ARPA Lazio un Programma di Monitoraggio finalizzato a valutare l'eventuale impatto sulla qualità delle acque di balneazione [...] nonché all'individuazione delle misure di mitigazione eventualmente necessarie.*
- *L'attività di monitoraggio, che potrà essere attuata mediante l'installazione di centraline fisse di monitoraggio ovvero mediante periodiche raccolte ed analisi di campioni, dovrà essere avviata prima dell'inizio delle attività di cantiere e dovrà essere estesa, con le modalità che verranno stabilite nel suddetto Programma, alla fase di esercizio delle opere in progetto”*

Il presente documento recepisce inoltre le indicazioni di ISPRA riferite al precedente progetto di monitoraggio riguardante le opere comprese all'interno del I Lotto funzionale (“Osservazioni al Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino. Progetto di Monitoraggio dei comparti Biotico, Morfodinamico e di Trasporto solido lungo l'Unità fisiografica Capo Linaro – Capo”) comunicate con documento prot.01291Z del 27 Marzo 2015.

Le opere verranno realizzate in più fasi, di cui la prima (c.d. I° Lotto Funzionale) prevede la realizzazione di:

- dighe frangiflutti (molo di sopraflutto e di sottoflutto);
- dragaggio dei fondali;
- sporgente crociere, che delimiterà anche la darsena pescherecci;
- casse di colmata.

Le successive opere, con cui si completerà la variante al Piano Regolatore Portuale (P.R.P.) di Fiumicino, interesseranno l'invaso portuale realizzato a seguito del completamento del I° lotto funzionale (specchio acqueo delimitato dal molo di

sopraflutto e dal molo di sottoflutto) e il II° Lotto Funzionale (dragaggio dell'invaso portuale).

Le esigenze connesse con le disponibilità finanziarie possono prevedere la realizzazione del I Lotto funzionale attraverso una programmazione di stralci funzionali successivi secondo un cronoprogramma basato su tre fasi.

Per l'inizio lavori è predisposto uno stralcio del I Lotto funzionale del Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino, come riportato nel "Progetto definitivo del I Lotto funzionale del *Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino*" (prot. 71/2018). Le opere ipotizzate come I Stralcio funzionale del I Lotto prevedono la realizzazione della Darsena pescherecci, protetta da opere foranee in parte conformi al I Lotto ed in parte riutilizzabili nel II Stralcio. 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.



Fig. 1. Opere previste nel primo stralcio del I Lotto funzionale

Il progetto deve rispondere 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. Il progetto di seguito presentato risponde inoltre alla necessità di operare una suddivisione in fasi delle attività conoscitive in funzione dell'esigenza di redigere un piano di monitoraggio il cui schema logico generale tenga conto di tutte le fasi di lavoro previste.

Inoltre, guardando al contesto normativo internazionale, il progetto si inquadra nell'ambito della Direttiva Europea sulla Strategia Marina, nata dalla consapevolezza che le pressioni sulle risorse marine sono spesso troppo elevate e dall'esigenza di ridurre gli impatti. Questo ha portato il Parlamento e il Consiglio dell'Unione Europea ad emanare la Direttiva quadro 2008/56/CE sulla strategia per l'ambiente marino (Marine Strategy Framework Directive - MSFD), è uno strumento innovativo per la protezione dei mari poiché costituisce il primo contesto normativo vincolante per gli Stati Membri a considerare l'ambiente marino in un'ottica sistemica, con lo scopo di prevenire il degrado e ripristinare gli ecosistemi danneggiati.

2. OGGETTO E SCOPO

In ottemperanza alle osservazioni di ISPRA nel documento sopra citato di marzo 2015, l'obiettivo del presente progetto è quello di effettuare una serie di attività di ricerca utili a predisporre il Piano di Monitoraggio di cui al DEC VIA n.7 del 16.02.2010, lettera "h" che prescrive la predisposizione "[...] nell'ambito della progettazione esecutiva, di un Piano di Monitoraggio esteso a tutta l'unità fisiografica (da Capo Linaro a Capo d'Anzio) [...]".

In considerazione delle opere previste nello stralcio suddetto e delle osservazioni presentate da ISPRA, il progetto che verrà redatto adotterà una strategia complessiva di suddivisione in fasi che contribuirà alla valutazione della variazione spazio temporale dei processi oggetto di studio, con questa preliminare Fase 0 costituita da attività di campo e indagini a scala di Unità Fisiografica funzionali alla calibrazione di modelli numerici di simulazione per la realizzazione di scenari utili alla successiva redazione di un Piano di Monitoraggio comprendente la successiva Fase Ante Operam necessaria per la comprensione delle condizioni di bianco antecedenti l'inizio dei lavori.

Al fine di soddisfare i requisiti di cui al citato DEC VIA è stato predisposto un innovativo progetto di ricerca che prevede differenti fasi operative:

- Fase 0: raccolta dati e predisposizione modello a scala regionale e di dettaglio propedeutico alla valutazione delle attività di studio degli effetti delle strutture portuali
- Fase Ante Operam
- Fase di cantiere
- Fase di esercizio

A seguito dello Stralcio del I Lotto Funzionale di Fiumicino, che prevede una prima realizzazione di una parte dell'opera, le attività sono state adeguate alle differenti nuove fasi di realizzazione.



In questo documento vengono presentate solamente le attività relative alla Fase 0, necessarie alla predisposizione dei modelli a scala regionale e a raccogliere le informazioni pregresse atte a fornire le basi conoscitive e matematiche per la redazione del progetto degli studi di cui alle fasi successive che verranno sviluppate nel progetto esecutivo.

3. METODOLOGIA DI PROGETTO

3.1 Approccio scientifico

Un moderno approccio allo studio delle dinamiche dei sistemi marini costieri richiede l'applicazione integrata di diversi approcci teorici e di campo. I differenti processi dinamici costieri infatti avvengono con scale spaziali e temporali molto spesso differenti fra loro e le differenti attività di monitoraggio che sono indissolubilmente legate alle scale spaziali e temporali delle piattaforme di misura (navi, barche, boe, etc.), rimangono spesso “fotografie” dei singoli differenti aspetti, e non consentono di avere un quadro sintetico ed univoco del sistema oggetto di studio. Una logica di studio dove i differenti comparti ambientali vengono analizzati in modalità indipendente gli uni dagli altri può generare una analisi a volte anche troppo dettagliata delle differenti componenti dei sistemi naturali marini, con un dispendio molto elevato di energie e costi ma spesso incompleta nella visione della fenomenologia complessiva.

L'approccio tenuto vuole superare questo problema mediante la creazione di un sistema osservativo e previsionale costituito da un sistema di modelli numerici calibrati e di rappresentazioni sinottiche, alimentato dalle informazioni provenienti da misure di campo ed immagini remote (Bonamano et. Al. 2016).

L'integrazione dei dati telerilevati con i dati acquisiti in campo è di fondamentale importanza perché questi ultimi, rappresentando la verità mare della sinossi satellitare, consentono una analisi dettagliata dell'evoluzione nello spazio e nel tempo degli effetti dovuti alle interazioni tra le attività antropiche e i processi oceanici naturali. I dati satellitari calibrati e i dati acquisiti *in situ* sono fondamentali per i modelli matematici tramite i quali sarà possibile ottenere la rappresentazione dei diversi scenari.

Il presente progetto si basa quindi su una strategia complessiva di rilevamento, trattamento dei dati e modellistica, che contribuirà alla valutazione della variazione spazio-temporale dei processi oggetto di studio.

I dati acquisiti nella Fase 0 verranno quindi inseriti come input nei modelli matematici che simuleranno oltre alla possibile interferenza delle nuove opere con la dinamica litoranea, anche fenomeni potenzialmente collegati alle necessarie attività di dragaggio. Verranno inoltre utilizzati i dati già in possesso dell'Autorità Portuale di Sistema del Tirreno centro-settentrionale utili allo svolgimento di questo progetto al fine di evitare sovrapposizioni di attività.

3.2 Area di studio

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



Fig. 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 (fig. 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 (fig. 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.

