

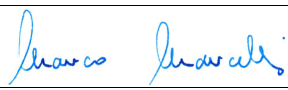
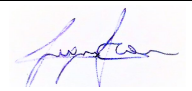
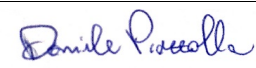
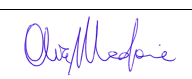
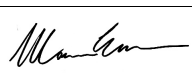
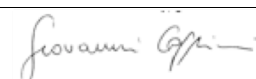
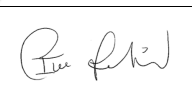
All'Autorità Portuale
di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta
Molo Vespucci – Porto di Civitavecchia
00053 Civitavecchia

alla c.a. Ing. Maurizio Marini
e p.c. Dott. Giorgio Fersini

Civitavecchia, li 15.02.2021

Oggetto: PROGETTO DI RICERCA

‘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

Redatto	
Prof. Marco Marcelli	
Dr. Viviana Piermattei	
Dr. Simone Bonamano	
Dr. Sergio Scanu	
Dr. Daniele Piazzolla	
Dr. Alice Madonia	
Dr Emanuele Mancini	
Dr. Giovanni Coppini	
Dr. Ivan Federico	



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

RELAZIONE DI AVANZAMENTO



INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. OGGETTO E SCOPO	6
3. ATTIVITA': raccolta e analisi delle informazioni pregresse.....	9
3.1 COLONNA D'ACQUA	10
3.1.1 Il Mare del Lazio	10
3.1.2 Campagna Fiumicino 2008.....	10
3.1.3 ARPA e MSFD.....	38
3.2 QUALITA' DELLE ACQUE DI BALNEAZIONE	67
3.3 MORFOLOGIA, SEDIMENTOLOGIA E IDROLOGIA	83
3.3.1 Caratteristiche geomorfologiche della piattaforma	83
3.3.2 Morfotipi costieri e spiagge.....	84
3.3.3 Caratteristiche fisiche dei sedimenti costieri	87
3.3.4. Bilancio sedimentario nell'Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio .	91
3.3.5 Morfologia e sedimentologia del delta del Tevere	93
3.3.6 Idrologia del Tevere.....	100
3.3.7 Grado di inquinamento dei sedimenti.....	107
3.4 REMOTE SENSING.....	111
3.5 COMUNITA' BENTONICHE.....	115
3.5.1 Descrizione delle Biocenosi di fondo mobile caratterizzanti il tratto di costa compreso tra Capo Linaro e Capo Anzio	116



3.5.4 Valutazione della qualità ambientale - AMBI index	154
3.6 PESCA E COMUNITA' ITTICA	160
3.6.1 La marineria e la pesca a Civitavecchia	164
3.6.2 La marineria e la pesca di Fiumicino.....	166
3.6.3 La marineria e la pesca di Anzio	167
3.7 MODELLISTICA NUMERICA	169
3.7.1 Considerazioni generali	169
3.7.2 Modelli matematici per la simulazione del campo idrodinamico.....	170
3.7.3 Modelli matematici per la simulazione del trasporto di sedimenti (dispersione, diffusione e deposizione).....	182
4. BIBLIOGRAFIA.....	195



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, la lettera “h” del suddetto punto 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) [...]*”.

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 dragaggio dell'invaso portuale (II° Lotto Funzionale).

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.

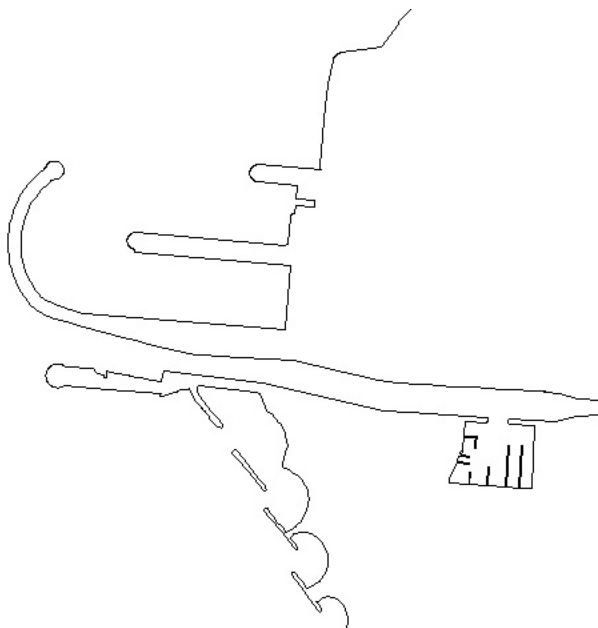


Fig. 1. Opere previste nel primo stralcio del I Lotto funzionale

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 dalla 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.

2. OGGETTO E SCOPO

L'obiettivo del presente progetto è quello di predisporre le attività di monitoraggio come 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, nonché il parere di ISPRA del 30 ottobre 2020 ‘Relazione di sintesi delle risposte alle condizioni ambientali del Decreto 2010-00000007 del 16.02.2010 e considerazioni tecniche-Elementi per la stesura della bozza di relazione istruttoria per la verifica di ottemperanza. In considerazione delle opere previste nello stralcio suddetto e delle osservazioni presentate da ISPRA, il presente progetto si basa su una strategia complessiva suddivisa in fasi che contribuirà alla valutazione della variazione spazio temporale dei processi oggetto di studio, con una 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 la realizzazione di una prima parte dell'opera, le attività sono state adeguate alle differenti nuove fasi di realizzazione.

In questo documento vengono presentate solamente le attività relative alla raccolta delle informazioni pregresse in Fase 0, necessarie alla predisposizione dei modelli a scala regionale e ad acquisire le basi conoscitive e matematiche per gli studi di cui alle fasi successive che verranno sviluppate nel progetto esecutivo.



3. ATTIVITA': raccolta e analisi delle informazioni pregresse

Contestualmente alle attività di acquisizione dei dati utili alla caratterizzazione dell'area di indagine e alla predisposizione e messa a punto della modellistica costiera nell'area compresa tra Capo Linaro e Capo d'Anzio, al fine di identificare 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, è stata effettuata una approfondita analisi della bibliografia scientifica, di studi e rapporti tecnici istituzionali e privati (ove disponibili) e pubblicati. I dati bibliografici raccolti riguardano le diverse matrici indagate e, saranno utili al confronto con i dati acquisiti durante le varie fasi di progetto.

Di seguito vengono riportati, suddivisi per tematica, gli studi pregressi raccolti.



3.1 COLONNA D'ACQUA

3.1.1 Il Mare del Lazio

‘Misure per lo studio della circolazione nel Mar Tirreno sono poco frequenti e generalmente connesse a studi su grande scala’ (IL MARE DEL LAZIO 1996). A scala locale sono pochi gli studi che possono essere trovati in bibliografia, un esiguo numero di campagne idrologiche sono state realizzate in relazione a studi ambientali con finalità molto specifiche (es. studio sugli effetti degli scarichi dovuti ai poli energetici nelle zone del Golfo di Gaeta, Civitavecchia o Montalto), che comunque non ricadono direttamente nell’area oggetto di studio. Altri dati sono stati acquisiti, ma non pubblicati, durante campagne oceanografiche di ricerca, che però riguardano quasi sempre aree di mare aperto e non le zone costiere direttamente interessate dal progetto.

Proprio nel volume ‘Il Mare del Lazio’ vengono riportati i risultati di una serie di campagne oceanografiche effettuate in diverse stagioni tra il 1988 e 1989, che riportano come la presenza di fiumi, l’effetto delle forzanti locali, le differenze di riscaldamento dovuto alla radiazione solare e l’isolamento provocato dai fronti termici influenzino i fenomeni dinamici costieri. La conseguenza è che, seppur in presenza di una circolazione a scala di bacino, la circolazione e la dinamica presenti possono essere molto differenti lungo la fascia costiera.

3.1.2 Campagna Fiumicino 2008

Le attività di campionamento relative alla caratterizzazione della colonna d'acqua sono state eseguite in 38 stazioni ubicate all'interno dell'area individuata per lo sversamento. In figura 2 è rappresentata la posizione delle stazioni di monitoraggio e in tabella 1 sono riportate le loro coordinate geografiche.

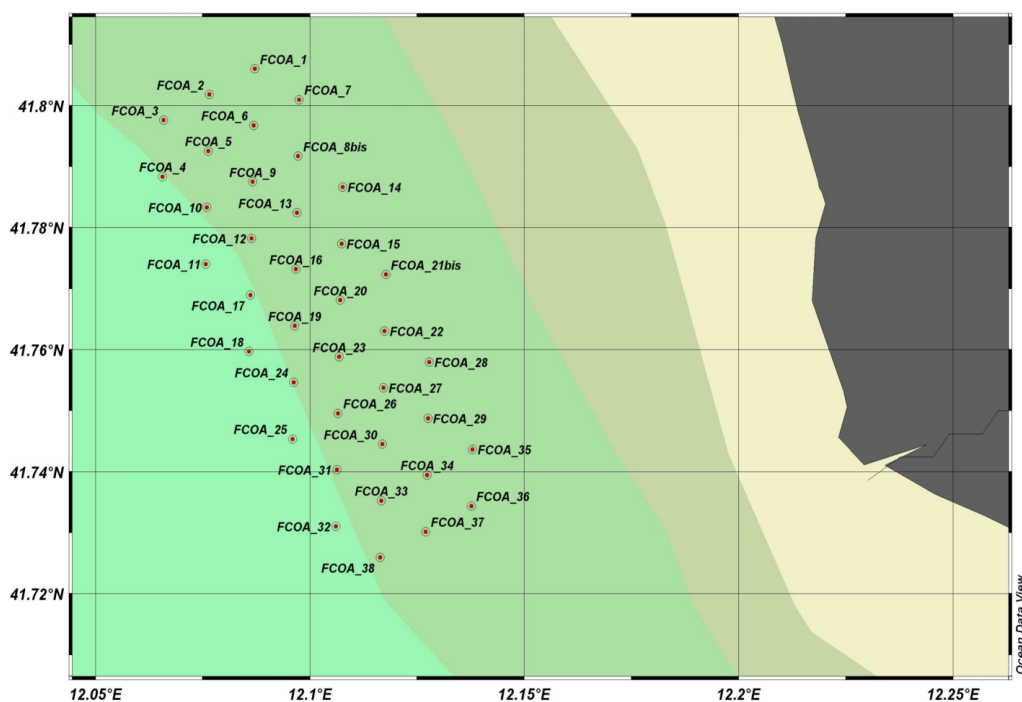


Fig.2 Stazioni di monitoraggio

Tab.1 Coordinate delle stazioni della campagna di analisi della colonna d'acqua

Stazione	Latitudine	Longitudine
FCOA_1	41,80599	12,08718
FCOA_2	41,80179	12,07654
FCOA_3	41,79758	12,06591
FCOA_4	41,78832	12,06564
FCOA_5	41,79252	12,07628
FCOA_6	41,79673	12,08691
FCOA_7	41,80093	12,09755
FCOA_8	41,79167	12,09729
FCOA_9	41,78747	12,08667
FCOA_10	41,78326	12,07602
FCOA_11	41,77399	12,07575
FCOA_12	41,77820	12,08638
FCOA_13	41,78240	12,09702
FCOA_14	41,78660	12,10765
FCOA_15	41,77734	12,10740
FCOA_16	41,77315	12,09679
FCOA_17	41,76894	12,08613
FCOA_18	41,75967	12,08586
FCOA_19	41,76387	12,09649
FCOA_20	41,76807	12,10712
FCOA_21	41,77228	12,11775
FCOA_22	41,76300	12,11747
FCOA_23	41,75879	12,10681
FCOA_24	41,75460	12,09621
FCOA_25	41,74534	12,09596
FCOA_26	41,74954	12,10659
FCOA_27	41,75375	12,11722
FCOA_28	41,75795	12,12785
FCOA_29	41,74868	12,12759
FCOA_30	41,74448	12,11695
FCOA_31	41,74028	12,10633
FCOA_32	41,73102	12,10607
FCOA_33	41,73522	12,11670
FCOA_34	41,73942	12,12733
FCOA_35	41,74362	12,13796
FCOA_36	41,73435	12,13768
FCOA_37	41,73014	12,12703
FCOA_38	41,72595	12,11643

Le suddette attività sono state eseguite in differenti momenti a causa del perdurare delle condizioni meteomarine avverse (in un arco di tempo inferiore alla settimana).

In tutte le stazioni le misure dei parametri chimico-fisici sono state eseguite mediante un profilatore verticale, ELFO ed una sonda Idronaut Ocean Seven 316 Multiparameter Probe (Fig.3).

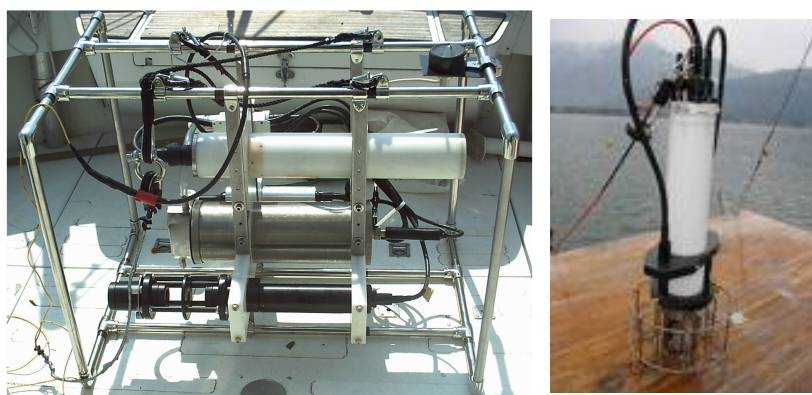


Fig. 3 Piattaforma ELFO e sonda Idronaut (destra)

La sonda Idronaut Ocean Seven 316 Multiparameter Probe, in configurazione standard, è equipaggiata con sette sensori: pressione, temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto, ph, potenziale di ossidoriduzione (REDOX) e un elettrodo di riferimento. Dalla misura di tali variabili è capace di misurare la concentrazione di ossigeno, la salinità, la densità e la velocità del suono. Può essere programmata per acquisire dati lungo la colonna d'acqua o ad una profondità nota.

Nella tabella seguente sono riportati le caratteristiche tecniche dei sensori:

Tab.2 Caratteristiche tecniche sensori Idronaut

Parametri	Range	Accuratezza	Risoluzione
Pressione	0-1000 dbar	0.10%	0.03%
Temperatura	-3/+50 °C	0.003 °C	0.0005 °C
Conducibilità	0-64 mS/cm	0.003 mS/cm	0.001 mS/cm
Ossigeno	0-50 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm
	0-500 % sat.	1 % sat.	0.1 % sat.
Ph	0-14 ph	0.01 ph	0.001 ph
Redox	-1000/+1000 mV	1 mV	0.1 mV

L'ELFO è una piattaforma di misura che comprende i seguenti strumenti:

- sensore OEM CT (Falmouth Scientific, Inc.): misura la temperatura e la conduttività ed ha le seguenti caratteristiche tecniche:

Tab.3 Caratteristiche sensore OEM CT Falmouth

Parametri	Range	Accuratezza	Risoluzione
Conducibilità	0-7.0 S/m	± 0.002 S/m	± 0.0005 S/m
Temperatura	-2/35 °C	± 0.05 °C	± 0.005 °C

- sonda PrimProd 1.11: consente, grazie alla misura della fluorescenza con la tecnica del “Pump and Probe”, di stimare la produzione primaria. Essa misura inoltre la PAR (la radiazione fotosinteticamente attiva), la temperatura e la pressione:

Tab.4 Caratteristiche PrimProd 1.11

Parametri	Range	Accuratezza	Risoluzione
Fluorescenza	0-30 $\mu\text{g/l}$	0.1 $\mu\text{g/l}$	0.03 $\mu\text{g/l}$
Temperatura	0-40 $^{\circ}\text{C}$	0.1 $^{\circ}\text{C}$	0.01 $^{\circ}\text{C}$
Pressione	0-200 m	0.5 m	0.1 m
Irradianza subacquea	0-1 $\text{mE/m}^2\text{s}$	0.1 $\mu\text{E/m}^2\text{s}$	0.01 $\mu\text{E/m}^2\text{s}$

Sono stati prelevati, tramite bottiglie Niskin (Fig.4), campioni d'acqua per l'analisi del solido sospeso e della clorofilla *a* al fine di calibrare i sensori di trasmittanza e fluorescenza del profilatore.



Fig.4 Bottiglia Niskin

In tutte le stazioni sono stati acquisiti, attraverso gli strumenti precedentemente descritti, profili di salinità, temperatura, densità, ossigeno, fluorescenza della clorofilla *a*, produttività primaria, trasmittanza della luce.

Prima di essere rappresentati graficamente i dati grezzi delle sonde sono stati filtrati mediante la funzione di KERNEL, che opera in conformità con una modale gaussiana applicata ad ogni punto di misura, al fine di eliminare eventuali spikes e disturbi strumentali.

Lo “smoothing” dei dati viene eseguito su tutte le variabili ed è possibile scegliere per ognuna di esse differenti valori di ampiezza nel numero di dati che contribuiscono alla moda in ogni punto del vettore.



Una volta filtrati, i dati sono stati campionati nella colonna d'acqua con un intervallo di 0,25 m di profondità, quindi sono stati predisposti nei formati adatti ad essere interpolati. Per le variabili soggette a variazioni legate alla natura della misura (clorofilla a e solido sospeso) sono state effettuate le calibrazioni, con un numero statisticamente significativo di campioni prelevati ed analizzati in laboratorio.

Per la clorofilla si è utilizzato il metodo descritto da Lazzara et al. in Nova Thalassa (1990) mentre i campioni di solido sospeso sono stati analizzati in laboratorio secondo il metodo Strickland (Strickland J. D. H. et al., 1972).

Per la visualizzazione della distribuzione delle variabili sono state eseguite delle rappresentazioni con il software ODV (Ocean Data View). ODV permette di costruire sezioni verticali e orizzontali per mezzo di tecniche di interpolazione, che forniscono una stima dei valori delle variabili nei punti dove non ci sono misure.

I risultati sono stati comparati per l'analisi delle principali strutture fisiche, chimiche e biologiche presenti nell'area di studio.

A causa delle condizioni meteorologiche le stazioni sono state campionate in due giorni differenti, intervallati da una intensa perturbazione; i risultati (dell'analisi delle variabili chimico-fisiche e biologiche) vengono, quindi, presentati in due gruppi: il primo gruppo (Campagna di misura del 30 Novembre) è relativo alla prima campagna di misura mentre il secondo (Campagna di misura del 6 Dicembre) è relativo ai risultati della seconda campagna dopo gli effetti della perturbazione.

Campagna di misura del 30 Novembre

L'area è caratterizzata da una dinamica abbastanza intensa, fortemente condizionata dal plume del Tevere che risente sia della circolazione generale che delle condizioni meteorologiche che hanno preceduto e condizionate le attività di misura.

Si osservano diverse strutture, sia in profondità che in superficie.



La porzione superficiale della colonna d'acqua è dominata, come si osserva dalla sezione orizzontale a 5 m di profondità, nella parte settentrionale, dalla presenza di una massa d'acqua a temperatura, salinità e densità più basse, che potrebbe essere un meandro, o un vortice distaccatosi, della plume del Tevere, fortemente rimescolato dal forte vento dei giorni del campionamento.

Il segnale si propaga in profondità rimanendo chiaramente visibile nella sezione orizzontale a 20 metri di profondità.

La sezione verticale orientata NW-SE mostra chiaramente la presenza di due vortici (o meandri) uno a NW e un altro a SE, gli effetti in salinità dei quali si propagano per tutta la colonna d'acqua. Entrambi presentano acque meno salate e più fredde, e complessivamente meno dense, all'interno e più salate e più calde all'esterno.

Gli stessi fenomeni sono visibili anche nelle altre due sezioni verticali, la prima orientata circa da W a E e la seconda orientata da SW a NE. Verso costa, la massa d'acqua superficiale meno salina e meno calda, si osserva sempre molto evidente anche se si propaga meno in profondità, restando così confinata nella porzione superficiale della colonna d'acqua. In questo caso potrebbe trattarsi, più che di un vortice, del plume del Tevere.

In profondità (cfr. sezioni orizzontali a 40 e 60 metri), e ben visibile anche in tutte le sezioni verticali, si osserva la presenza di una massa d'acqua più fredda, salina e densa, orientata da E-NE a W-SW.

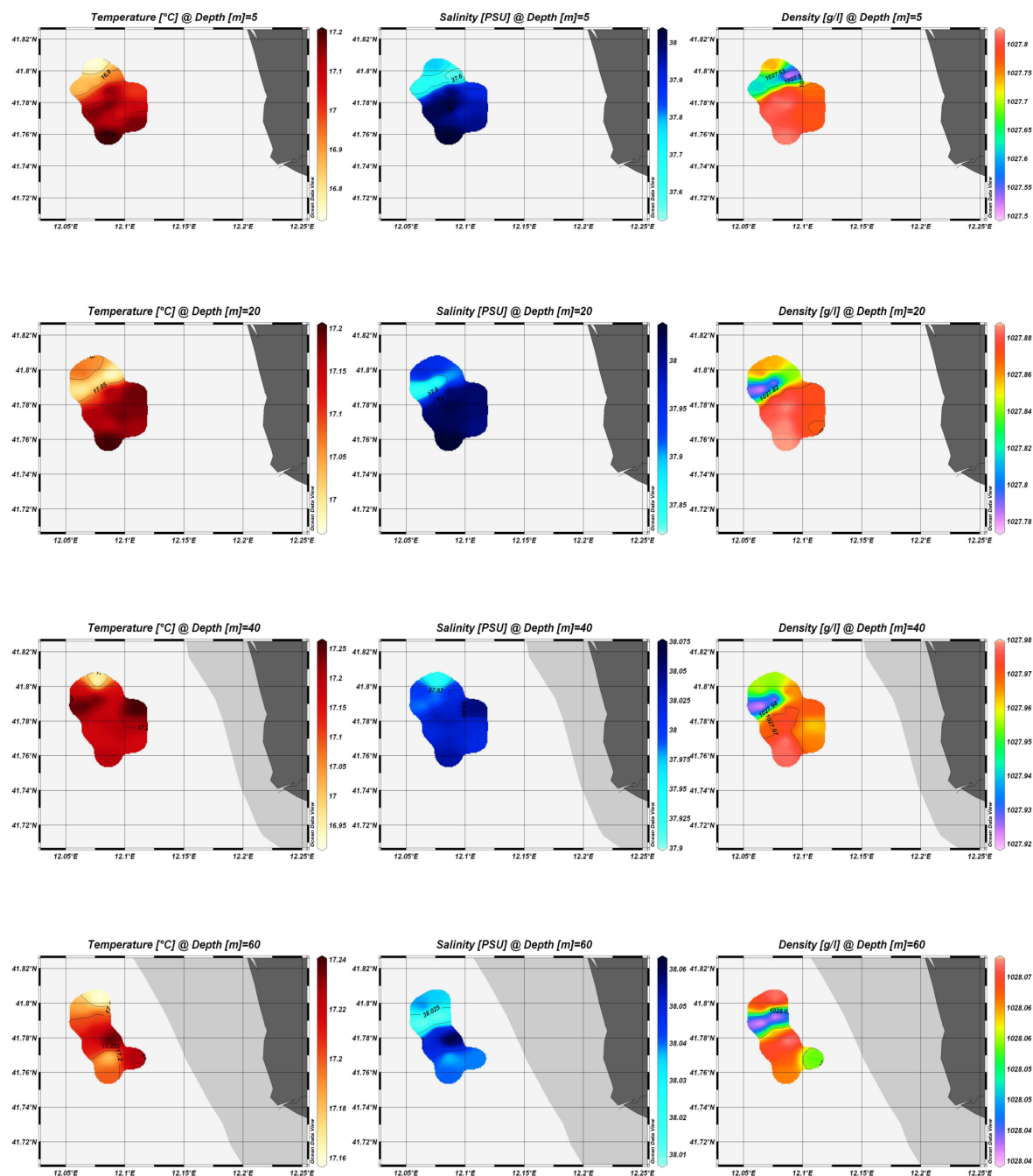
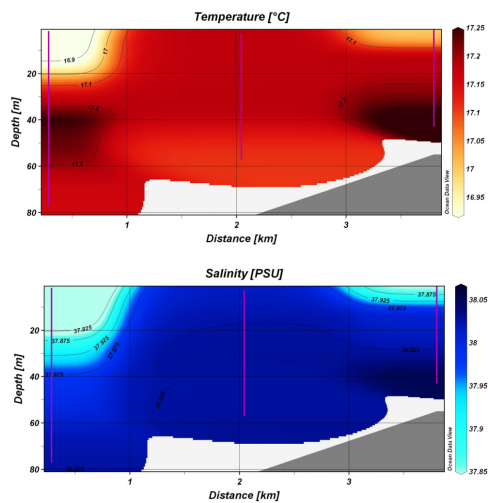
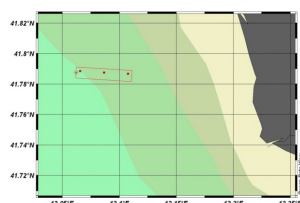
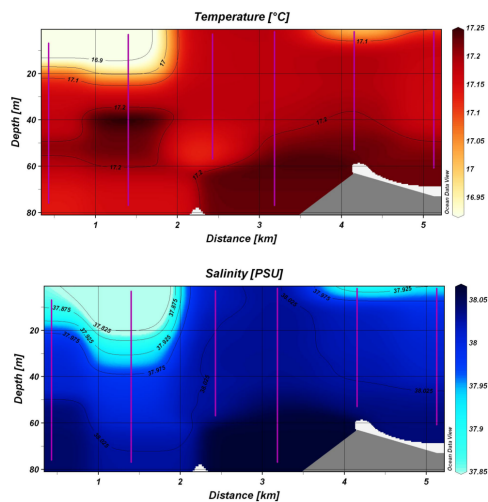
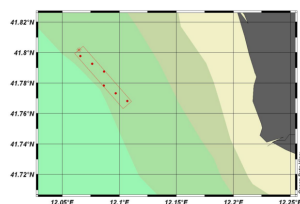


Fig 5 Sezioni orizzontali delle variabili temperatura, salinità e densità delle misure

effettuate il 30 Novembre



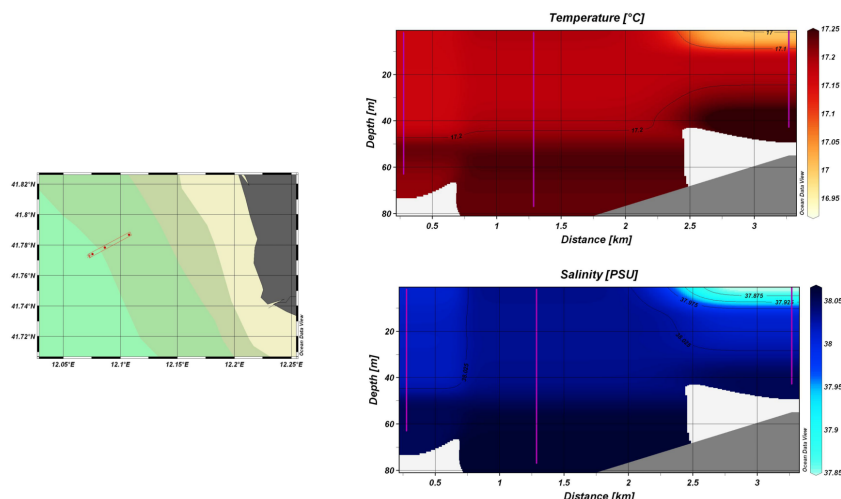


Fig.6 Transetti verticali delle variabili temperatura e salinità delle misure effettuate il 30 Novembre

La distribuzione della biomassa e la produttività primaria sono modulate dalla dinamica della zona.

All'interno del vortice settentrionale, si evidenzia una elevata concentrazione di biomassa clorofilliana con associata una elevata produzione primaria. L'elevata produttività di questa massa d'acqua suffraga l'ipotesi che la stessa sia originata da un mescolamento fra le acque del Tirreno e il plume del Tevere.

Anche al di sotto della seconda massa d'acqua meno salina, nella parte meridionale del transetto, si può vedere una elevata concentrazione di biomassa alla quale è associata una porzione più produttiva della colonna d'acqua.

In questo caso la produzione e la biomassa ad essa associata, restano confinate nella massa d'acqua subsuperficiale, al di sotto delle salinità più basse, situazione caratteristica delle zone produttive modulate dai plumes fluviali.

La massa d'acqua settentrionale denota un maggiore mescolamento che ha portato in superficie il fitoplancton insieme ai nutrienti, innescando così un intenso fenomeno produttivo subsuperficiale con un massimo a 7-8 metri di profondità, mentre nella zona

meridionale evidentemente il rimescolamento non è stato così completo, e la zona produttiva si genera nella porzione della colonna d'acqua dove si ha un mescolamento fra le acque superficiali e quelle sottostanti, con un massimo di produzione più profondo che si attesta a circa 20 metri di profondità.

La distribuzione della biomassa fitoplanctonica e dei processi produttivi vengono evidenziati anche nelle sezioni orizzontali dove si vede in modo molto evidente la differente distribuzione delle biomasse con il massimo a 10 m di profondità nella zona settentrionale ed a 30 nella zona meridionale; distribuzione rispecchiata dai processi produttivi.

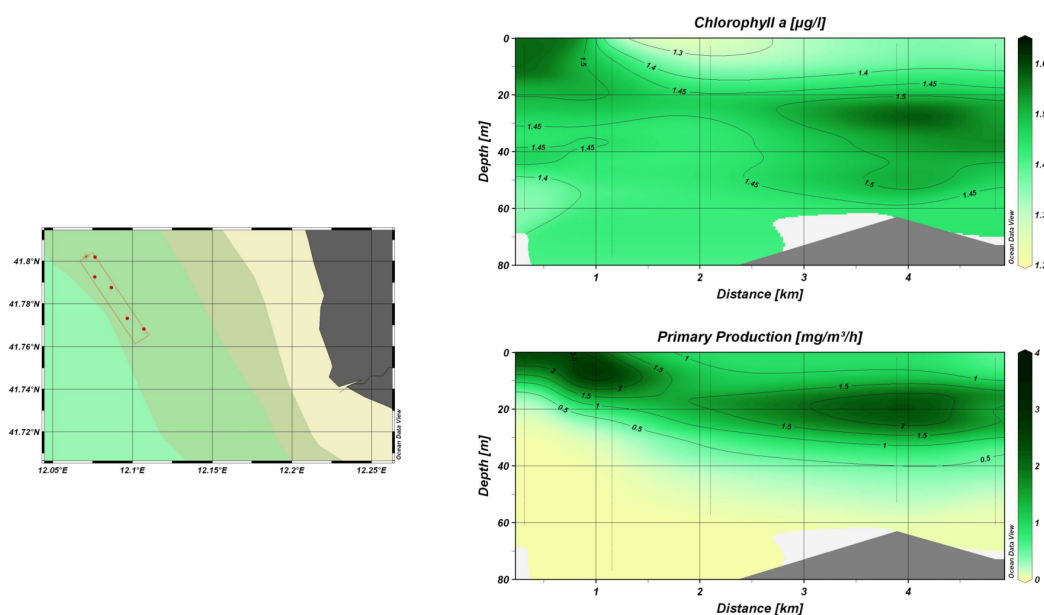


Fig.7 Transetto verticale di clorofilla e produzione primaria delle misure effettuate il 30 Novembre

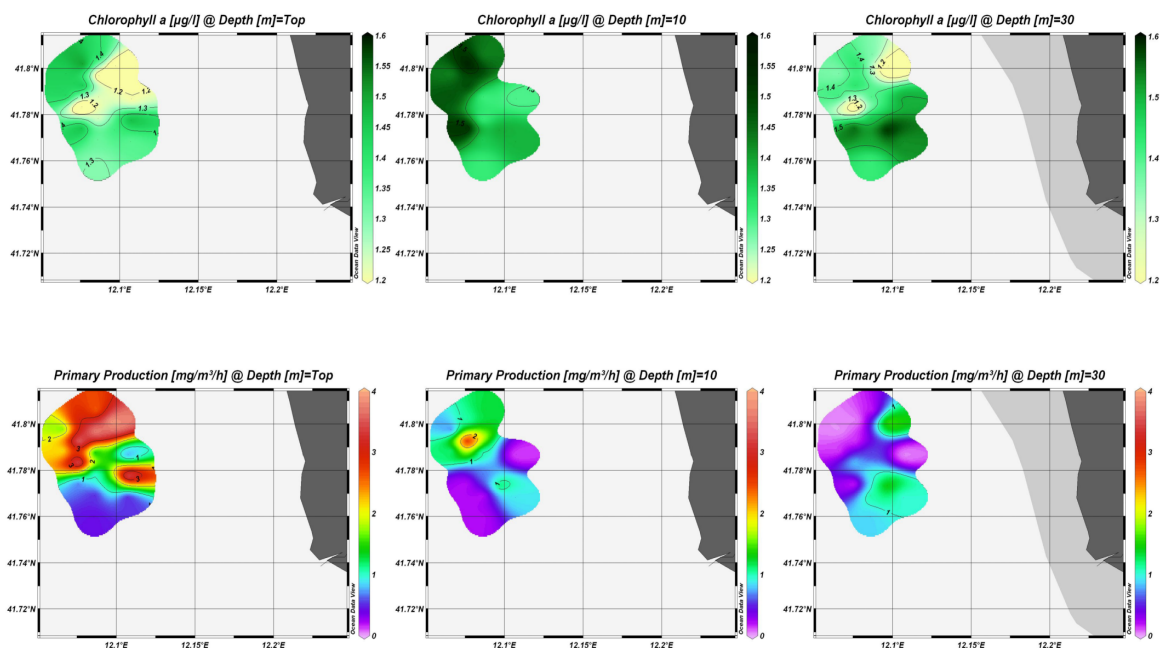


Fig.8 Sezioni orizzontali delle variabili clorofilla e produzione primaria, a varie profondità, delle misure effettuate il 30 Novembre

L'ossigeno, diffuso in maniera abbastanza omogenea nella colonna d'acqua, risente, nella sua distribuzione, da un lato della dinamica e dall'altro della distribuzione della biomassa e della produttività primaria. La massima concentrazione infatti è nella zona settentrionale dove si ha la massima concentrazione di biomassa e di produzione e si mantiene relativamente più elevata, fra i 20 e i 40 metri di profondità, nella zona meridionale in corrispondenza del massimo di clorofilla e di produzione.