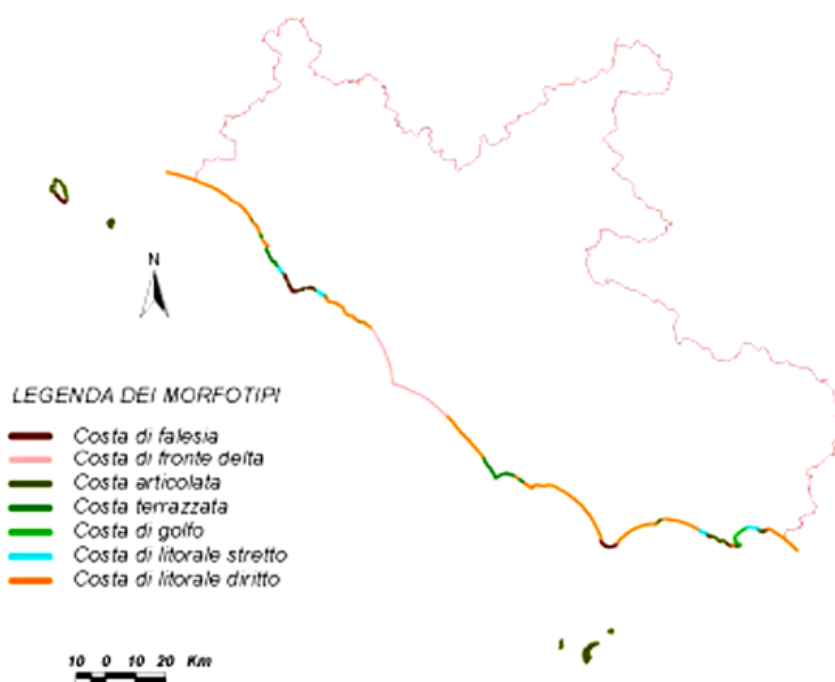


Fig. 3. Morfotipi presenti nel Lazio (Ferretti et Al. 2003)

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, dinnanzi 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 presenta 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 periportuale, a livello preliminare sono state individuate tre zone rappresentative in corrispondenza dell'area costiera di Palidoro a nord, di Castel Porziano a sud e di Focine in prossimità del delta del fiume Tevere. Tali aree sono state successivamente utilizzate, come specificato di seguito, per la delimitazione dell'ambito locale dell'area di studio.

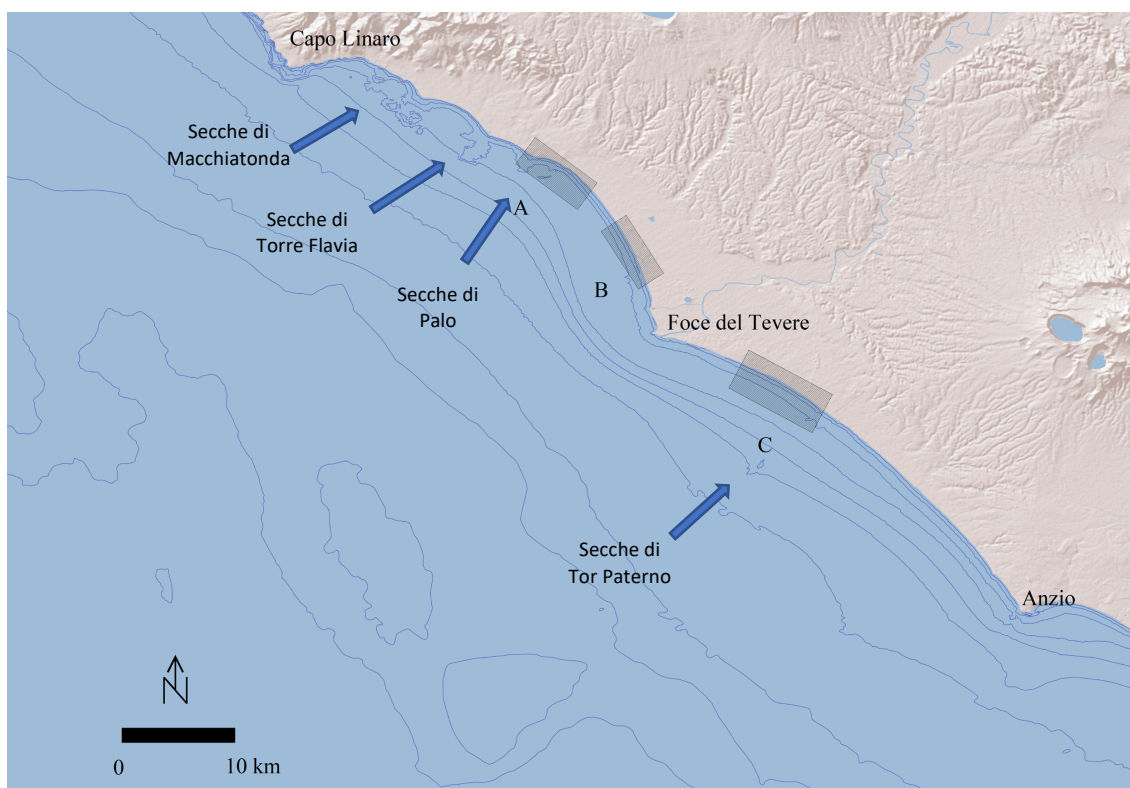


Fig.4. Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio: aree costiere rappresentative presso Palidoro (A), Focene (B) e Castel Porziano (C)

4. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' FASE 0

4.1. Predisposizione modelli a scala regionale

In questa attività verranno predisposti i modelli numerici necessari a definire le principali caratteristiche ambientali del mare. Nello specifico è previsto l'utilizzo di una componente idrodinamica (correnti, livello del mare e traccianti attivi), di una di moto ondoso (altezza significativa, periodo e direzione delle onde) e di una di trasporto del sedimento (cambiamento della morfologia sommersa e concentrazione del sedimento in sospensione).

Modello idrodinamico SHYFEM

Il modello idrodinamico implementato sarà SHYFEM (Shallow water HYdrodynamics Finite Element Model) (Umgiesser et Al. 2004) utilizzato in modalità tridimensionale e baroclina, come già implementato con successo e in modo previsionale nelle zone costiere e nelle aree portuali della Puglia. Il modello è basato su un approccio a elementi finiti di tipo a griglia non strutturata riconfigurabile che 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.

Il modello risolve le equazioni primitive, integrate verticalmente su ogni livello. La diffusione orizzontale, il gradiente di pressione e l'avvezione baroclina nell'equazione del momento sono trattati in modo esplicito. La forza di Coriolis e il gradiente di pressione barotropica nell'equazione del momento e il termine divergenza nella equazione di continuità sono trattati in modo semi-implicito. I termini di stress verticale e il termine di attrito al fondo sono trattati in implicito per ragioni di stabilità. La caratteristica fondamentale del metodo semi-implicito è che unisce i vantaggi di uno

schema implicito, incondizionata stabilità per ogni passo temporale scelto, con quelli dello schema esplicito, quali la riduzione della matrice di risoluzione.

Per il calcolo della diffusività verticale e viscosità è stato utilizzato uno schema di chiusura turbolenza. Questo schema è un adattamento del modulo k- ϵ del modello GOTM (General Ocean Turbulence Model) descritto in Burchard e Petersen (1999). Le velocità sono calcolate al centro di ogni elemento, mentre il livello temperatura e salinità è calcolato nei nodi della griglia. Verticalmente il modello descrive la colonna d'acqua tramite livelli Z di diverso spessore. La maggior parte delle variabili sono calcolate al centro di ogni strato, mentre i termini di stress e le velocità verticali sono risolti alle interfacce tra gli strati.

Le equazioni, integrate in ogni livello, sono:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_l}{\partial t} + u_l \frac{\partial U_l}{\partial x} + v_l \frac{\partial U_l}{\partial y} - fV_l = -gh_l \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gh_l}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-H_l}^{\zeta} \rho' dz + \\ - \frac{h_l}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} (\tau_x^{top(l)} - \tau_x^{bottom(l)}) + A_H \left(\frac{\partial^2 U_l}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_l}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_l}{\partial t} + u_l \frac{\partial V_l}{\partial x} + v_l \frac{\partial V_l}{\partial y} + fU_l = -gh_l \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gh_l}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H_l}^{\zeta} \rho' dz + \\ - \frac{h_l}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0} (\tau_y^{top(l)} - \tau_y^{bottom(l)}) + A_H \left(\frac{\partial^2 V_l}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_l}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \sum_l \frac{\partial U_l}{\partial x} + \sum_l \frac{\partial V_l}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

dove:

l = livello verticale,

(U_l, V_l) = trasporti orizzontali in ogni livello (velocità integrate),

f = parametro di Coriolis,

p_a = pressione atmosferica,

g = accelerazione gravitazionale,

ζ = livello del mare,

ρ_0 = densità media del mare,

$\rho = \rho_0 + \rho$ = densità del mare,

τ = stress interni alla superficie e al fondo di ogni strato,

h_l = spessore dello strato

H_l = profondità del fondo dello strato l ,

A_H = viscosità orizzontale.

$$\tau_x^{surface} = c_D \rho_a w_x \sqrt{w_x^2 + w_y^2} \quad \tau_y^{surface} = c_D \rho_a w_y \sqrt{w_x^2 + w_y^2} \quad (4)$$

$$\tau_x^{bottom} = c_B \rho_0 u_L \sqrt{u_L^2 + v_L^2} \quad \tau_y^{bottom} = c_B \rho_0 v_L \sqrt{u_L^2 + v_L^2} \quad (5)$$

dove:

c_D = coefficiente di attrito del vento,

c_B = coefficiente di attrito al fondo,

ρ_a = densità dell'aria,

(w_x, w_y) = componenti del vento,

(u_L, v_L) = velocità dell'acqua nell'ultimo livello.