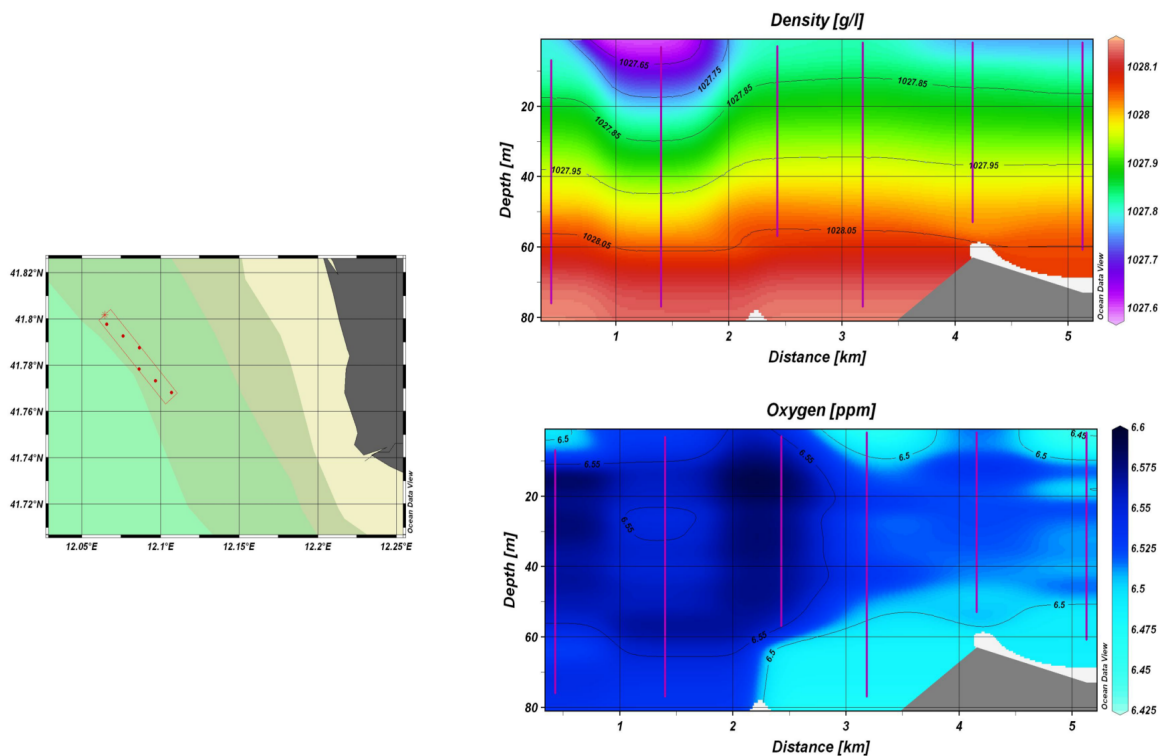


Fig.9 Transetto verticale delle variabili ossigeno e densità delle misure effettuate il 30 Novembre

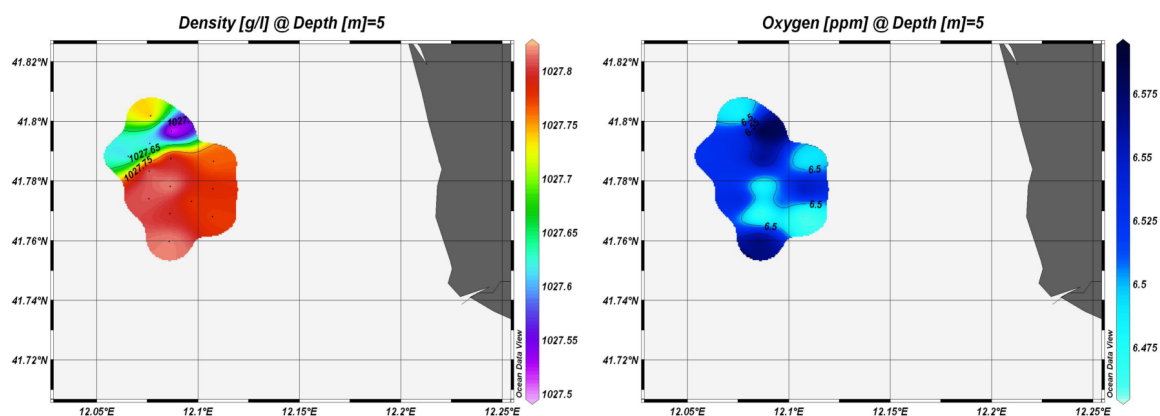


Fig.10 Sezioni orizzontali delle variabili densità ed ossigeno delle misure effettuate il 30 Novembre

La distribuzione del materiale sospeso rappresentata è stata ottenuta allineando i valori di trasmittanza ai valori di materiale sospeso ottenuti dalle analisi dei campioni prelevati in sito. Si tratta quindi di valori di trasmittanza espressi in unità di $\mu\text{g/l}$.

La distribuzione del sospeso risulta massima nella zona settentrionale, ben correlata con la struttura dinamica portante.

Nella zona meridionale invece valori elevati si trovano prevalentemente in profondità e rappresentano il sospeso di origine continentale che sta precipitando sul fondo.

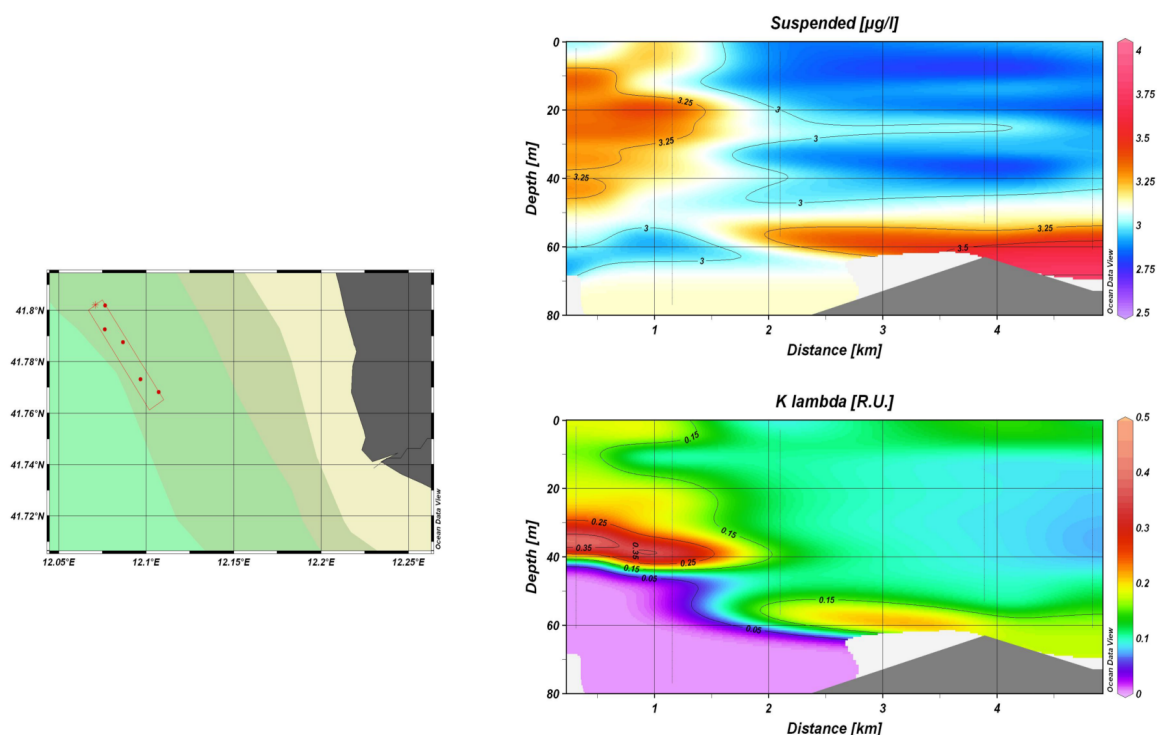


Fig.11 Transetto verticale delle variabili solido sospeso e K lambda delle misure effettuate il 30 Novembre

Viene rappresentata anche la distribuzione del coefficiente di assorbimento della radiazione luminosa nell'intervallo della PAR. Il coefficiente è dato dalla seguente relazione:

$$K\lambda_i = - \ln \left(\frac{PAR_i}{PAR_{i-1}} \right) (Prof_i - Prof_{i-1})$$

All'interno della massa d'acqua più settentrionale si osservano valori caratteristici delle acque molto costiere, mentre nella zona più meridionale i valori del coefficiente raggiungono un massimo di circa 0.2 ad elevate profondità, per la presenza di materiale sospeso, presentando valori caratteristici di acque intermedie, ancora influenzate dagli apporti continentali.

Nella sezione W-E si vede come sia presente una notevole quantità di sospeso anche nella massa d'acqua più costiera a testimonianza dell'apporto continentale del Tevere. Si rappresenta anche una sezione di Trasmittanza, perfettamente correlata con la distribuzine del materiale sospeso.

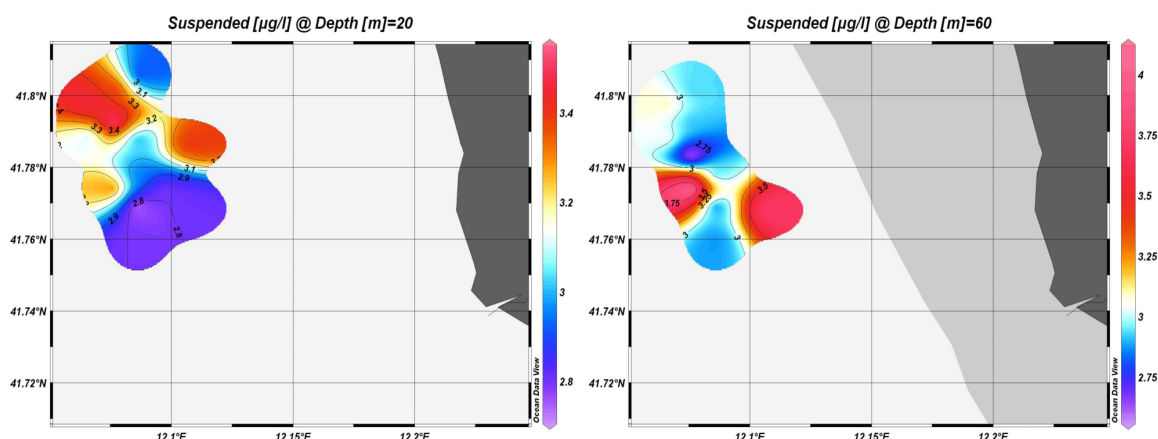


Fig.12 Sezioni orizzontali del solido sospeso a 20 e 60 metri delle misure effettuate il 30 Novembre

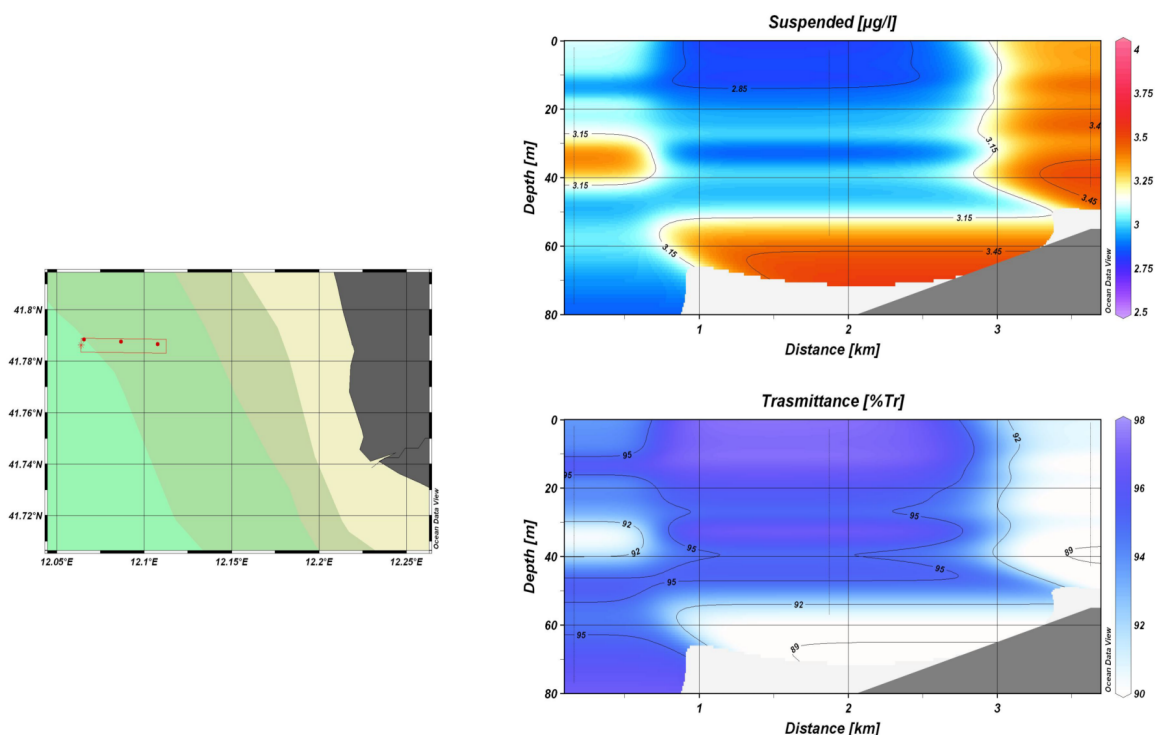


Fig.13 Transetto verticale delle variabili solido sospeso e della trasmittanza delle misure effettuate il 30 Novembre

Campagna di misura del 6 Dicembre

Anche in questa seconda crociera, l'area si presenta caratterizzata da una dinamica abbastanza intensa e ancora più fortemente condizionata dal plume del Tevere modificata sia dalla circolazione generale che dalle condizioni meteorologiche che hanno preceduto e condizionato le attività di misura.

La zona di misura è dominata dall'interazione fra le acque del Tirreno influenzate dal plume del Tevere che formano masse d'acqua con caratteristiche ben evidenti in salinità e le acque del Tirreno caratterizzate da elevata salinità e temperatura più elevata.



Si osservano due principali strutture, una più meridionale che forma un fronte con le acque tirreniche che si propaga fino in profondità.

La seconda rappresenta un piccolo vortice, o meandro, che "galleggia" sopra le acque più dense e saline settentrionali.

La situazione viene evidenziata bene sia dalle sezioni orizzontali, dove in quella a 5 metri di profondità si individua bene il vortice derivato dalle acque meno saline, ancora visibile alla profondità di 20 metri, ma che scompare definitivamente ai 40.

Nelle sezioni si osserva, oltre al fronte ed al meandro/vortice già descritto, che viene sezionato in dettaglio dalle sezioni N/NW-S/SE e W/SW-N/NE, un grande vortice centrato sulle stazioni 21 e 22 che viene "disturbato" dalle acque meno saline, influenzate dalla plume del Tevere (come si vedrà in seguito, questo trova conferma nella elevata produttività primaria circoscritta alle acque meno salate), dalle quali si staccano vortici di piccole dimensioni che si spostano, insieme alla circolazione generale, verso N.

Nella zona più meridionale dell'area di studio si osserva la propagazione in profondità di acque meno saline, che caratterizzano così la porzione meridionale dell'area. I forti venti che hanno dominato il periodo di studio, hanno fortemente contribuito da un lato all'innescarsi di fenomeni di vorticità e dall'altro al rimescolamento portando in profondità acque poco saline.

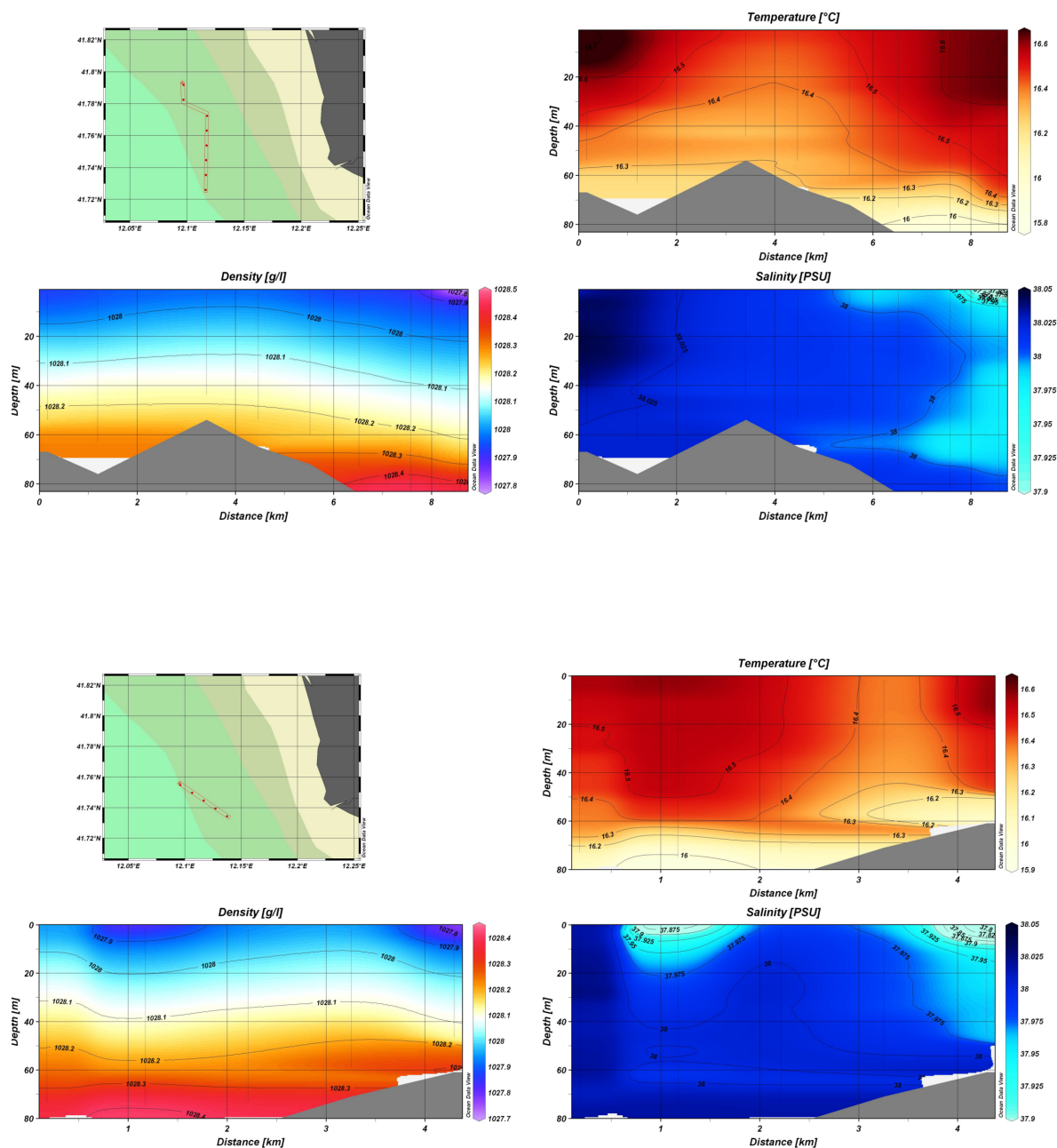


Fig.14 Transetti verticali N-S e NW-SE

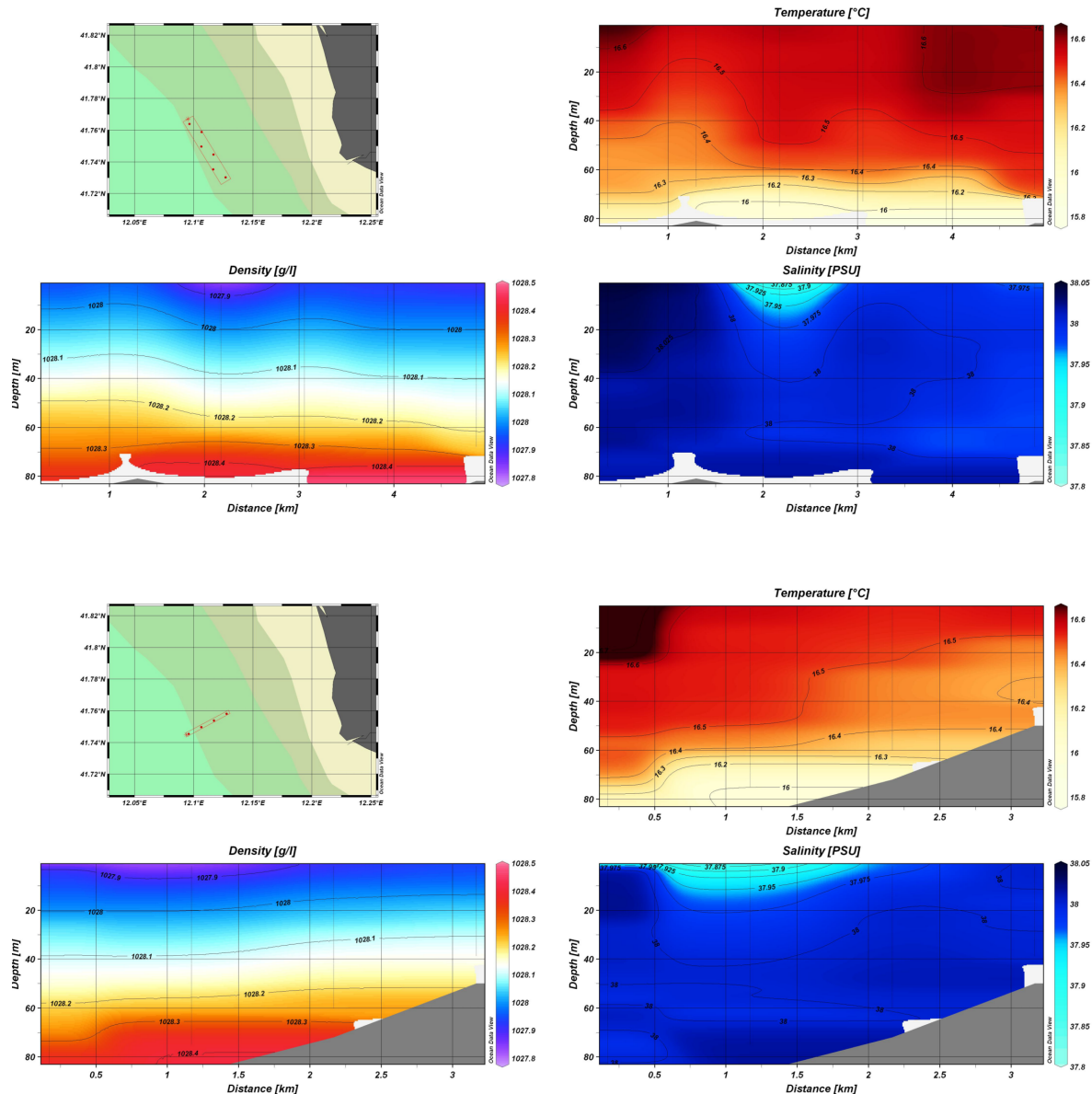
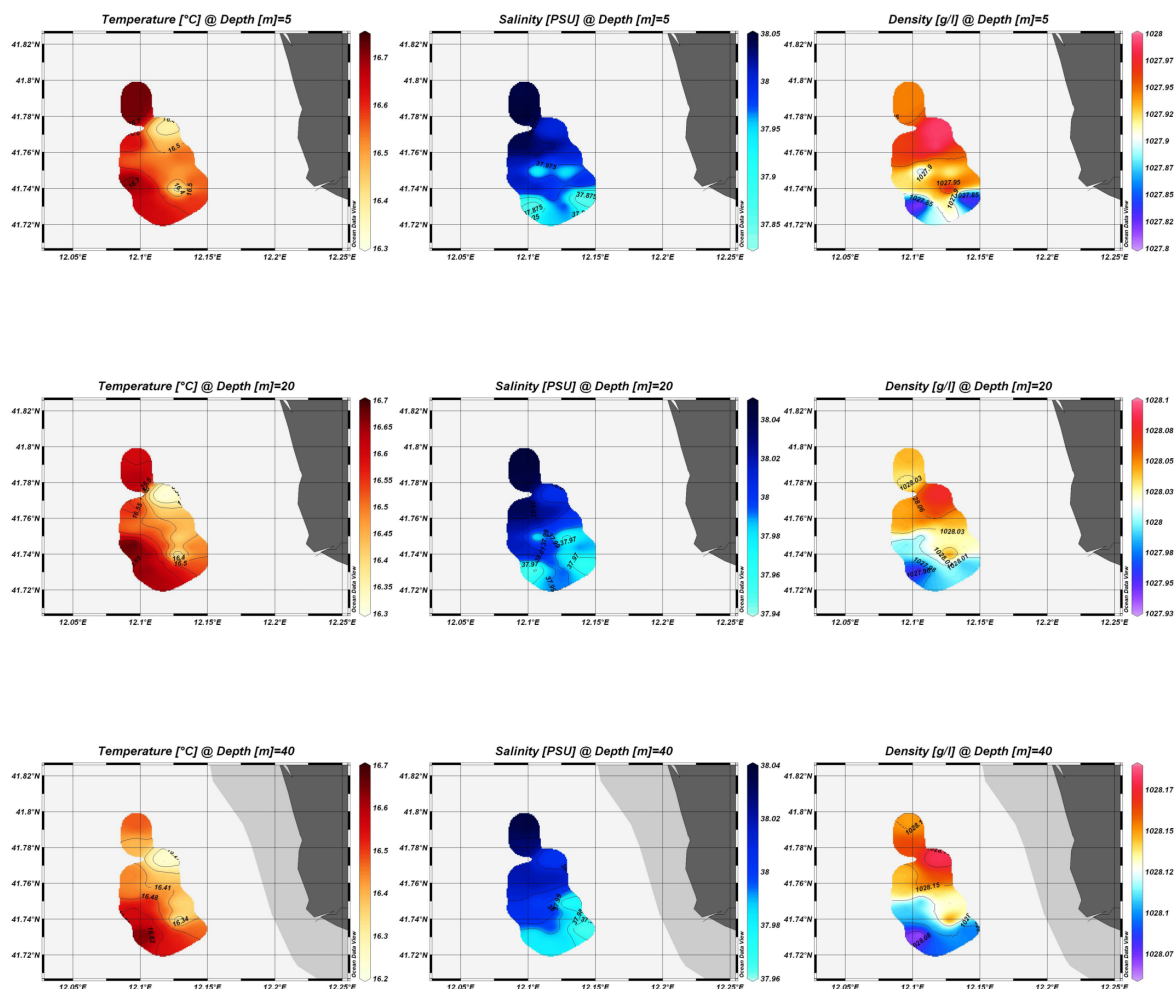


Fig.15 Transetti verticali NW-SE e SW-NE



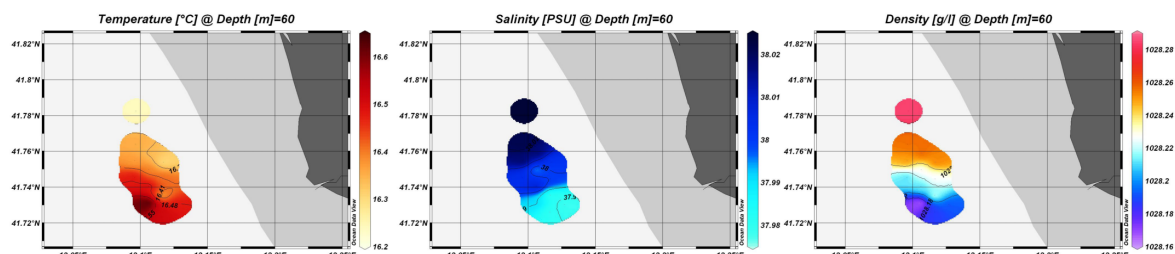


Fig.16 Sezioni orizzontali STD a varie profondità delle misure di Dicembre

La distribuzione della biomassa e la produttività primaria sono fortemente modulate dalla dinamica della zona.

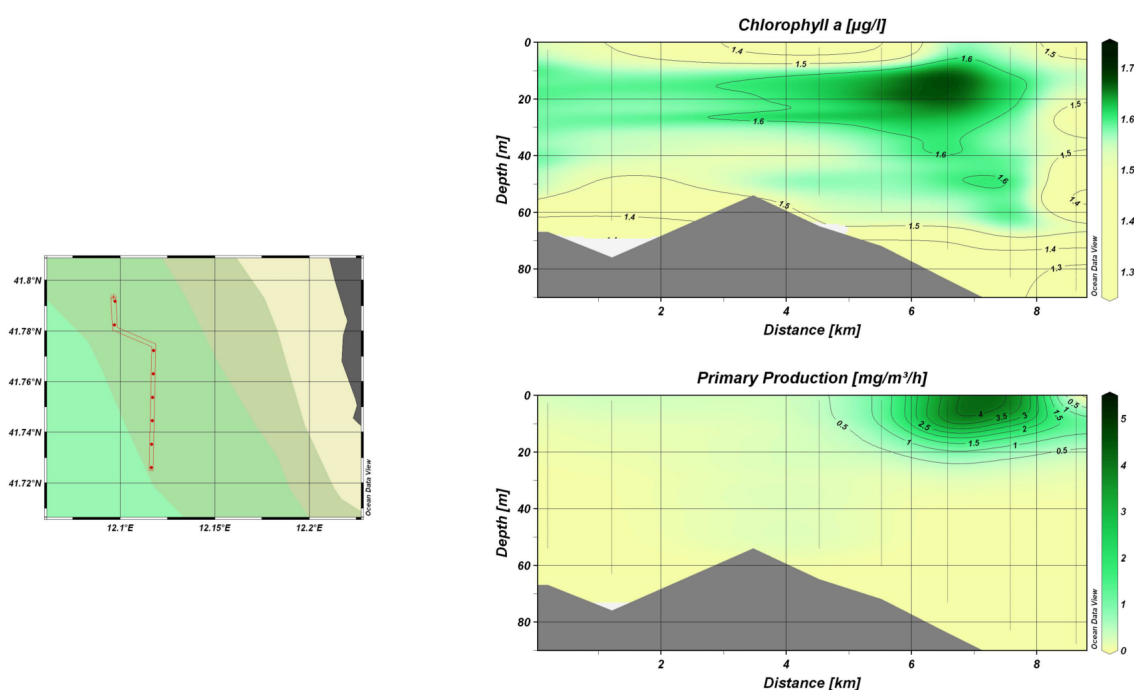
La massima produzione primaria è concentrata nella zona meridionale nella porzione frontale della colonna d'acqua con un massimo in superficie, nella porzione sud orientale della zona indagata, all'interno delle acque poco saline; la seconda zona più produttiva è presente dove si ha il mescolamento fra le acque influenzate dal plume del Tevere e quelle sottostanti, con un massimo di produzione subsuperficiale che si attesta a circa 20 metri di profondità.

Nell'area centrale, all'interno del grande vortice, la produzione primaria è più bassa e confinata in maggiore profondità, come si vede dalla sezione orizzontale a 40 m.

La distribuzione della biomassa segue sostanzialmente quella dei processi produttivi con la massima concentrazione al bordo del fronte, a circa 20 m di profondità, ma mantenendosi con valori più costanti anche nelle acque più settentrionali, mentre nel bordo orientale settentrionale, produzione e biomassa restano relegati a maggiore profondità, con il massimo di produzione della colonna d'acqua (bassa in valore assoluto) a 20 metri ed il massimo della biomassa subito sotto.

L'elevata produttività nella zona superficiale, a SE dell'area di indagine, conferma l'ipotesi effettuata per lo studio precedente, che la stessa sia originata da un mescolamento fra le acque del Tirreno e il plume del Tevere.

La zona settentrionale, caratterizzata da una bassa produzione primaria, mostra il massimo di clorofilla a circa 40 di profondità.