Per comprendere la capacità di rimescolamento del sistema e l'evoluzione della salinità, della temperatura dell'acqua o di un qualsivoglia tracciante, è stato studiato il comportamento di una sostanza conservativa disciolta in acqua. In un punto qualsiasi del sistema l'evoluzione della concentrazione S di un tracciante conservativo è calcolabile applicando il principio di conservazione della massa (Umgiesser, 1997):

$$\frac{\partial S_l}{\partial t} + \frac{\partial u_l S_l}{\partial x} + \frac{\partial v_l S_l}{\partial y} + \frac{\partial w_l S_l}{\partial z} = \nu_h \left(\frac{\partial^2 S_l}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S_l}{\partial y^2} \right) + \nu_{v,l} \frac{\partial^2 S_l}{\partial z^2} + F \quad (6)$$

dove:

S_l = concentrazione nello strato l,

ν_h e $\nu_{v,l}$ = coefficienti di diffusione orizzontale e verticale (calcolati dal modello k-E di chiusura della turbolenza),

F = sorgenti esterne.

La temperatura dell'acqua di un bacino varia nello spazio e nel tempo; questo indica che il calore fornito dalla radiazione solare viene assorbito, trasportato dalle correnti e scambiato con l'atmosfera per mezzo di diversi processi, come evaporazione e convezione.

La variazione della temperatura dell'acqua nel tempo è data dall'equazione 6 e gli scambi di calore con l'atmosfera sono contenuti nel termine sorgente $\phi = Q/C$ (Zampato et al., 1998). C è la capacità termica del volume V di fluido considerato con:

$$C = c\rho V$$

$c=4183$ [J/kg K] calore specifico e $\rho=1000.52$ [kg/m³] densità dell'acqua. Q è il flusso di calore per unità di tempo in W/m² scambiato tra l'atmosfera e mare attraverso la superficie marina, che si può scindere nella somma di quattro termini:

$$Q = Q_s + Q_b + Q_e + Q_h$$

I quattro contributi rappresentano altrettanti processi fisici:

- Q_s è il flusso di energia solare attraverso la superficie del mare (short-wave radiation). Q_s presenta un'elevata variabilità giornaliera e stagionale: i suoi

valori dipendono da lunghezza del giorno, elevazione del sole, assorbimento da parte dell'atmosfera, copertura nuvolosa, riflessione alla superficie;

- Q_b è il flusso netto di calore tra atmosfera e mare, in base alla legge di Stefan-Boltzmann (long-wave radiation): è dato dalla differenza tra il flusso di energia irraggiato dalla superficie, a temperatura T_s , proporzionale a T_s^4 dalla legge di Stefan, e il flusso ricevuto dall'atmosfera, a temperatura T_a , proporzionale a T_a^4 . Q_b non presenta notevoli variazioni giornaliere o stagionali, né forti variazioni con la latitudine;
- Q_e è il flusso di calore scambiato con l'atmosfera attraverso i processi di evaporazione e condensazione: è proporzionale al gradiente della concentrazione di vapore acqueo sopra la superficie del mare alla velocità del vento W ;
- Q_h è il flusso di calore scambiato con l'atmosfera per conduzione e convezione. Questo termine è proporzionale al gradiente di temperatura nello strato atmosferico sopra la superficie del mare e come Q_e dipende dalla velocità del vento W , che è intesa come scala per l'effetto della turbolenza.

Il modello è inizializzato e annidato nel sistema di previsione MFS, forzato alle condizioni al contorno da MFS e da OTS (OSU Tidal Prediction Software, codice in grado di fornire il segnale di marea) e forzato alla superficie dai campi di ECMWF. Il set up completo del modello è stato implementato in termini di:

- (i) condizioni iniziali: temperatura, salinità, livello del mare, correnti (da MFS);
- (ii) condizioni al contorno alla superficie: temperatura di rugiada a 2m, temperatura dell'aria a 2m, velocità del vento a 10m, pressione atmosferica, copertura nuvolosa e precipitazione totale (da ECMWF);
- (iii) condizioni al contorno aperte: correnti, temperatura e salinità (da MFS), livello del mare (da MFS e OTS);
- (iv) climatologie e variazioni orarie/giornaliere relative alla velocità del flusso, temperatura e salinità del fiume Tevere.

Per maggiori dettagli sulle condizioni iniziali e al contorno del modello vedi Par 4.2.

Il modello di moto ondoso WaveWatch3

Per riprodurre il moto ondoso verso costa verrà utilizzato il modello WaveWatch3 (WWIII) che è in grado di seguire lo stesso approccio della modellistica idrodinamica, ovvero (i) creazione di modelli a griglia non strutturata, e (ii) annidamento in modelli di scala di bacino del sistema Copernicus Marine Service.

WWIII è un modello d'onda di terza generazione sviluppato da NOAA/NCEP, e segue il modello fisico WAM Cycle4 (Gunther et al. 1993). WWIII differisce dai suoi predecessori in diversi punti come: le equazioni generali, la struttura del modello, i metodi numerici e le parametrizzazioni fisiche. Inoltre, WW3 si sta evolvendo da un modello a onde in un framework di modellazione a onde, che consente un facile sviluppo di ulteriori approcci fisici e numerici. Esso risolve l'equazione di "random phase spectral action density balance" per il numero d'onda e la direzione spettrale. L'assunzione implicita di questa equazione è che le proprietà del mezzo (profondità e corrente dell'acqua) nonché il campo d'onda stesso variano su scale temporali e spaziali che sono molto più grandi delle scale di variazione di una singola onda. Il modello ha alcune opzioni relative al termine sorgente in caso di acque estremamente basse ("surf zone"), nonché gli elementi wet/dry della griglia di calcolo. Le equazioni del modello WWIII includono rifrazione e tensione del campo d'onda dovuto alle variazioni temporali e spaziali della profondità media dell'acqua e della corrente media (maree, surge, ecc.). Le parametrizzazioni dei processi fisici includono la crescita e il decadimento delle onde dovuti alle azioni del vento, interazioni di risonanza non lineari, dissipazione ("whitecapping"), attrito del fondo, scattering del fondo, surf-break (ovvero, rottura indotta in profondità) e scattering dovuto a interazioni sul fondo dell'onda. La propagazione delle onde è considerata lineare, pertanto i pertinenti effetti non lineari come le interazioni di risonanza sono inclusi nei termini sorgente. WWIII utilizza una griglia regolarmente distanziata (non è necessario che gli incrementi di

latitudine e longitudine siano uguali), di tipo cartesiana e non strutturata. Il modello d'onda WWIII può essere forzato con campi scalari di vento, copertura del ghiaccio, differenza di temperatura aria-mare e correnti e inizializzato con spettri di altezza, periodo e direzione significativi ai boundaries. Lo spettro delle onde sarà discretizzato in 24 direzioni e 30 frequenze a partire da 0.035 Hz (nell'oceano Atlantico) a 0.0417 Hz (nel Mar Mediterraneo), con il 10% di incremento su ciascun asse.

Le variabili calcolate dal modello idrodinamico (correnti, livello del mare e traccianti attivi) nella zona costiera saranno influenzate dal campo d'onda che sarà fornito in input con un intervallo temporale di 1 ora.

Il modello di trasporto del sedimento SEDTRANS05

I risultati dell'accoppiamento del modello idrodinamico con quello di moto ondoso verranno utilizzati dal modello di trasporto dei sedimenti SEDTRANS05 per determinare la dispersione del materiale dragato e le zone di accumulo ed erosione in assenza ed in presenza del primo stralcio del porto.

La dinamica del materiale in sospensione viene descritto dall'equazione 6. Alla superficie e al fondo le condizioni di contorno dell'equazione 6 per i sedimenti sono:

$$+\nu_{v,top}\frac{\partial S_{top}}{\partial z} + w_s S_{top} = FS \quad z=\text{superficie del primo livello}$$

$$-\nu_{v,bot}\frac{\partial S_{bot}}{\partial z} + w_s S_{bot} = ED \quad z=\text{fondo dell'ultimo livello}$$

dove FS è la quantità di sedimento sversata in superficie ed ED è il flusso netto di sedimento tra fondale marino e colonna d'acqua, calcolato come differenza tra deposizione e risospensione. Tale termine viene calcolato dal modello SEDTRANS05

(Neumeier et al., 2008). I fenomeni di erosione e deposizione avvengono principalmente all'interno dello strato limite, situato tra la colonna d'acqua e il fondale. Lo sforzo tangenziale al fondo indotto dai processi idrodinamici viene calcolato applicando la teoria dello strato limite della scarpata continentale ("Continental shelf bottom boundary layer theory") di Grants e Madsen (1986). La scabrezza del fondale è calcolata ad ogni intervallo temporale, considerando tre diverse tipologie di scabrezza: granulare, della morfologia del fondo e quella indotta dal trasporto al fondo.

SEDTRANS05 non solo calcola i parametri dello strato limite, ma predice anche lo sviluppo delle forme di fondo e i tassi di trasporto solido, sia come carico di fondo sia in sospensione, per sabbie e sedimenti coesivi. Il modello matematico SEDTRANS05 può essere usato per predire il tasso di trasporto e la direzione di sabbia o fango in condizioni di corrente stazionaria oppure onde e correnti combinate, al di fuori della zona di frangimento delle onde. Il modello computa entrambe le tipologie di trasporto dei sedimenti, al fondo per i sedimenti non coesivi e sospeso per sedimenti coesivi e non coesivi. In particolare, il trasporto al fondo per i sedimenti non coesivi può essere calcolato per mezzo di diverse formule presenti all'interno di SEDTRANS05. Diversamente, nel momento in cui lo sforzo tangenziale al letto supera il valore di sforzo critico per la sospensione, le particelle di sedimenti entrano nella colonna d'acqua e vengono trasportate sotto l'azione delle correnti.