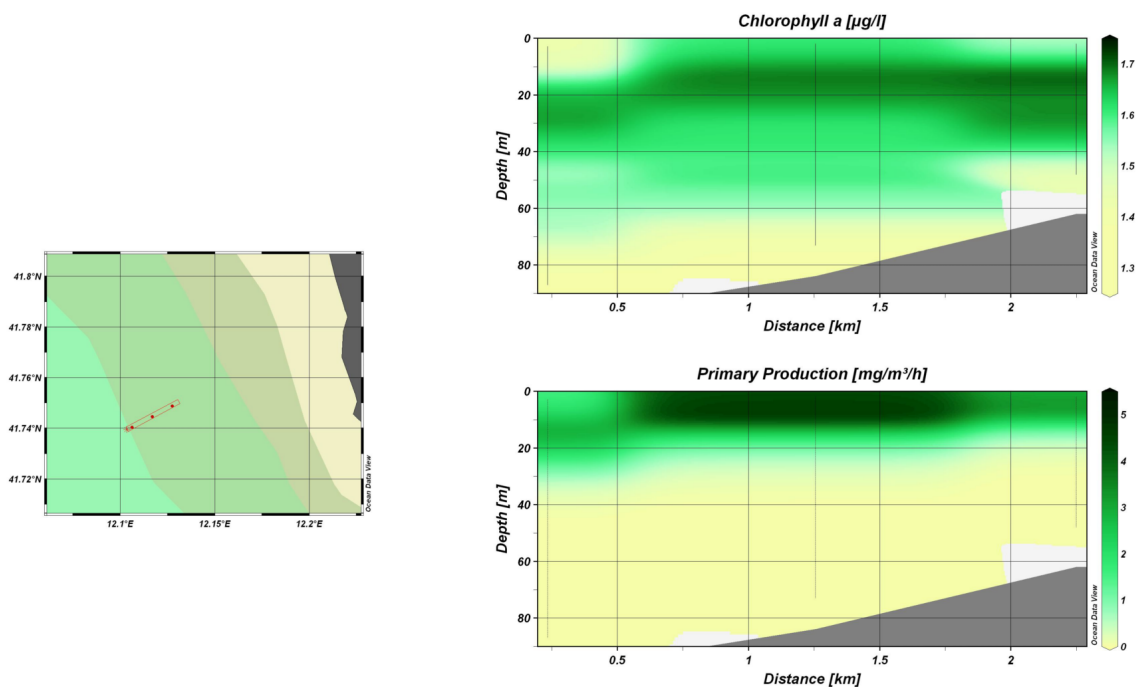


Fig.17 Transetti verticali N-S e SW-NE

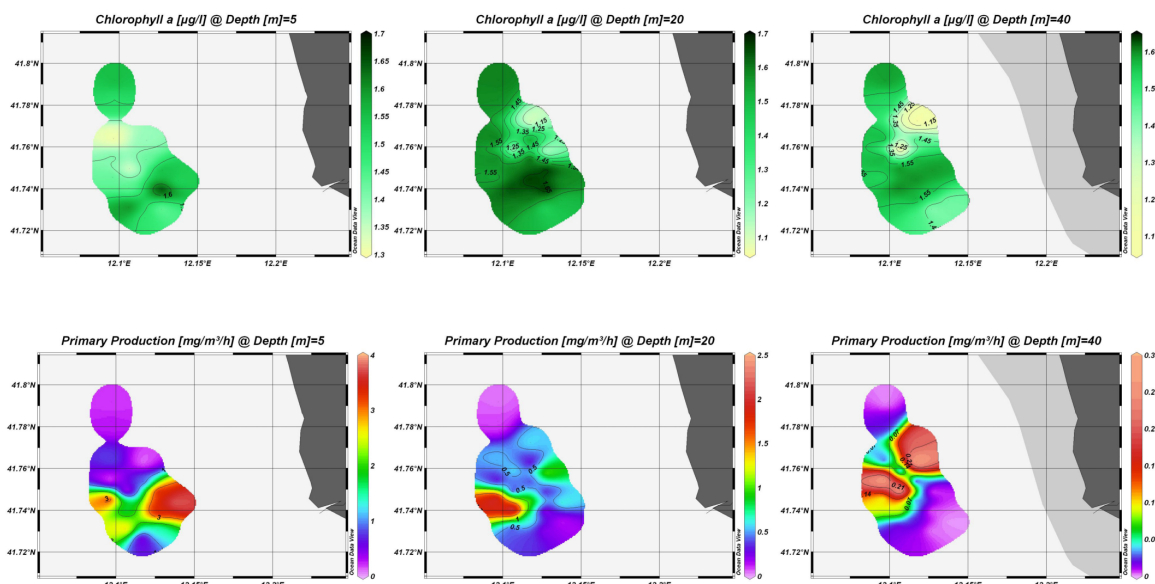


Fig.18 Sezioni orizzontali di clorofilla e produzione primaria a varie profondità delle misure di Dicembre

L'ossigeno, diffuso in maniera abbastanza omogenea nella colonna d'acqua, risente prevalentemente della distribuzione dei produttori primari con le massime concentrazioni nella zona meridionale dove si ha la massima concentrazione di biomassa e di produzione a circa 10 metri di profondità, in corrispondenza del massimo di produzione.

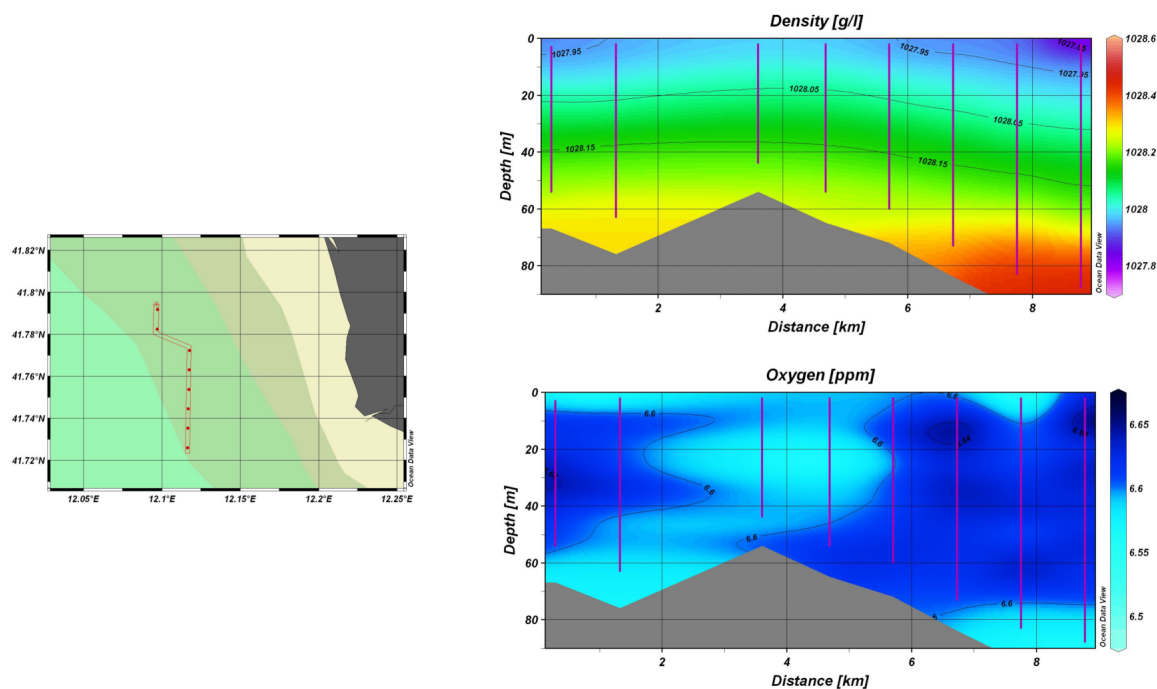


Fig.19 Transetti verticali N-S di densità e ossigeno

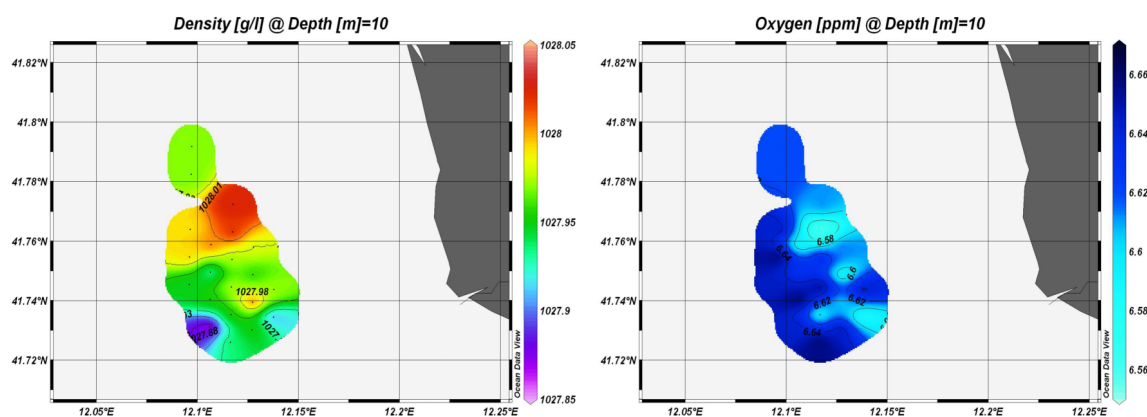


Fig.20 Sezioni orizzontali di ossigeno e densità a 10m di profondità delle misure di Dicembre

La distribuzione del materiale sospeso rappresentata, anche in questo caso, è stata ottenuta allineando i valori di trasmittanza ai valori di materiale sospeso ottenuti dalle analisi dei campioni prelevati in sito. Si tratta quindi di valori di trasmittanza espressi in unità di $\mu\text{g/l}$.

La distribuzione del sospeso risulta massima in prossimità del fondo nella zona meridionale, dove massima dovrebbe essere infatti l'influenza del Tevere.

I valori elevati trovati in profondità rappresentano molto probabilmente il sospeso di origine continentale che sta precipitando sul fondo. Questi valori, per quanto attiene al sospeso in prossimità del fondale, coincidono con quelli trovati nella precedente crociera.

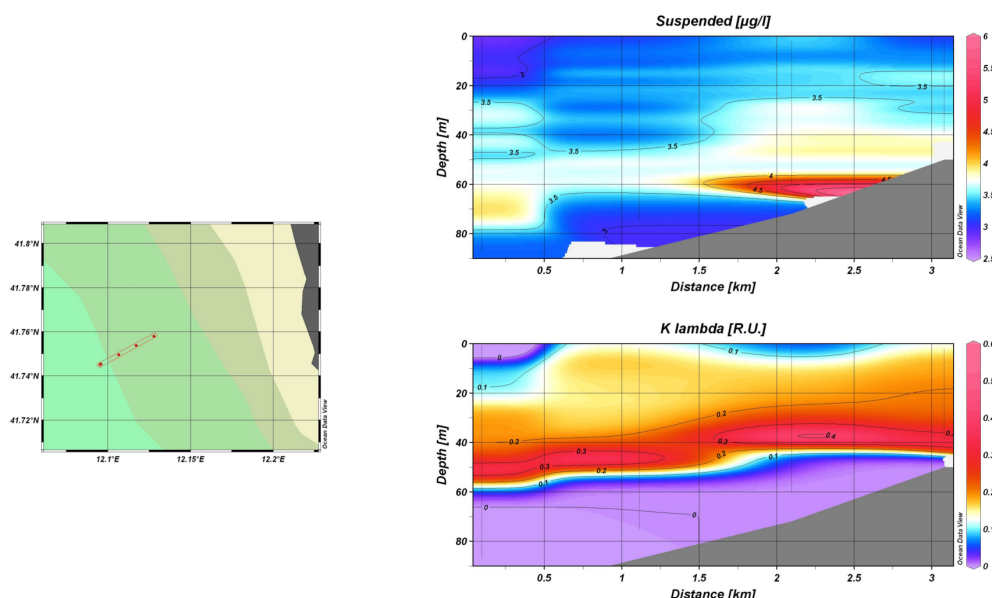


Fig.21 Transetti verticali SW-NE di solido sospeso e K lambda

Viene anche qui rappresentata la distribuzione del coefficiente di assorbimento della radiazione luminosa nell'intervallo della PAR, con i valori più elevati, tipici delle acque influenzate da apporti terrigeni, che si fanno via via più superficiali all'approssimarsi dal largo verso la costa.



Nella sezione W-E si vede come sia presente una notevole quantità di sospeso nelle acque più costiere, dato coincidente con i coefficienti di assorbimento, a testimonianza dell'apporto continentale del Tevere.

Questi apporti sono ben visibili anche nella sezione orizzontale a 20 della distribuzione del materiale sospeso.

La sezione verticale N-S taglia la distribuzione di questi apporti che vengono evidenziati nella porzione centrale e settentrionale del transetto.

Si rappresenta anche una sezione di trasmittanza perfettamente correlata con la distribuzione del materiale sospeso.

È interessante notare che la porzione più meridionale delle masse d'acqua investigate, da un lato mostra elevati valori di produzione primaria con testimonianza di elevato contenuto nutritivo delle acque e bassi valori di salinità che inducono a farla considerare come una massa d'acqua decisamente influenzata dal Tevere, dall'altro non presentano che bassi valori di solidi sospesi, effetto della dinamica che è legata ai venti di grecale e tramontana, i quali hanno sia generato forti dinamiche con allontanamento abbastanza rapido delle acque superficiali da terra e mescolamento delle acque, sia, per la mancanza di piogge, provocato come effetto secondario una riduzione dei deflussi solidi e quindi del materiale sospeso trasportato a mare.

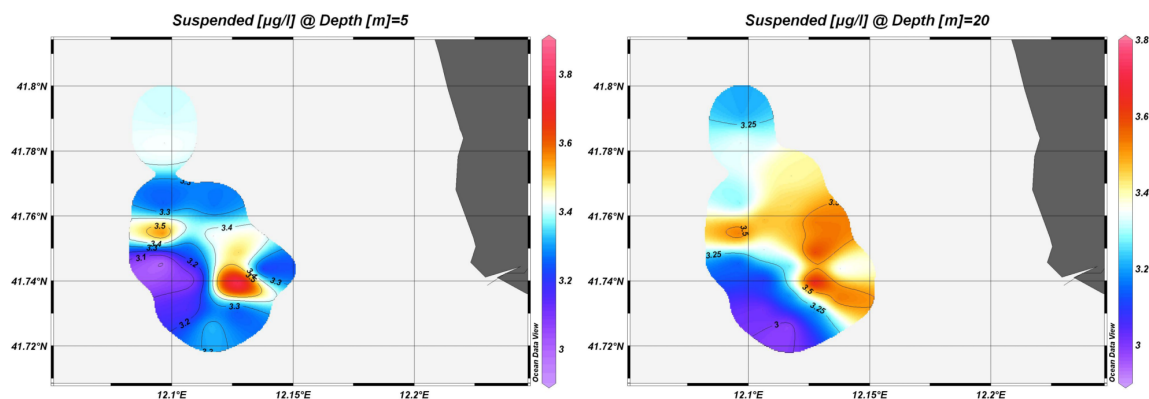


Fig.22 Sezioni orizzontali di solido sospeso a 5 e 10 m di profondità delle misure di Dicembre

3.1.3 ARPA e MSFD

Al fine di definire il background conoscitivo sulle caratteristiche oceanografiche e trofiche dell'unità fisiografica oggetto di studio, sono stati presi in esame i dataset resi disponibili dal Sistema Informativo Centralizzato (SIC) (<http://www.db-strategiamarina.isprambiente.it/>), realizzato dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con l'obiettivo di raccogliere e condividere i dati provenienti dai Programmi di Monitoraggio ed utilizzati per la valutazione dell'ambiente marino, la definizione Buono Stato Ambientale (GES) e la definizione traguardi ambientali (TARGET) nell'ambito della Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (2008/56/CE) recepita nella normativa nazionale mediante il D.lgs. 190/2010. Il SIC consente, inoltre, l'accesso al catalogo di dati messi a disposizione dalla comunità scientifica nazionale e raccolti su tutto il territorio nazionale nell'ambito dei programmi di ricerca sul mare.

In particolare, sono stati analizzati i dati chimico-fisico-biologici e i nutrienti raccolti nell'ambito delle attività di monitoraggio condotte da ARPA Lazio per il Modulo 1 - Colonna d'acqua, che riguarda n.3 stazioni del transetto m1rm03, poste rispettivamente a 3, 6 e 12 miglia dalla costa, nell'area marina antistante il comune di Ladispoli e per il Modulo 6F - Input di nutrienti da fonti fluviali, riguardanti n.3 stazioni di misura, identificate dal codice m6frm, posizionate rispettivamente a nord, a sud e di fronte la foce del Fiume Tevere.

3.1.3.1 Colonna d'acqua

Per quanto attiene le misure in colonna d'acqua i dati disponibili sono distribuiti su transetti nell'intera area marina regionale, sei ricadono nell'area oggetto di ricerca (Fig. 23).

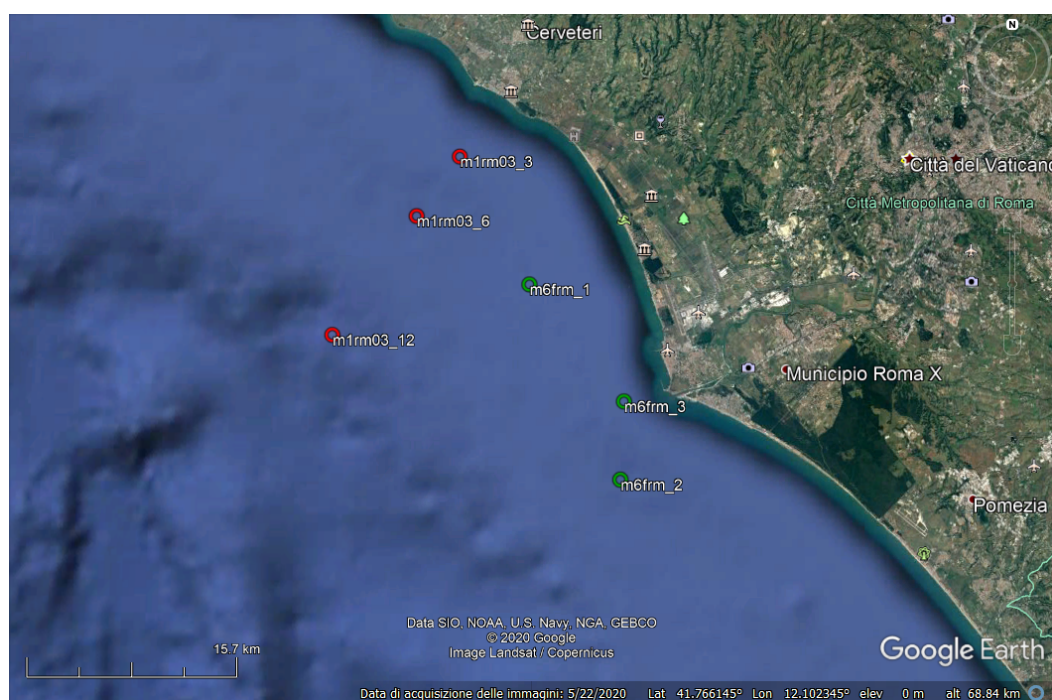


Fig. 23 Mappa della distribuzione delle stazioni colonna d'acqua effettuate per la MSFD



nella Regione Lazio

Modulo 1 – Colonna d’acqua

Di seguito si riportano i dati elaborati e rappresentati attraverso profili verticali delle diverse variabili (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH, clorofilla *a* acquisite nelle n.3 stazioni appartenenti al Modulo 1 denominate IT_m1rm03_3, IT_m1rm03_6, IT_m1rm03_12 nei periodi disponibili:

- Dicembre 2015;
- Aprile – Giugno – Luglio – Ottobre 2016;
- Febbraio – Marzo – Maggio – Settembre 2017;
- Gennaio – Aprile – Giugno – Agosto – Novembre 2018;
- Febbraio – Aprile – Maggio – Ottobre 2019.

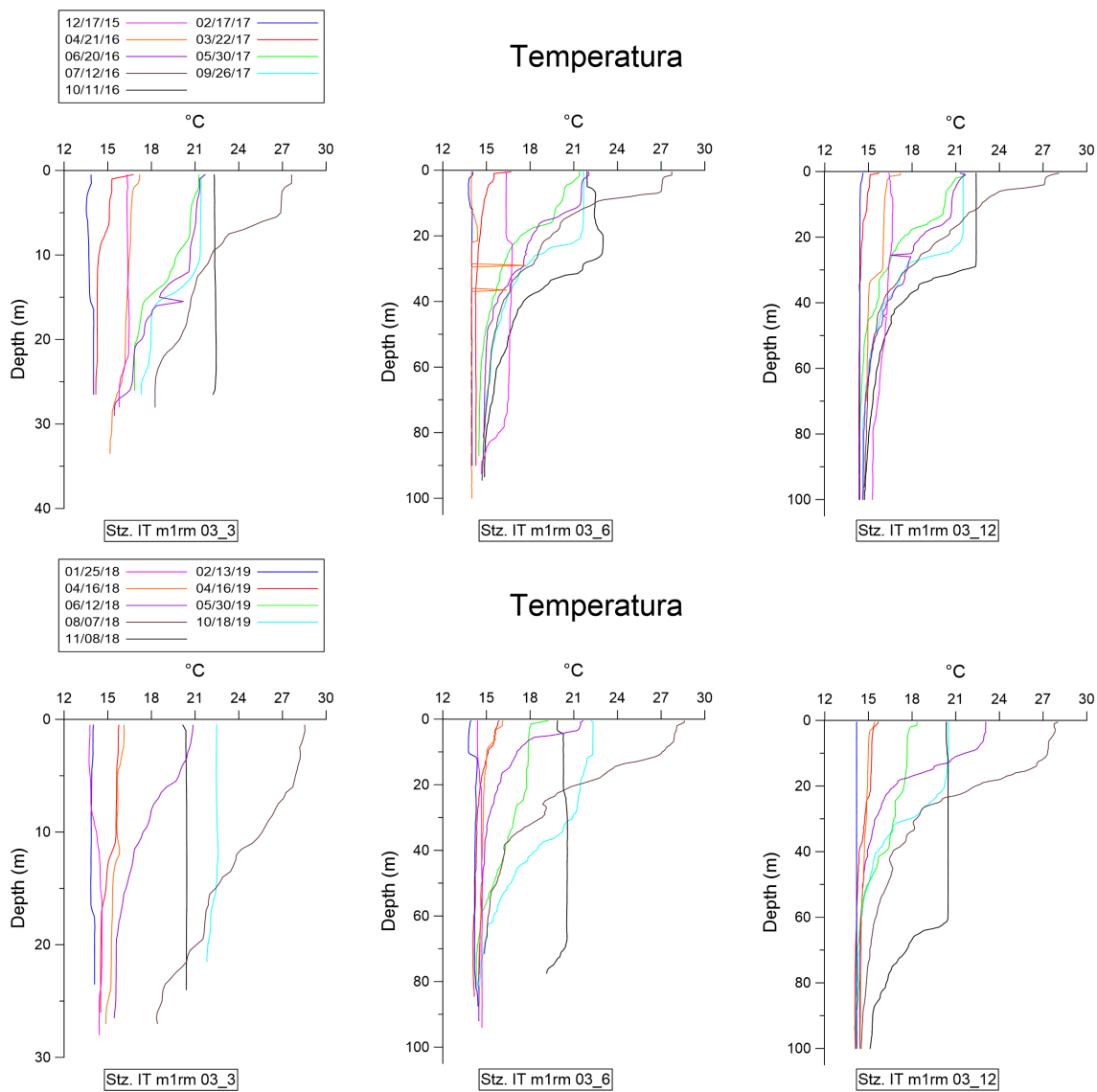


Fig. 24 Profili verticali di Temperatura nelle stazioni IT_m1rm03_3, IT_m1rm03_6, IT_m1rm03_12

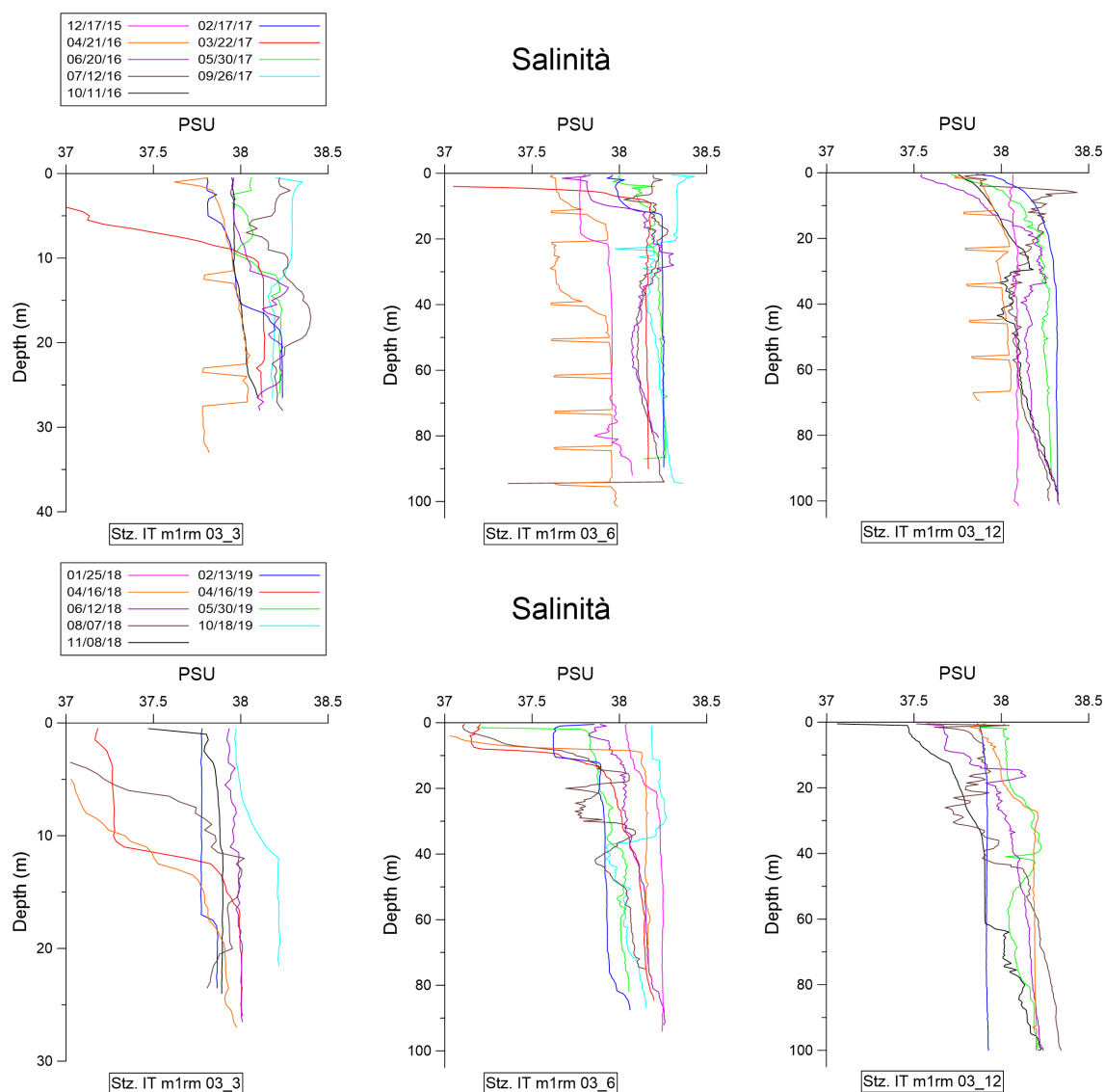


Fig. 25 Profili verticali di Salinità nelle stazioni IT_m1rm03_3, IT_m1rm03_6, IT_m1rm03_12

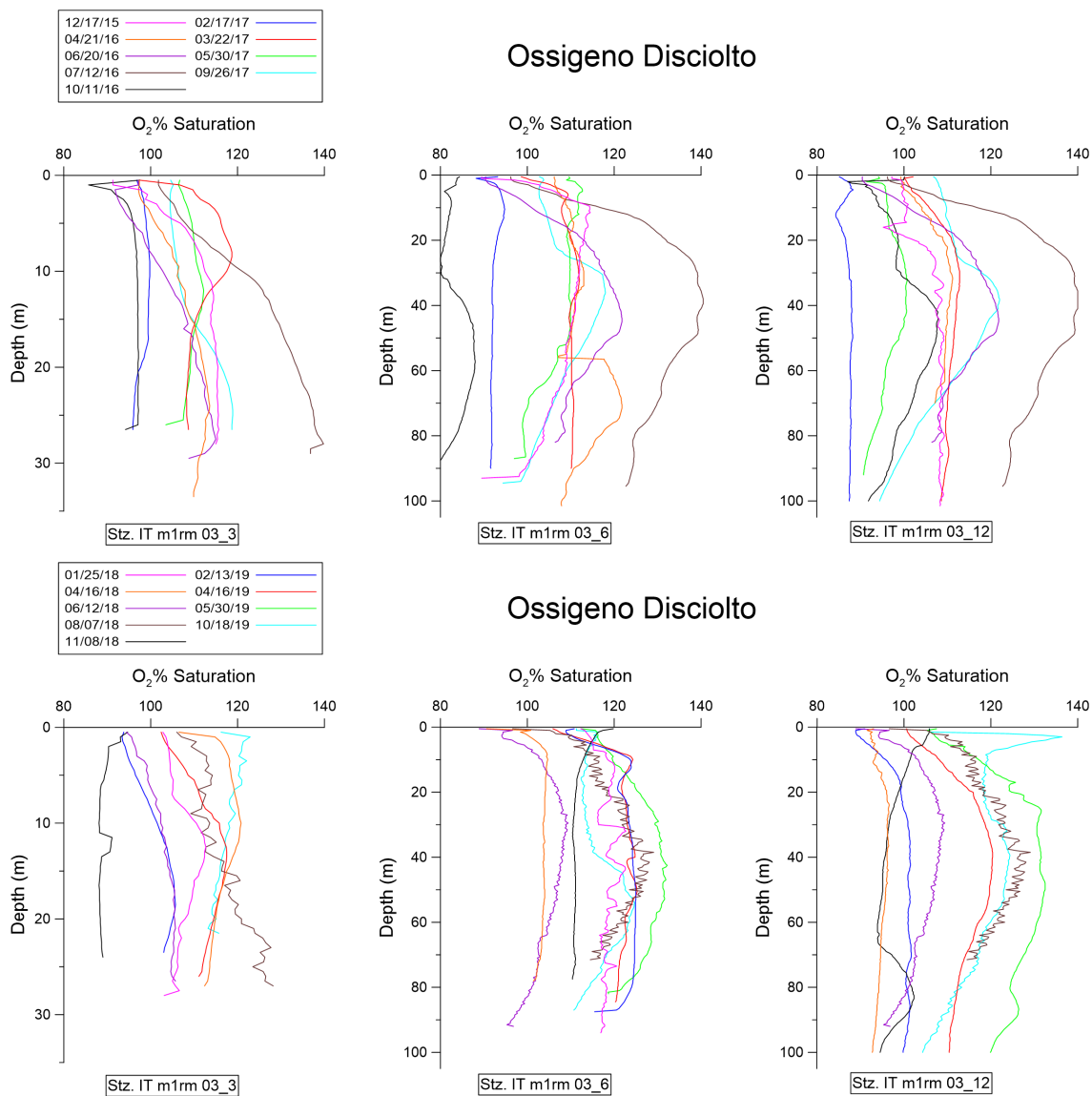


Fig. 26 Profili verticali di Ossigeno Disciolto nelle stazioni IT_m1rm03_3, IT_m1rm03_6, IT_m1rm03_12