SEDTRANS05 consente inoltre di calcolare il flusso sedimentario netto tra la colonna d'acqua e il fondo sia per i sedimenti coesivi sia per quelli non-coesivi. Per i sedimenti coesivi il flusso è dato semplicemente dalla differenza tra il tasso di erosione e quello di deposizione, mentre per quelli non-coesivi il flusso netto è computato come differenza tra la concentrazione di equilibrio e la concentrazione dello strato più basso della colonna d'acqua. In questo modo, quando la concentrazione dei sedimenti vicino al fondo è inferiore a quella di equilibrio, il flusso netto di sedimenti è diretto dal letto alla colonna d'acqua, viceversa quando la concentrazione vicino al fondo è superiore a quella di equilibrio.

La variazione morfologica del fondale è uguale alla somma dei contributi erosivi e di deposizione delle diverse frazioni sedimentarie presenti nella zona di studio e viene calcolata per entrambe le tipologie di trasporto ad ogni intervallo temporale del modello, in modo tale da aggiornare la topografia per il modello idrodinamico. SEDTRANS05 è in grado inoltre di computare i processi di flocculazione e consolidamento del fondale, di rilevante importanza per sedimenti coesivi.

Per caratterizzare il fondale e suddividere il trasporto di materiale possono essere definite diverse classi granulometriche. Il fondale è rappresentato tramite una sovrapposizione di strati sedimentari indipendenti, ciascuno caratterizzato dalla propria granulometria. Tra di essi il più superficiale rappresenta lo strato attivo per il trasporto di sedimenti. Per ogni frazione di sedimenti viene definito un volume disponibile all'interno di ciascuno strato, limitandone la quantità erodibile. Di conseguenza, il modello può tenere conto la diversa resistenza all'erosione fra gli strati e la distribuzione spaziale dei sedimenti. Nel momento in cui uno strato viene completamente eroso, viene rimosso dalla simulazione e gli strati inferiori vengono rialzati di un livello.

I risultati del modello permetteranno quindi di identificare le aree maggiormente soggette ai fenomeni di erosione ed accumulo dove concentrare il campionamento per il monitoraggio degli impatti e proporzionare gli studi (vedi Par. 4.7).

4.2. Dataset necessario alla predisposizione del modello

I modello idrodinamico e 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.

- 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.

- La linea di riva da immagini satellitari ad alta risoluzione fornite dall'Autorità di Sistema Portuale del Tirreno centro-settentrionale.
 - Il campo di vento dai dataset del sistema ECMWF fornito al CMCC dall'Aeronautica Militare.
 - Gli inputs fluviali da dati bibliografici disponibili per il fiume Tevere (gli altri apporti fluviali verranno analizzati in seguito quando si dovrà studiare l'impatto del porto nella sua configurazione definitiva).
 - Le correnti marine a mesoscala dal sistema Copernicus Marine Service (Modello NEMO).
 - Il moto ondoso a mesoscala dal sistema Copernicus Marine Service (Modello WAM).
- Tutti i dati raccolti, sia pregressi che di campo, saranno contenuti all'interno di un sistema informativo GIS che sarà predisposto per fornire rappresentazioni sinottiche utili nelle prime fasi del progetto.

Il data base sarà realizzato secondo i formati e gli standards "SeaDataNet" per poter effettuare lo sharing dei dati con la comunità scientifica di riferimento. Tutti i dati in formato SeaDataNet sono esportabili in formato universale CSV, importabile da qualsiasi altra piattaforma.

I risultati dei modelli saranno disponibili attraverso servizi di visualizzazione WMS e inseriti nel GIS del progetto laddove necessario.

La componente Cartografica sarà prodotta secondo 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 (RNDT), adottando gli standard WMS. L'infrastruttura del GIS che verrà sviluppato sarà compatibile con quanto realizzato da ISPRA. La cartografia benthos e sedimenti verrà prodotta secondo il sistema di riferimento WGS84 UTM fusi 32-33, mentre le sezioni oceanografiche verranno rappresentate in ODV WGS84.

4.3. Acquisizione dei dati di validazione e di input del modello a scala regionale

I modelli di cui al punto 4.1 verranno validati utilizzando dati *in situ* e da remoto raccolti nell'ambito delle attività che saranno brevemente di seguito descritte ed integrate con i dati disponibili nei database degli Enti pubblici e internazionali quali SeaDataNet i cui dati sono prevalentemente offshore al di fuori della piattaforma continentale.

4.3.1 Colonna d'acqua

Durante questa prima fase saranno effettuate campagne stagionali di caratterizzazione della colonna d'acqua in due periodi significativi, di stratificazione e mescolamento, lungo 3 transetti costa largo sino alla batimetria di 200 m in corrispondenza di Capo Linaro, foce del fiume Tevere, Capo d'Anzio, come riportato in Figura 5.

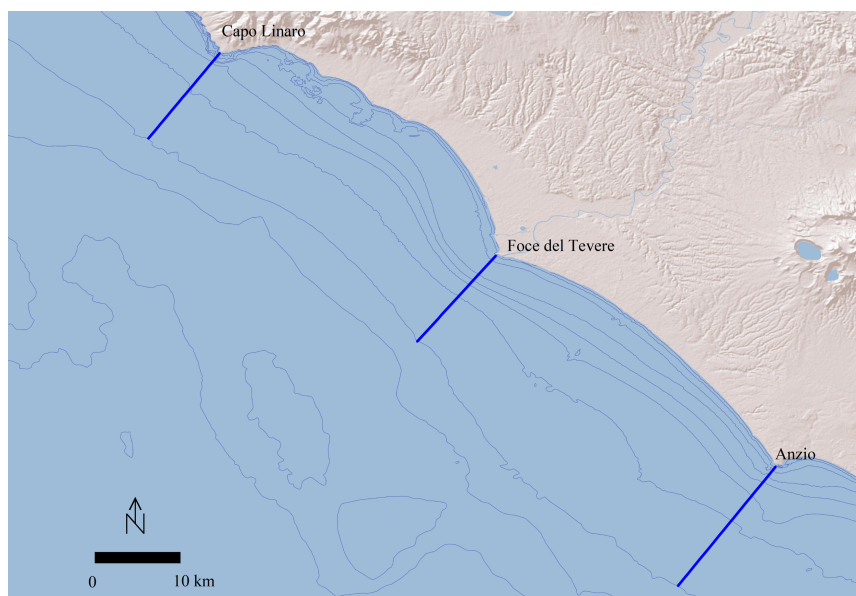


Fig.5. Campagna di caratterizzazione della colonna d'acqua

In corrispondenza dei transetti selezionati saranno acquisiti lungo la colonna d'acqua, mediante l'uso di sonde multiparametriche, dati di temperatura, salinità, pressione, ossigeno disciolto, clorofilla *a*, e solido sospeso, con strumentazione oceanografica di sufficiente accuratezza e precisione. Relativamente agli ultimi due parametri, saranno effettuati 30 campionamenti di acqua per ciascuna campagna finalizzati alla calibrazione della strumentazione e alla comparazione con i dati satellitari.

Le attività sopra descritte, fondamentali per l'ottimizzazione dei risultati dei modelli matematici e per acquisire una prima base conoscitiva dell'area, forniscono informazioni essenziali sulle caratteristiche oceanografiche dell'area di studio ed inoltre le misure saranno effettuate con modalità tali da rientrare anche nel quadro di riferimento istituito dalla Direttiva 2008/56/CE (Marine Strategy Framework Directive, MSFD).

In particolare, le attività di ricerca e monitoraggio che verranno svolte permetteranno 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 al DM 260/10 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, che costituiscono il riferimento normativo vigente per i piani di monitoraggio ambientale nazionali, fornendo una specifica definizione delle modalità per la caratterizzazione dei corpi idrici, il monitoraggio e l'identificazione delle condizioni di riferimento.

Di seguito il dettaglio delle metodologie utilizzate per le diverse attività previste.

Operazioni in mare

Le attività di misura ed analisi della colonna d'acqua seguiranno lo stato dell'arte internazionale per quanto attiene alle metodologie operative, le piattaforme di misura e le caratteristiche delle misure in termini di accuratezza e precisione della strumentazione, per le differenti piattaforme di misura utilizzate, (un esempio di riferimento: le GOOS EOVS).

Inoltre, i parametri acquisiti consentiranno la misura delle variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua (profondità, temperatura, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla e solido sospeso). Le misure verranno effettuate mediante sonde multiparametriche, dotate di specifici sensori per i singoli parametri da acquisire.

Le misure saranno anche conformi alle metodologie riportate nel Modulo operativo 1 *Parametri chimico-fisici colonna d'acqua, habitat pelagici, contaminanti in acqua* del Programma di Monitoraggio 2015-2017 definito nella Convenzione tra le ARPA e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Durante le campagne di misura, al fine di calibrare la strumentazione, verranno raccolti dei campioni di acqua attraverso una bottiglia Niskin, dotata di un sistema di apertura e chiusura attivabile alla profondità selezionata.

In particolare, verranno raccolti campioni per l'analisi della clorofilla *a*, per la corretta calibrazione dei fluorimetri, e per l'analisi del solido sospeso, per la corretta calibrazione dei sensori di torbidità. Le procedure che verranno adottate per l'analisi dei parametri sopra indicati sono conformi ai metodi riportati nelle procedure ISO per il campionamento, la conservazione e l'analisi dei campioni di acqua di mare, nei Manuali e Linee Guida APAT/CNR IRSA n. 29/2003 e successivi aggiornamenti, nei Manuali e Linee Guida ISPRA 56/2010 Metodologie di studio del Plancton marino, nei Quaderni IRSA e in 'Metodologie Analitiche di Riferimento-Programma di Monitoraggio per il controllo dell'Ambiente marino costiero/Triennio 2001.2003', MATTM, ICRAM, Roma 2001 e successivi aggiornamenti.

Modalità di campionamento

Clorofilla a

Il campione d'acqua da prelevare per la determinazione della concentrazione di clorofilla *a* verrà travasato dalla bottiglia di campionamento in una bottiglia di plastica scura da 5l, interponendo il retino da plancton con maglia da 250 µm, in modo da trattenere lo zooplancton e le macroalghe eventualmente presenti. Prima della raccolta del campione la bottiglia verrà avvinata tre volte.

Torbidità

Il campione d'acqua, che servirà per la calibrazione del sensore di torbidità e per avere la stima della quantità di solido sospeso, verrà prelevato dalla bottiglia di campionamento e travasato in bottiglie di plastica da 2l. Prima della raccolta del campione la bottiglia verrà avvinata tre volte.

Conservazione dei campioni

Di seguito si riportano le modalità di conservazione dei campioni, che verranno adottate per l'analisi dei parametri sopra indicati:

Clorofilla a

La conservazione dei campioni prelevati per la determinazione della concentrazione di clorofilla *a* verrà effettuata ponendo le bottiglie di raccolta del campione al fresco, lontano dai raggi solari, fino al momento della filtrazione, che dovrà avvenire non oltre le 2 ore successive alla raccolta del campione.

Torbidità

I campioni d'acqua prelevati dalla bottiglia di campionamento verranno riposti in contenitori di plastica da 2l. I campioni verranno analizzati nel più breve tempo possibile al fine di ridurre al minimo la possibilità di variazioni chimiche o fisiche o biologiche durante la conservazione.

Operazioni in laboratorio

Di seguito si riportano le attività di laboratorio ed i metodi di riferimento adottati per l'analisi dei parametri sopra indicati.

Clorofilla a

Apparecchiature

- Apparato per la filtrazione
- Pompa da vuoto
- Filtri in fibra di vetro Whatman GF/F 25 mm
- Provette da centrifuga da 10 ml
- Cilindri graduati da 1l
- Spettrofotometro

Procedura analitica

Preparazione dei reagenti

a. Acetone neutralizzato

Aggiungere all'acetone puro carbonato di sodio anidro in eccesso ed agitare vigorosamente. Filtrare, dopo almeno 24 ore, su carta da filtro e travasare nella spruzzetta.

b. Acetone neutro al 90 %

Mescolare 100ml di acqua grado reagente e 900 ml di acetone.

c. Acetone neutro all'80%

Mescolare 200ml di acqua grado reagente e 900 ml di acetone.

d. Acido cloridrico 0.66 mol/L

Versare lentamente e sotto agitazione 55 ml di acido cloridrico concentrato in 950 ml di acqua grado reagente.

Analisi dei campioni

Filtrare un volume noto (da 1 a 4l) di un campione d'acqua su filtri in fibra di vetro Whatman GF/F (25 mm di diametro). Utilizzare una pompa da vuoto assicurandosi che la pressione sia di circa 150 mmHg, per evitare la rottura delle cellule vegetali ed il conseguente passaggio dei pigmenti attraverso il filtro.

Conservare i filtri in provette da 10 ml in 5ml di Acetone disidratato 100% (inibisce le clorofillasi) al buio ad una temperatura di -20°C (i pigmenti sono fotolabili e termolabili) se si desidera posticipare il dosaggio spettrofotometrico. Nel caso in cui questo venga effettuato subito dopo la filtrazione riporre le provette a 4°C. Triturare i filtri con un pestello ed aggiungere un volume di Acetone 80% pari al volume di Acetone 100% con lo scopo di ottenere un estratto al 90%. Riporre i campioni ad una temperatura di circa 4°C per 24h per completare l'estrazione. Nel caso in cui il dosaggio spettrofotometrico venga effettuato subito dopo la filtrazione, riporre a 4°C per un'ora.

Centrifugare le provette chiuse per 15 minuti a 4000 giri/min in modo da separare il filtro dalla soluzione. Prelevare il sopranatante mediante pipetta e riempire la cuvette per la lettura allo spettrofotometro. Procedere con la lettura dell'estratto allo spettrofotometro.

Calcoli

Tre sono i metodi più ampiamente utilizzati per la stima dei pigmenti fotosintetici:

- metodo della stima della clorofilla *a* (con feopigmenti) (Jeffrey & Humphrey, 1975);
- metodo per la stima delle clorofille *a, b* e *c* (Lorenzen & Jeffrey, 1980);

- metodo per la stima separata della clorofilla *a* e dei feopigmenti (Lorenzen, 1967).

Torbidità

Apparecchiature

- Stufa a convezione naturale, munita di termostato capace di mantenere costante la temperatura entro $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Essiccatore.
- Bilancia analitica di 200 g di capacità con risoluzione di 0,1 mg.
- Apparecchio per filtrazione sottovuoto, adeguato al tipo di filtro prescelto.
- Membrane filtranti con pori di diametro medio di 0,45 μm .

Procedura analitica

Porre il filtro per 1 ora in stufa alla temperatura di 105°C ; lasciarlo raffreddare in essiccatore per 30 minuti e pesarlo al decimo di milligrammo. Collocare il filtro nell'apparecchio di filtrazione. Prelevare un'opportuna aliquota del campione da analizzare e, dopo preventiva omogeneizzazione, effettuare la filtrazione sotto vuoto, avendo cura di lavare il dispositivo di prelievo (cilindro graduato o altro) con il liquido filtrato. Per campioni a bassa torbidità il volume prelevato deve essere almeno di un litro, mentre per valori di torbidità più elevati deve essere tale da fornire da 20 a 100 mg di solidi sospesi. Lavare per tre volte il filtro con acqua deionizzata (10 ml per volta) e, a filtrazione completata, mantenere il vuoto per tre minuti.

Ultimata la filtrazione, trasferire il filtro con il suo contenuto in una stufa alla temperatura di 105°C . Dopo 1 ora lasciar raffreddare il filtro in essiccatore per 30 minuti e pesare.

Calcoli

Il contenuto di solidi totali disciolti alla temperatura scelta è dato da:

$$\text{Solidi Sospesi } \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(M1 - M0) * 1000}{V}$$

dove:

M1 = peso (mg) del filtro e del residuo dopo essiccamento;

M0 = peso (mg) del filtro;

V = volume (ml) di campione sottoposto a filtrazione.

Osservazioni oceanografiche attraverso la piattaforma Glider

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).

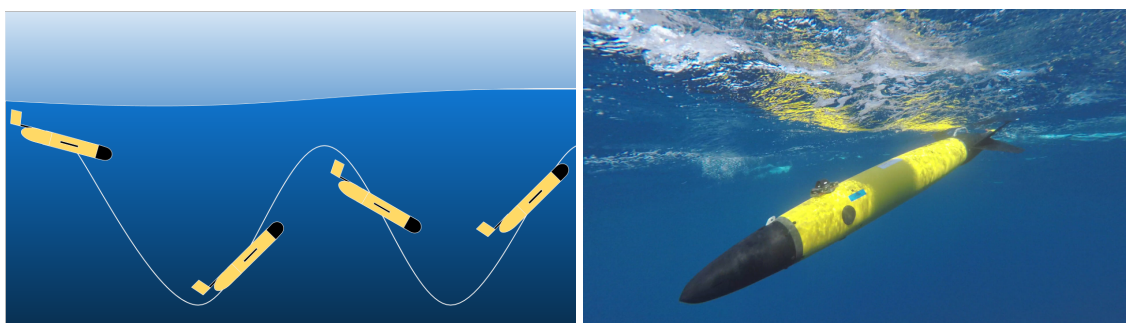


Fig 6. Piattaforma Glider tipo e simulazione delle traiettorie effettuate in colonna d'acqua

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. Spinto da cambiamenti di galleggiamento, il veicolo scivola silenziosamente su e giù per la colonna d'acqua mentre raccoglie una variegata tipologia di dati, a seconda della sensoristica montata. 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. Queste piattaforme sono universalmente riconosciute nei programmi di ricerca e monitoraggio e sono presenti nelle metodologie standard per quanto attiene alle Goos EOVs (ogni variabile presenta le caratteristiche di accuratezza e precisione per questa piattaforma di misura

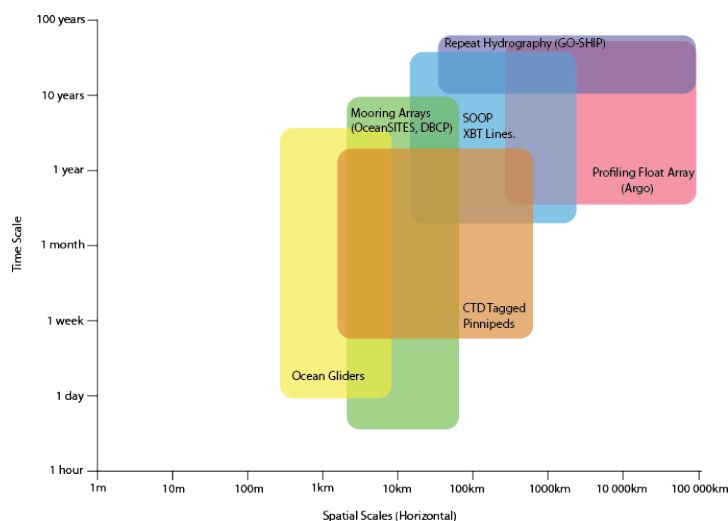


Fig. 7. Scale spaziali e temporali di alcune piattaforme di misura. La piattaforma Glider permette di risolvere le strutture oceanografiche e analizzare i processi dinamici con il miglior dettaglio

Durante questo progetto i metodi tradizionali per la raccolta dei dati lungo la colonna d'acqua saranno integrati 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.