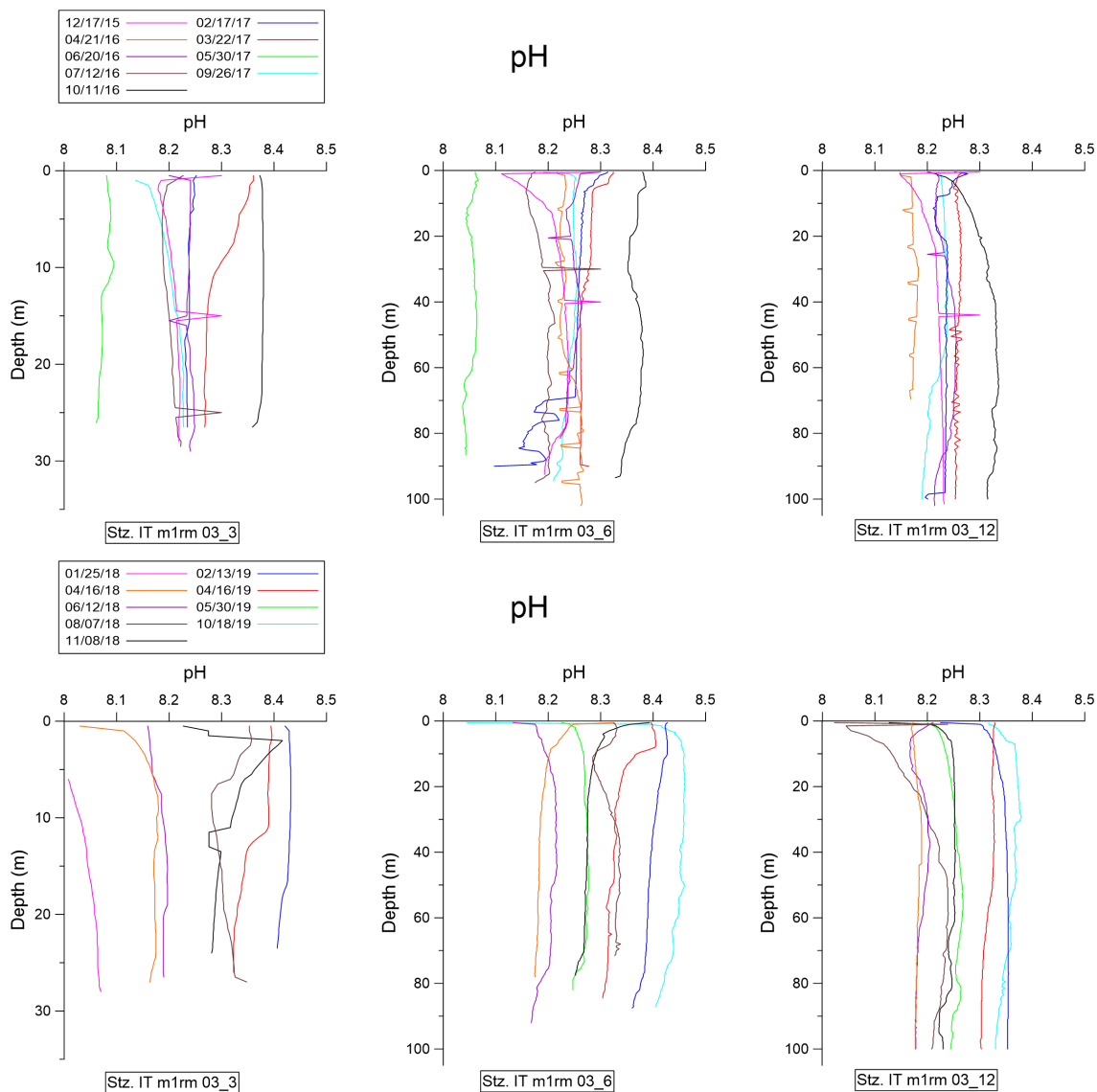


Fig. 27 Profili verticali di pH nelle stazioni IT_m1rm03_3, IT_m1rm03_6, IT_m1rm03_12

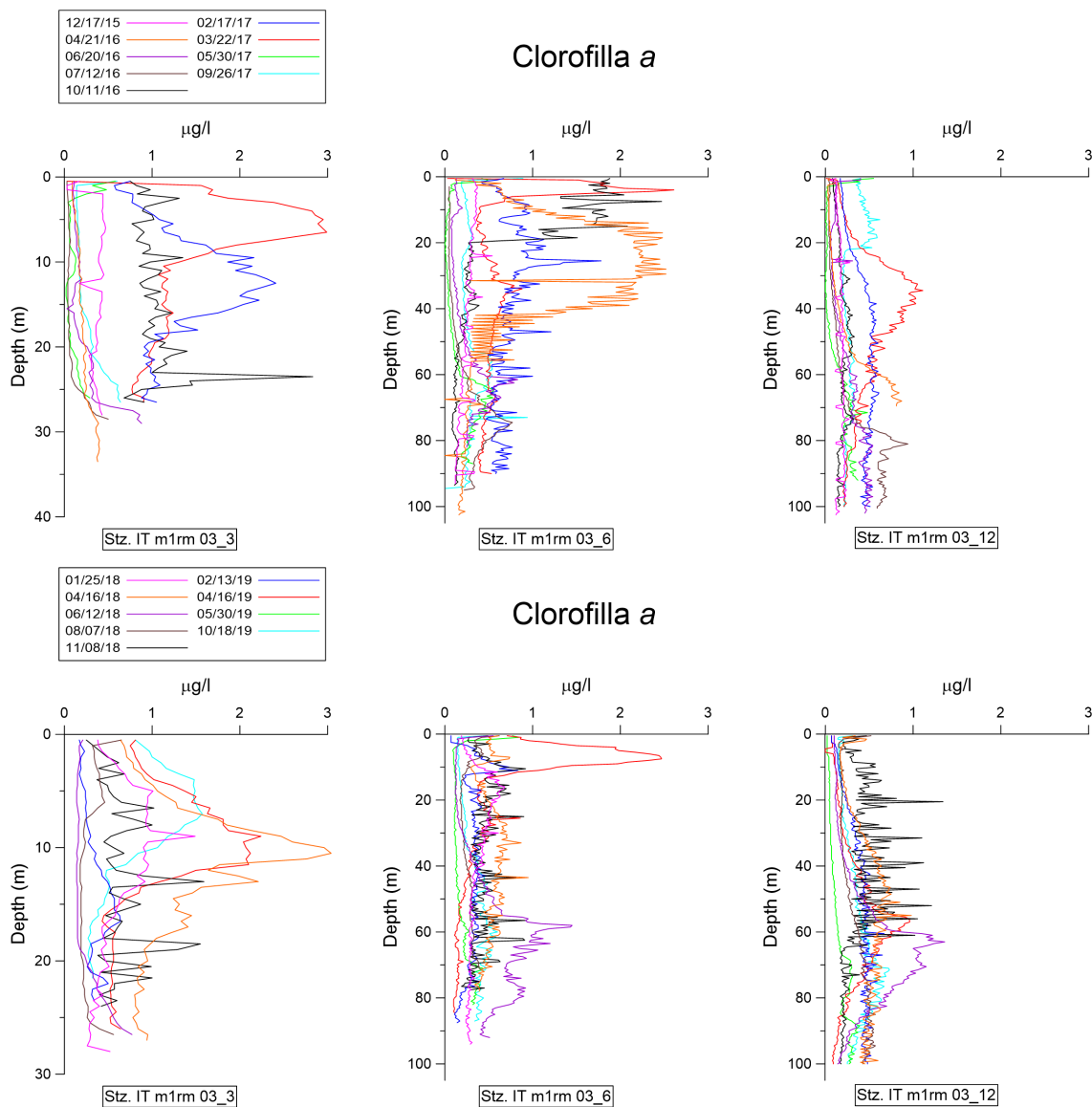


Fig. 28 Profili verticali di Clorofilla *a* nelle stazioni IT_m1rm03_3, IT_m1rm03_6, IT_m1rm03_12



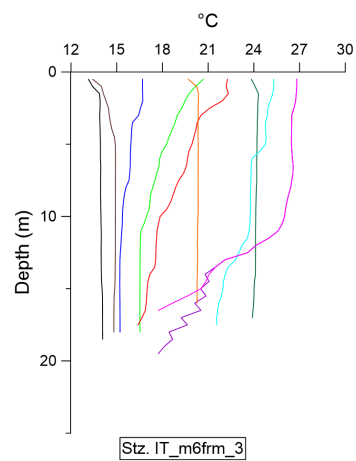
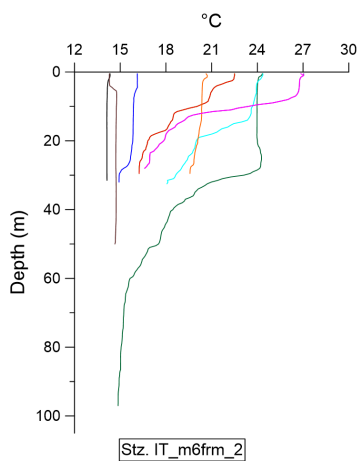
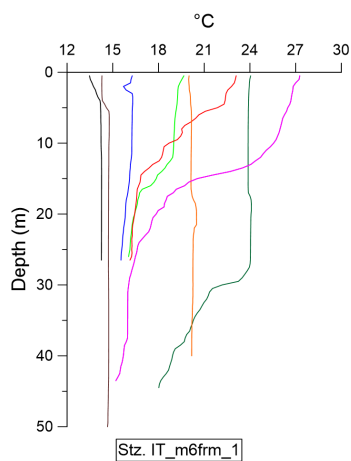
Modulo 6F – Input di nutrienti da fonti fluviali

Di seguito si riportano i dati elaborati e rappresentati attraverso profili verticali delle diverse variabili (temperatura, salinità, clorofilla *a* e torbidità) acquisite nelle n.3 stazioni denominate m6frm_1, m6frm_2, m6frm_3 nei periodi disponibili:

- Agosto – Novembre - Dicembre 2015;
- Gennaio – Marzo – Aprile – Giugno – Luglio – Agosto – Settembre 2016;
- Gennaio - Febbraio –Maggio – Giugno – Luglio – Agosto – Settembre – Novembre 2017;
- Gennaio – Febbraio – Marzo – Aprile – Maggio – Giugno – Luglio – Agosto – Ottobre
- Novembre – Dicembre 2018;
- Febbraio – Maggio – Giugno – Luglio – Agosto – Settembre – Ottobre 2019;
- Gennaio – Febbraio 2020.

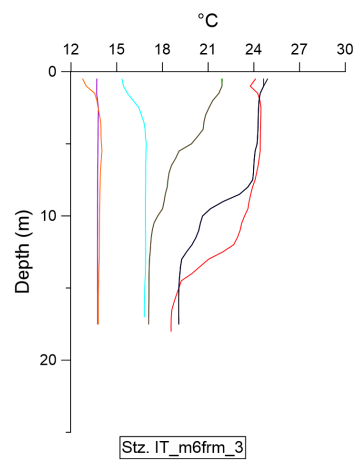
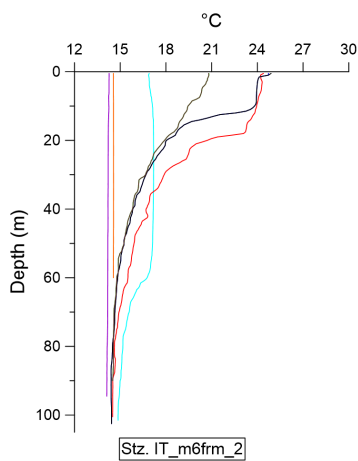
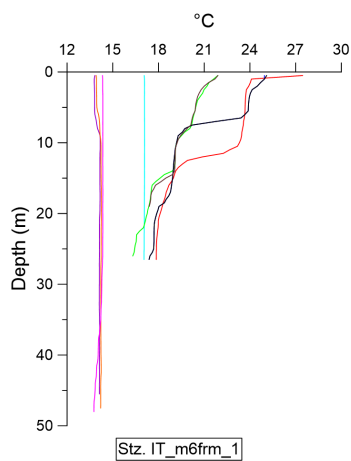
08/15/15	04/29/16
11/04/15	06/07/16
12/22/15	07/20/16
01/26/16	08/18/16
03/10/16	09/26/16

Temperatura



01/10/17	07/20/17
01/24/17	08/17/17
02/13/17	09/21/17
05/29/17	11/28/17
06/20/17	

Temperatura



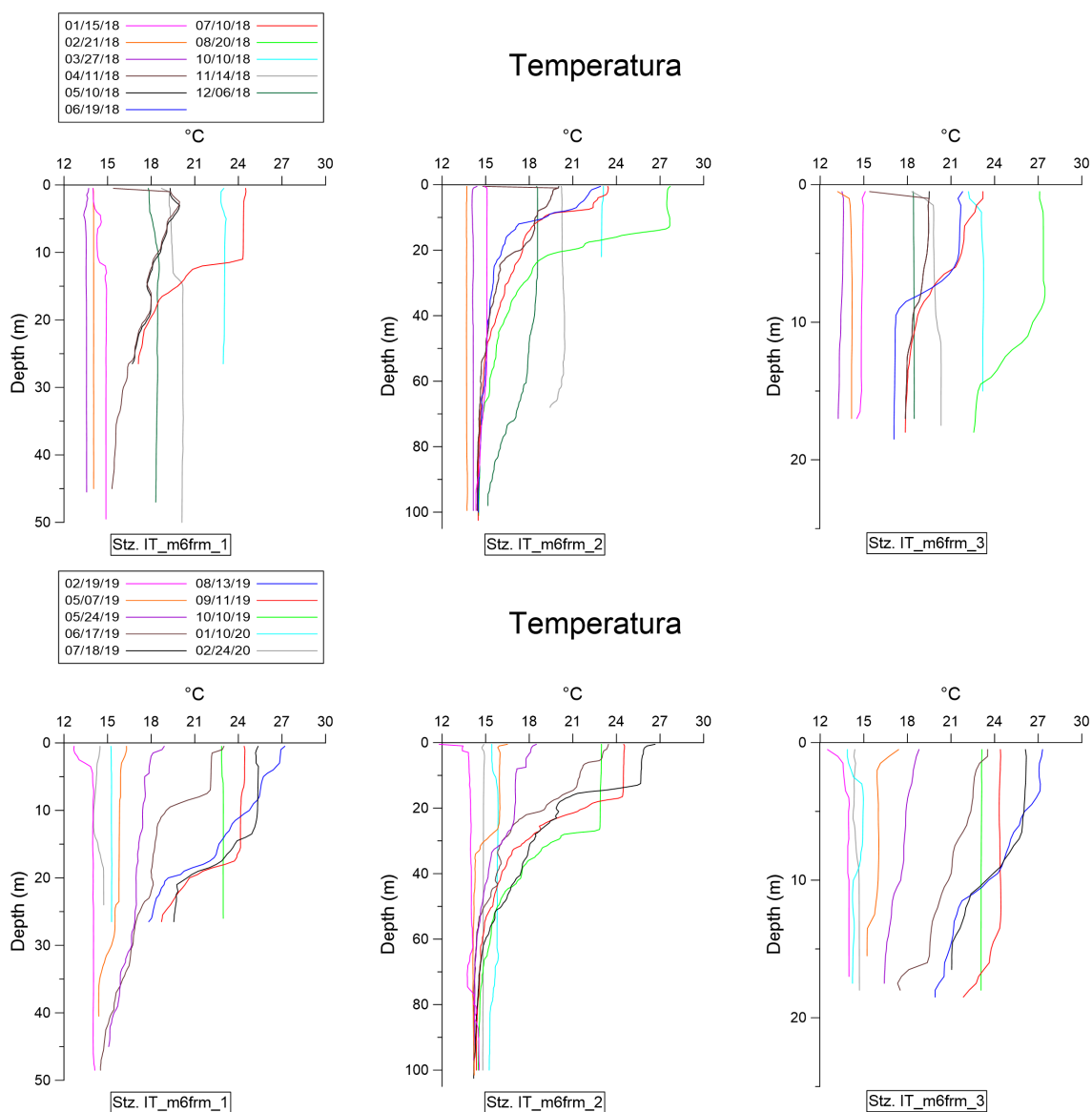
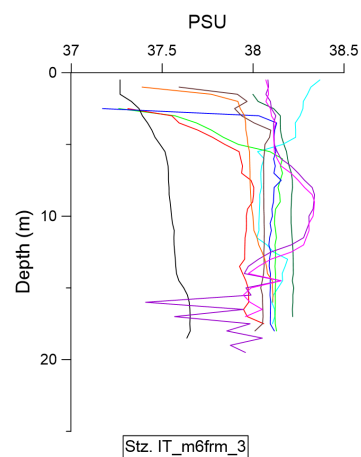
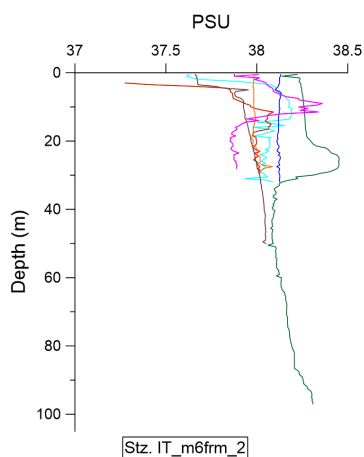
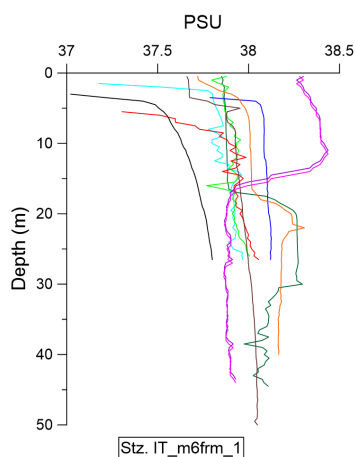


Fig. 29 Profili verticali di Temperatura nelle stazioni m6frm_1, m6frm_2, m6frm_3