4.3.2 Dinamica

Radar X-Band

Durante il progetto sarà installato un sistema radar X-Band, con il supporto del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (LOSEM) del DEB dell'Università della Tuscia, per il monitoraggio dello stato del mare in termini di correnti superficiali e onde in un'area vasta antistante e limitrofa la foce della Fiumara Piccola del fiume Tevere. Il sistema di misura coprirà l'area riportata in Figura 9, caratteristica che rappresenta un'evoluzione importante rispetto al punto singolo misurato dalle tradizionali boe ondametrichi, in quanto consente di studiare la dinamica su una scala più ampia e con un dettaglio molto elevato.

Il radar X Band (Extendend 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.

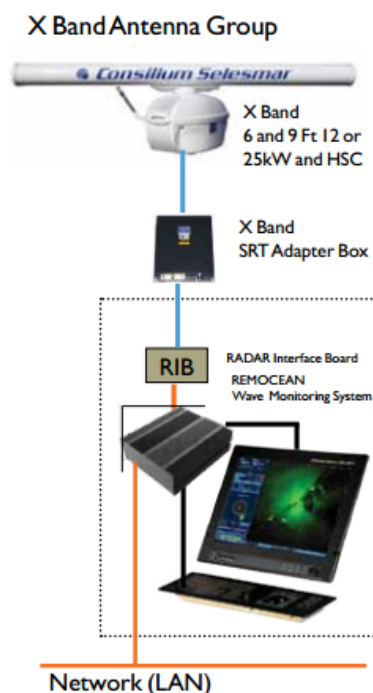


Fig.8 Struttura del sistema radar X-Band

L'evoluzione temporale e spaziale del *sea clutter* è analizzata per derivare lo spettro direzionale e la corrente superficiale in tempo reale. I dati sono disponibili con tutte le condizioni meteomarine e durante la notte.

Il range di acquisizione del sistema a corto raggio dipende dall'altezza dell'installazione (Es. 15m - 3.5 Km) con una risoluzione di 100 x 100 m.

Di seguito sono riportate le caratteristiche del sistema radar in questione (Tab 1).

Tabella 1 Caratteristiche del radar X-Band

	Risoluzione	Range	Accuratezza
Directional Wave spectra 2D	0.005 Hz 4°	0.02 – 0.35 Hz 0 - 360°	-
Wave spectra 1D	0.005 Hz	0.02 – 0.35 Hz	-
Altezza (m)	0.1	0.5 – 20	+/- 0.5
Direzione (°)	1	0 – 360	+/- 2
Periodo (sec)	0.1	3 – 18	+/-0.5
Velocità corrente (m/s)	0.01	0 – 40	+/- 0.2
Direzione corrente (°)	1	0 – 360	+/- 2



Fig.9 Area di misura del sistema radar X-Band

In particolare, la caratterizzazione dello stato del mare viene raggiunta attraverso il processamento del segnale elettromagnetico di backscatter rimesso dalla rugosità del mare per effetto della risonanza di Bragg (Nieto et al., 2004; Nieto et al., 2000). A tal fine, risulta necessaria una dettagliata analisi statistica che consente di passare dall'immagine radar all'informazione spazio-temporale dello stato di mare (Serafino et al., 2010; Nieto et al., 2004). In questo modo, sarà possibile ottenere informazioni quali direzione d'onda, periodo, altezza e intensità e direzione delle correnti.

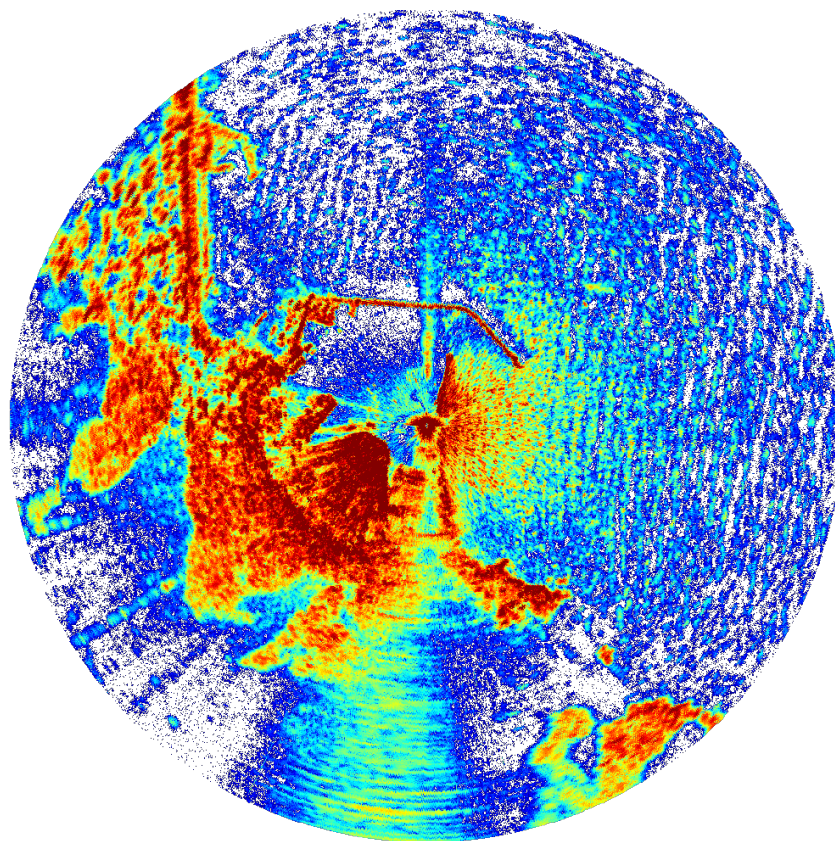


Fig. 10 acquisizione del radar – sea clutter

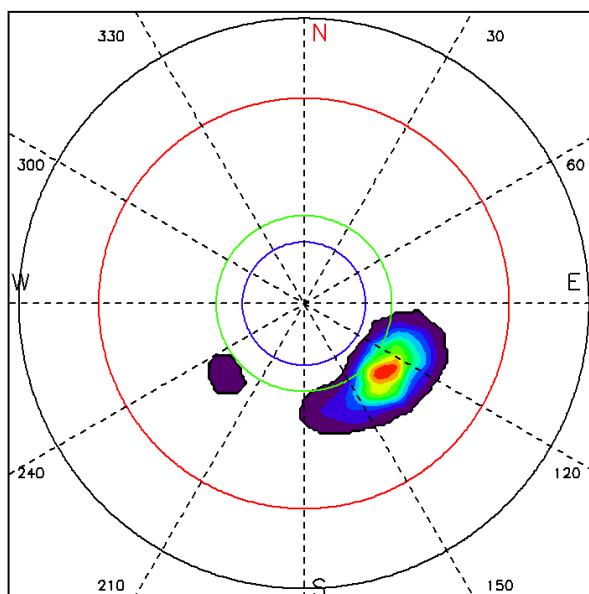


Fig.11 Spettro direzionale ottenuto dall'elaborazione dati

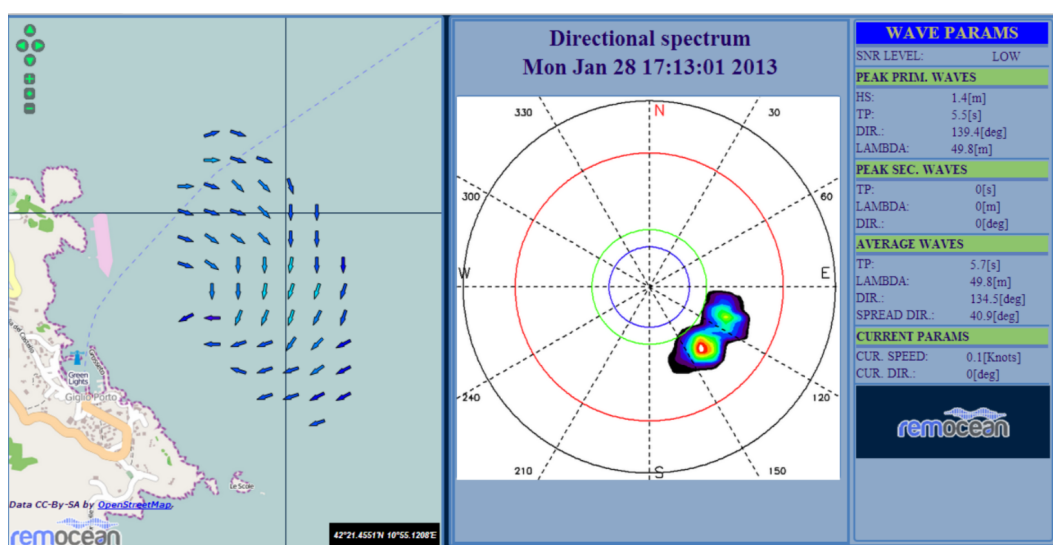


Fig.12 Spettro direzionale e campo idrodinamico delle correnti ottenuti dall'elaborazione dati

La caratterizzazione dello stato del mare ottenuta dalle acquisizioni radar verrà utilizzata durante la fase di validazione dei modelli numerici.

ADCP e Boe Lagrangiane

Durante il periodo di progetto saranno acquisiti dati inerenti la dinamica dell'area oggetto di studio tramite Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) e il lancio di boe lagrangiane. In particolare, attraverso un ADCP Sontek 500 kHz con bottom tracking saranno effettuati una serie di profili per l'acquisizione delle correnti lungo la colonna d'acqua nei due regimi significativi, in funzione delle necessità della modellistica che verrà sviluppata, mentre per quanto attiene le boe lagrangiane saranno effettuate due tipologie di campagne: una prevede il lancio di n.3 boe lagrangiane all'interno dell'alveo in prossimità della foce della Fiumara Piccola del fiume Tevere in due regimi di portata significativi (regime di morbida e regime di magra); l'altra prevede il lancio di n.3 boe lagrangiane nell'area esterna.

4.3.3 Campagne batimetriche

Al fine di acquisire dati utili all'implementazione dei modelli matematici, verranno effettuate n.2 campagne per analizzare i profili della spiaggia sommersa all'interno dell'area dell'unità fisiografica. lungo n.5 transetti (Figura 11) in due stagioni significative per rilevare i cambiamenti morfologici del fondale in sezioni significative. I dati ricavati dalle suddette campagne di misura verranno resi disponibili per la modellistica numerica e consentiranno di analizzare la qualità delle batimetrie utilizzate per i modelli e le variazioni che queste subiscono a seguito delle successive simulazioni degli scenari di dispersione del materiale dragato e della realizzazione del porto. Nel dettaglio, i profili batimetrici costieri saranno effettuati utilizzando un sistema di misura *single beam* con una frequenza di lavoro 50/200 kHz, e ridotti angoli di apertura del segnale acustico, che garantisce un rilievo sufficientemente accurato del fondale e/o lo Structure Scan 3d 455/800kHz. Il sistema di misura sarà composto da sistema di

posizionamento superficiale (GPS) sistema di acquisizione ed elaborazione dati, ecoscandaglio idrografico.

Le indagini verranno effettuate in condizioni di mare calmo e possibilmente in assenza di vento, a bordo di imbarcazioni a ridotto pescaggio al fine di operare agevolmente nei bassi fondali e percorrendo i transetti a velocità bassa e costante.



Fig.13. Campagna batimetrica di dettaglio: i cinque transetti verranno eseguiti tra una profondità minima di 5 metri e una profondità massima di 35metri

4.3.4 Remote Sensing

Durante le attività di progetto verranno acquisite le immagini satellitari per l'elaborazione delle mappe superficiali di clorofilla a e solido sospeso ove disponibili. Le mappe acquisite saranno confrontate con i risultati delle analisi dei campioni di acqua raccolti durante le campagne oceanografiche.

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 e di clorofilla *a*.

Questi satelliti nascono con strumentazione idonea per lo studio dell'Ocean Color e quindi per l'osservazione delle variabili descrittive dell'ambiente marino, ma con diverse caratteristiche per quanto attiene la risoluzione e i tempi di rivisitazione della stessa area.

Per quanto i dati remoti rimangano 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 marino 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).

4.4. Raccolta ed analisi informazioni pregresse al fine di identificare le aree sensibili

Contestualmente alle attività di predisposizione e messa a punto dei modelli numerici di simulazione a scala regionale e locale, per l'area costiera individuata dall'Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio al fine di identificare a priori le potenziali aree sensibili in funzione del valore ecosistemico intrinseco legato alle caratteristiche delle biocenosi bentoniche (Marcelli et al. 2018) alla biodiversità e del valore naturalistico, storico e di fruizione turistica verrà effettuata una approfondita analisi della bibliografia scientifica e dei rapporti tecnici istituzionali (es.: i dati forniti dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Regione Lazio e dall'Ispra Lazio) e privati disponibili.

Questa attività fornirà le informazioni ecologiche di base per programmare attraverso gli scenari simulati dai modelli matematici il corretto posizionamento dei punti di prelievo ed analisi della fauna macrozoobentonica per le successive fasi del progetto.

I dataset raccolti sono relativi alla distribuzione e alla abbondanza delle specie macrozoobentoniche nell'area di studio e saranno utilizzati quindi per descrivere la distribuzione delle biocenosi bentoniche dalle informazioni disponibili in letteratura integrandole nel GIS.

Inoltre, i dati raccolti saranno utili ad evidenziare le biocenosi più sensibili anche in relazione alle variazioni del regime sedimentario, consentendo così di evidenziare le potenziali variazioni che potrebbero incorrere nella struttura delle comunità di fondo.

Attualmente il macrozoobenthos di fondo mobile è inserito nella Direttiva Europea sulle Acque (Water Framework Directive, WFD, 2000/60/EC) ed è uno degli elementi biologici da utilizzare per definire lo stato di qualità ecologica (EcoQS), degli ambienti acquatici. Questa direttiva obbliga gli stati membri a classificare tutte le tipologie di acque, interne e marine, in cinque categorie (classi ecologiche) comprese fra “alto” stato ecologico (condizioni prive di disturbo) e “pessimo” stato ecologico (condizioni di elevato disturbo). Negli ultimi anni sono stati proposti ed esaminati numerosi indici biotici come strumento per valutare la qualità ecologica e la maggior parte di essi si basano su pool di specie, suddivise sulla base delle caratteristiche ecologiche. L'attività di raccolta e analisi dei dati di letteratura sarà basata su una selezione di lavori che utilizzano l'AMBI (ATZI's Marine Biotic Index) il cui valore varia tra 0 ed 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) richiesto dalla Direttiva 2000/60/CEE. L'indice AMBI 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 nei rapporti di Arpa Lazio.

In dettaglio verranno utilizzate:

- Bibliografia relativa alla distribuzione delle comunità macrozoobentoniche sui substrati mobili della costa laziale;

- Bibliografia relativa alla distribuzione delle comunità bentoniche nei fondali limitrofi alle Secche di Tor Paterno;
- Dataset relativi all'area di studio pubblicati sul sito:
http://www.db_strategiamarina.isprambiente.it/app/#/data_consultation;
- Relazioni ARPA con una copertura temporale di almeno 5 anni.

Per quanto riguarda lo stato e la distribuzione delle praterie di *P. oceanica* nell'area di interesse, oltre ai dati già in possesso dell'AdSP, verranno utilizzati i dataset di ISPRA integrati con la letteratura scientifica nazionale e internazionale, e i risultati degli altri programmi di studio regionali e/o nazionali.

Ad integrazione delle informazioni disponibili nell'area, saranno raccolti i dati di microbiologia delle acque costiere ricavati dal programma di monitoraggio regionale.

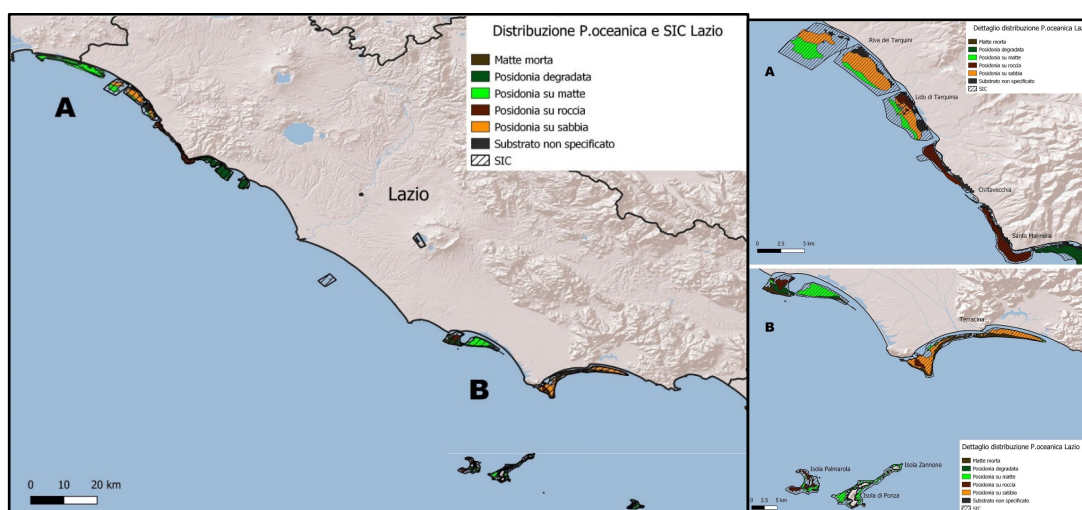


Fig.14. Distribuzione dei SIC e tipologia dei substrati di *P. oceanica* nella Regione Lazio

Lo stesso approccio sarà seguito per effettuare una rassegna della bibliografia disponibile relativamente alle informazioni pregresse per le altre matrici oggetto dello studio, ad esempio: pesca, morfologia sommersa ed emersa, linea di costa, oceanografia, inquinamento, meteo-climatologia, etc.

4.5. Validazione e realizzazione di scenari di correnti ed onde in assenza/presenza del primo stralcio del porto

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 ad 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) e lungo 3 transetti costa largo sino alla batimetrica di 200 m (per maggiori dettagli vedi Par. 4.3).

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.

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 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.

4.6. Validazione e realizzazione di scenari di dispersione del materiale dragato in assenza/presenza del primo stralcio del porto

I risultati delle simulazioni del modello idrodinamico e di moto ondoso prodotti al punto 4.5 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 verrà calcolato dal modello SEDTRANS05 che tiene conto dei processi associati sia ai sedimenti coesivi (silt e argilla) che a quelli non coesivi (sabbia e ghiaia).

La capacità del modello di simulare il trasporto in sospensione verrà valutata utilizzando i dati di solido sospeso acquisiti *in situ* o da remoto. Il dato satellitare permetterà l'attendibilità del modello SEDTRANS05 nel riprodurre la distribuzione spaziale del sedimento in sospensione e la dinamica della plume del fiume Tevere. I dati acquisiti *in situ* permetteranno di validare il modello analizzando anche la distribuzione verticale del solido in sospensione. I processi di sedimentazione ed erosione simulati dal modello saranno invece valutati 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.

Così come le simulazioni del campo idrodinamico e di moto ondoso, quelle che riproducono il trasporto delle diverse frazioni di sedimento hanno una durata di un anno (simulazione realistica) con un output di 1h al fine di analizzare nel dettaglio la variabilità giornaliera e stagionale della distribuzione di solido sospeso e morfologia del fondale (zone di erosione e accumulo) nell'area di studio. 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 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 (vedi Par. 4.7).

In particolare, 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 l'effetto del trasporto dei materiali sospesi e del relativo cambiamento morfologico del fondale in presenza ed assenza del primo lotto funzionale del Porto.

4.7. Analisi preliminare delle aree di deposizione dei materiali per identificare le aree dove concentrare il campionamento per il monitoraggio degli impatti e proporzionare gli studi

I risultati delle simulazioni riportate al paragrafo 4.6 saranno utilizzate per identificare le aree maggiormente soggette ai fenomeni di erosione ed accumulo che sono dovute alla realizzazione del primo stralcio del porto di Fiumicino. Le variabili che verranno prese in considerazione sono il cambiamento morfologico del fondale e la variazione di solido sospeso all'interno della colonna d'acqua, che risultano essere i parametri che possono causare dei potenziali effetti negativi sulle biocenosi marine costiere. Le simulazioni permetteranno infatti di stimare l'intensità, la durata e l'estensione degli impatti per valutare in maniera appropriata il rischio sugli habitat e sulle specie presenti nell'area di interesse. Le zone che risulteranno avere un maggior grado di rischio saranno quelle in cui si concentrerà il campionamento per il monitoraggio degli 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 più impattate dall'opera. La struttura delle griglie di campionamento (tipo di griglia,



numero di transetti, batimetria ecc.) e 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.

4.8. Redazione del piano di monitoraggio

Al completamento della fase di raccolta dati e validazione dei modelli numerici verrà redatto un piano di monitoraggio di dettaglio relativo alle attività previste dal primo stralcio del I Lotto Funzionale.

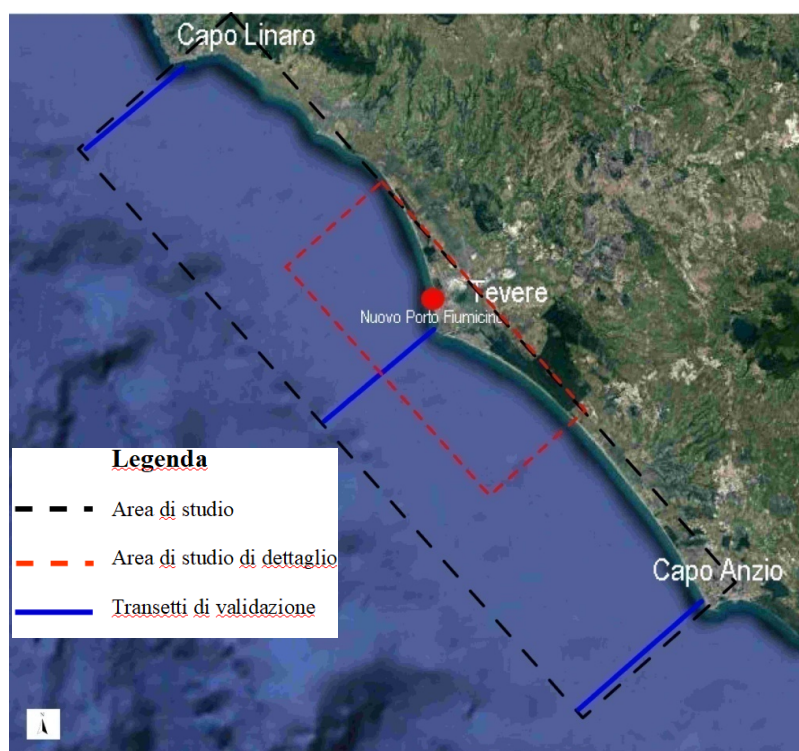


Fig15. Area di studio Capo Linaro – Capo d’Anzio per la calibrazione dei modelli matematici. Dominio di calcolo dei modelli matematici (la risoluzione aumenta verso costa e in particolare in prossimità del delta e delle opere previste) a scala di unità fisiografica a differenti livelli di dettaglio. In tutta l’area verranno effettuate le attività stagionali di caratterizzazione della colonna d’acqua, correnti, moto ondoso mediante satellite e misure in sito (transetti); l’area tratteggiata in rosso definisce la zona dove verranno effettuati studi più di dettaglio fra i quali rilievi batimetrici nell’area peri-portuale e di delta.

5. ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA PER LA DIVULGAZIONE DEI RISULTATI DERIVANTI DAL PRESENTE PROGETTO

Le attività di ricerca sperimentale sviluppate durante le fasi del progetto verranno indirizzate alla divulgazione scientifica.

Durante gli ultimi mesi di attività si produrranno ulteriori analisi dati finalizzate alla produzione scientifica. Il progetto di ricerca posto in essere infatti integra una serie di attività e di collaborazioni con diversi Istituti Scientifici, con lo scopo di produrre risultati divulgabili attraverso pubblicazioni, convegni e seminari nei quali l'accordo quadro in essere tra il CMCC e l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale verrà espressamente citato.

I dati raccolti nel corso delle diverse attività di ricerca saranno quindi presentati in differenti ambiti scientifici: congressi nazionali ed internazionali; pubblicazioni scientifiche internazionali referate. Le iscrizioni ai convegni, nonché le pubblicazioni su riviste open access verranno finanziate dal CMCC. I dati raccolti potranno essere inoltre oggetto di tesi di laurea triennale, magistrale e di dottorato.

6. CRONOPROGRAMMA

Tabella 2 Cronoprogramma delle attività di progetto

	Attività	MESI																	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII
Fase 0	4.1																		
	4.2																		
	4.3																		
	4.4																		
	4.5																		
	4.6																		
	4.7																		
	4.8																		
	5																		

Bibliografia

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

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.

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.

Bonamano, S., Scanu, S., Peviani, M.A., Marcelli, M., 2007. Porto di Fiumicino. Progetto di variante al Piano Regolatore Portuale 2004. Studio dell’interazione fra il nuovo porto di Fiumicino e la dinamica litoranea. REL-5.0-MM-0607-MD

Borge J. C. N., R. G. Rodriguez, K. Hessner, and I. P. Gonzales, “Inversion of marine radar images for surface wave analysis,” J. Atmos. Ocean. Technol., vol. 21, no. 8, pp. 1291–1300, Aug. 2004.

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.

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

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.

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

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.

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

Marcelli, M., Scanu, S., Frattarelli, F. M., Mancini, E., & Carli, F. M. (2018). A benthic zonation system as a fundamental tool for natural capital assessment in a marine environment: A case study in the Northern Tyrrhenian Sea, Italy. *Sustainability*, 10(10), 3786.

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.

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.

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

Tolman, H. L., 2009. User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14. Technical note, MMAB Contribution, 276, 220.

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.

Umgiesser, G., 1997. Modelling the Venice Lagoon. *Inter. J. Salt Lake Res.* 6, 175–199

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