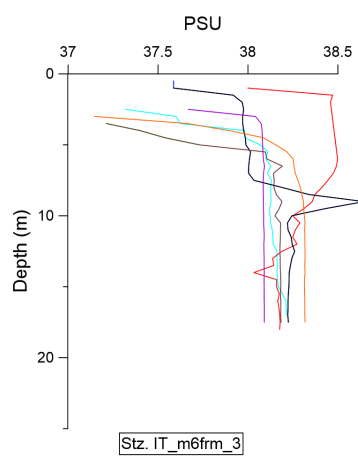
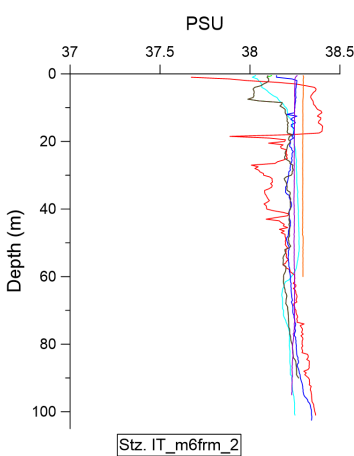
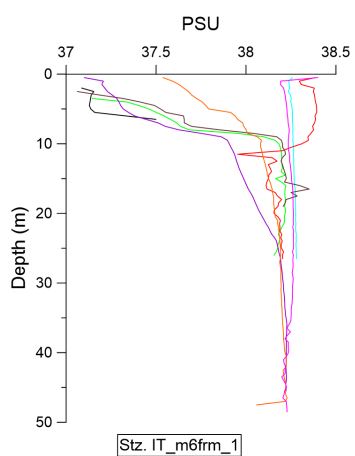
08/15/15	04/29/16	04/29/16
11/04/15	06/07/16	06/07/16
12/22/15	07/20/16	07/20/16
01/26/16	08/18/16	08/18/16
03/10/16	09/26/16	09/26/16

Salinità



01/10/17	07/20/17	07/20/17
01/24/17	08/17/17	08/17/17
02/13/17	09/21/17	09/21/17
05/29/17	11/28/17	11/28/17
06/20/17		

Salinità



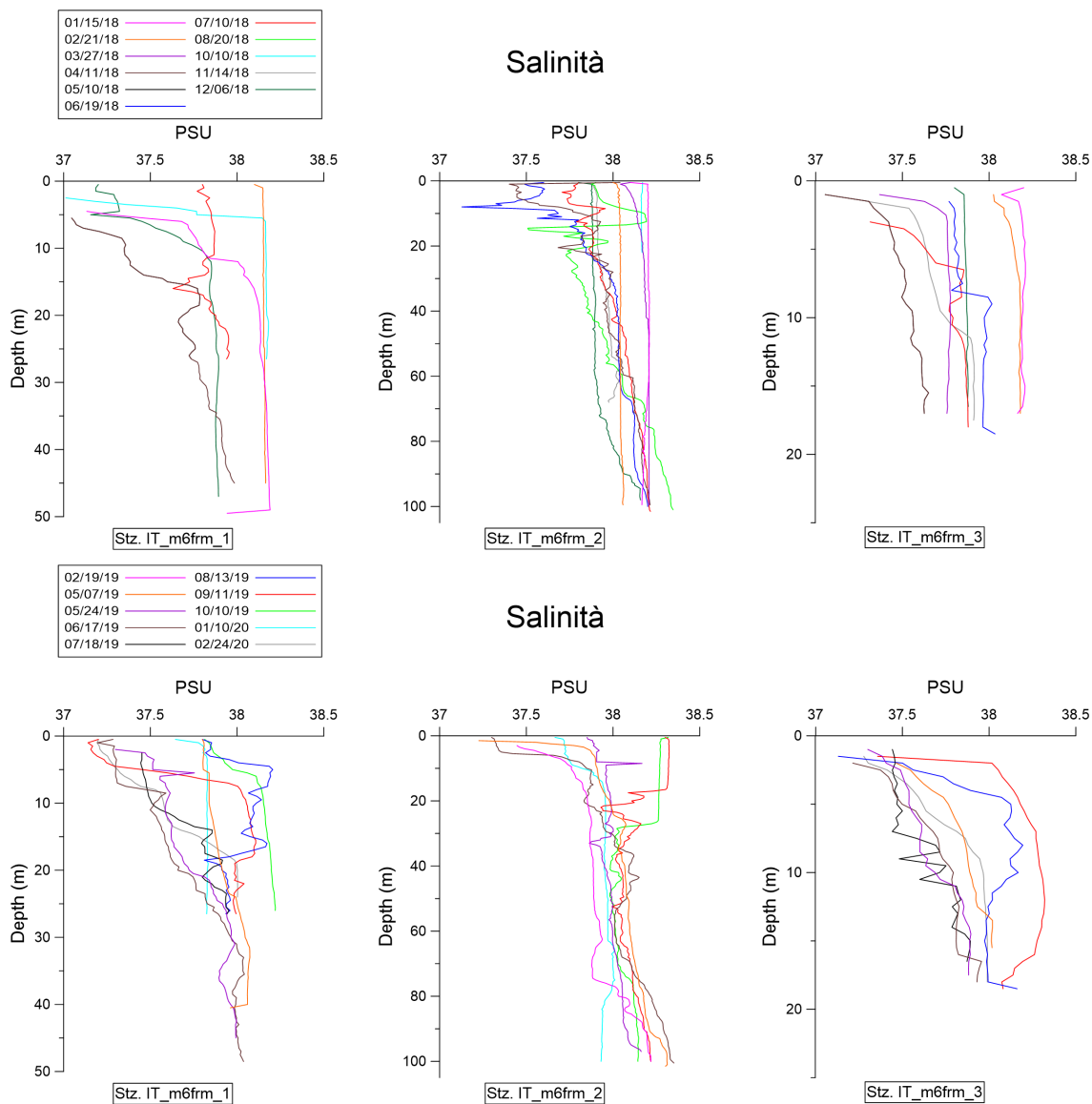
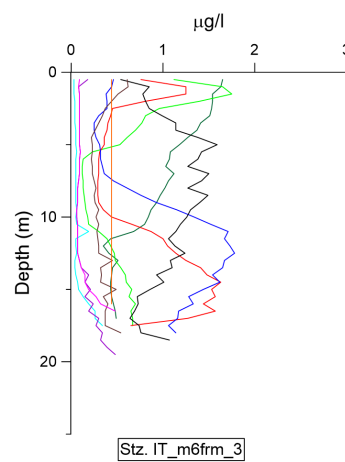
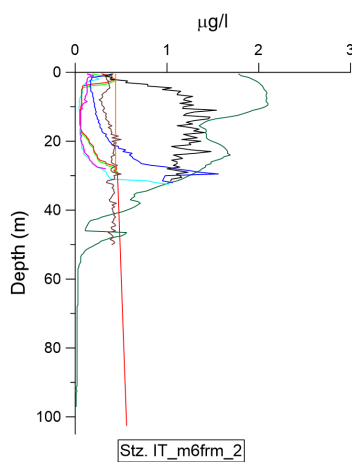
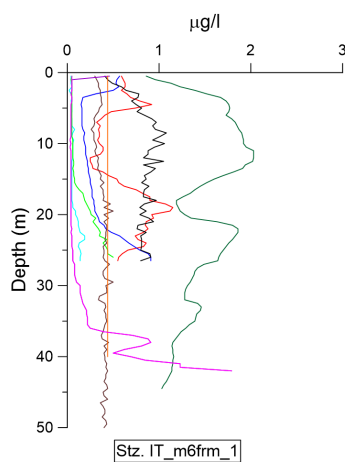


Fig. 30 Profili verticali di Salinità nelle stazioni m6frm_1, m6frm_2, m6frm_3

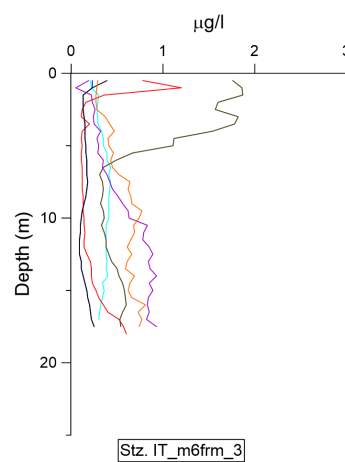
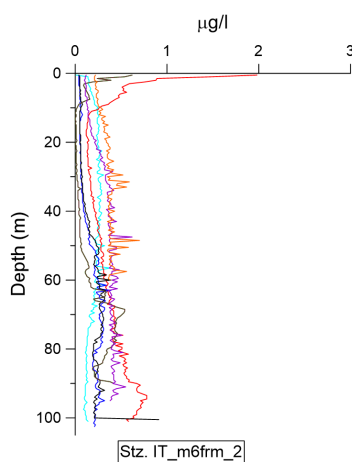
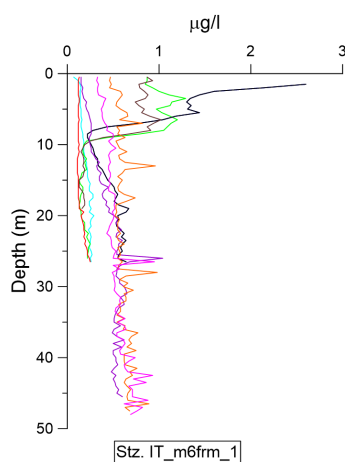
08/15/15	04/29/16	04/29/16
11/04/15	06/07/16	06/07/16
12/22/15	07/20/16	07/20/16
01/26/16	08/18/16	08/18/16
03/10/16	09/26/16	09/26/16

Clorofilla a



01/10/17	07/20/17	07/20/17
01/24/17	08/17/17	08/17/17
02/13/17	09/21/17	09/21/17
05/29/17	11/28/17	11/28/17
06/20/17		

Clorofilla a



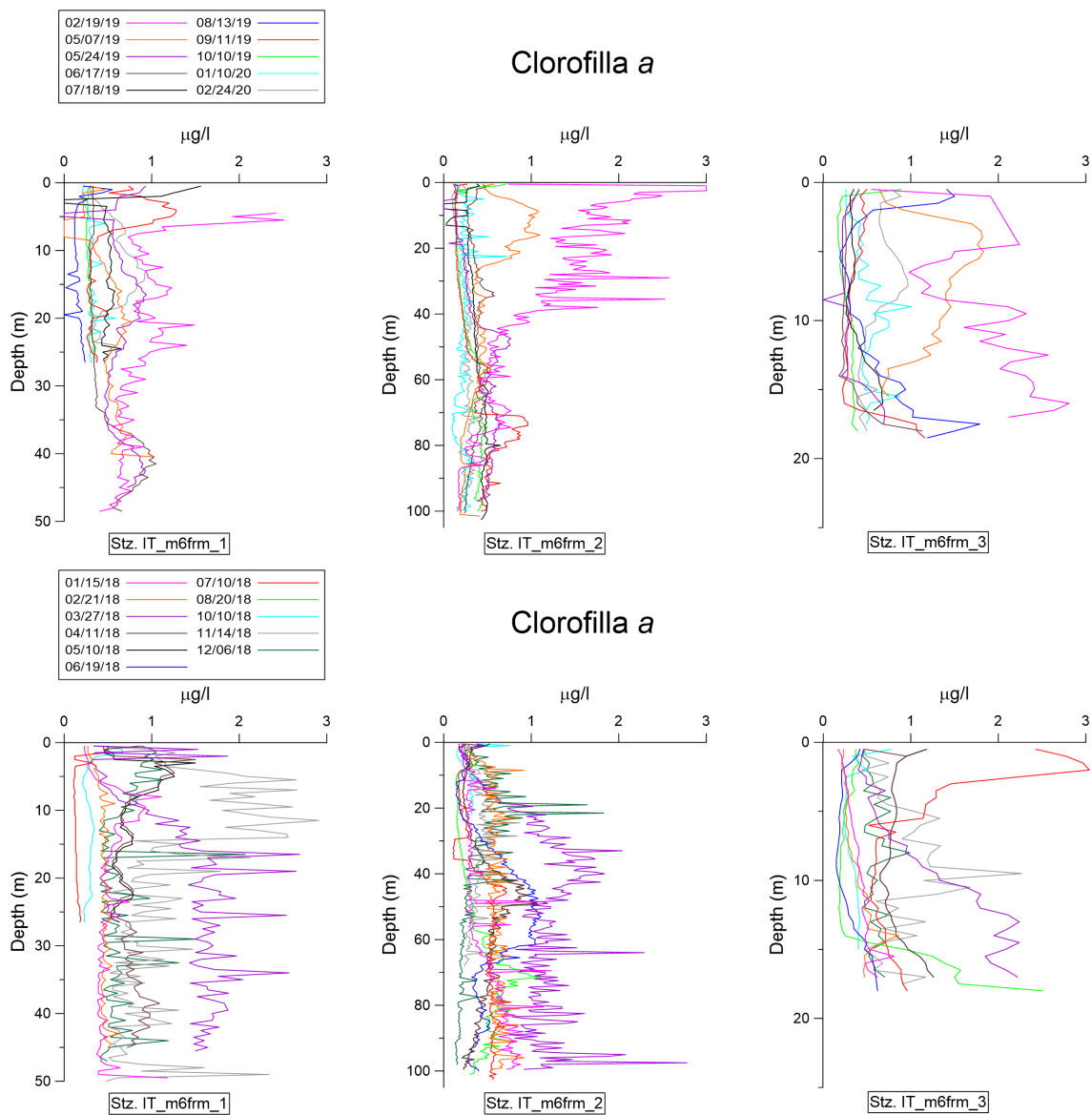
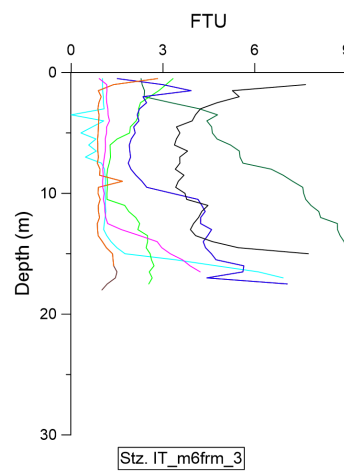
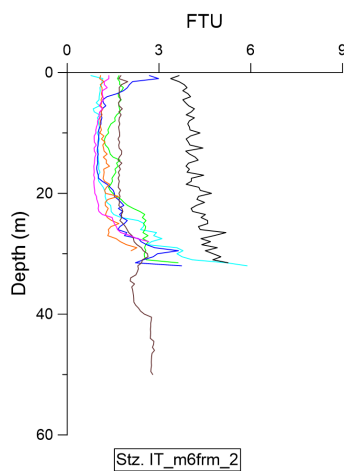
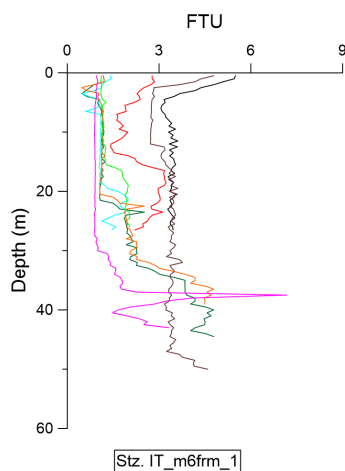


Fig. 31 Profili verticali di Clorofilla *a* nelle stazioni m6frm_1, m6frm_2, m6frm_3

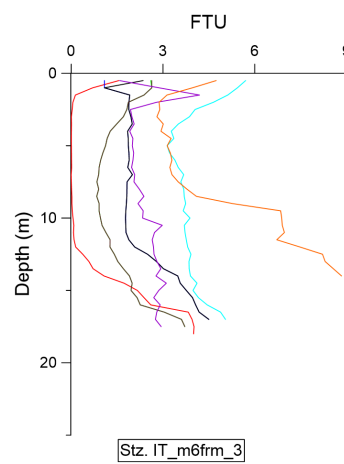
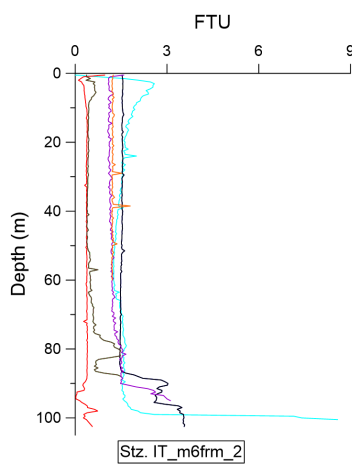
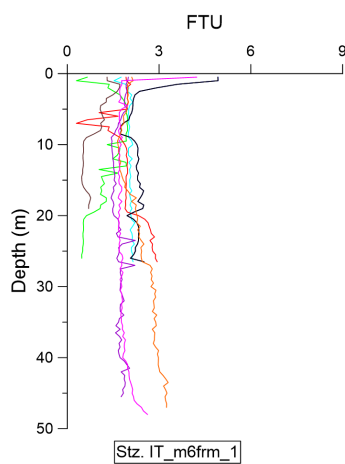
08/15/15	04/29/16	04/29/16
11/04/15	06/07/16	06/07/16
12/22/15	07/20/16	07/20/16
01/26/16	08/18/16	08/18/16
03/10/16	09/26/16	09/26/16

Torbidità



01/10/17	07/20/17	07/20/17
01/24/17	08/17/17	08/17/17
02/13/17	09/21/17	09/21/17
05/29/17	11/28/17	11/28/17
06/20/17		

Torbidità



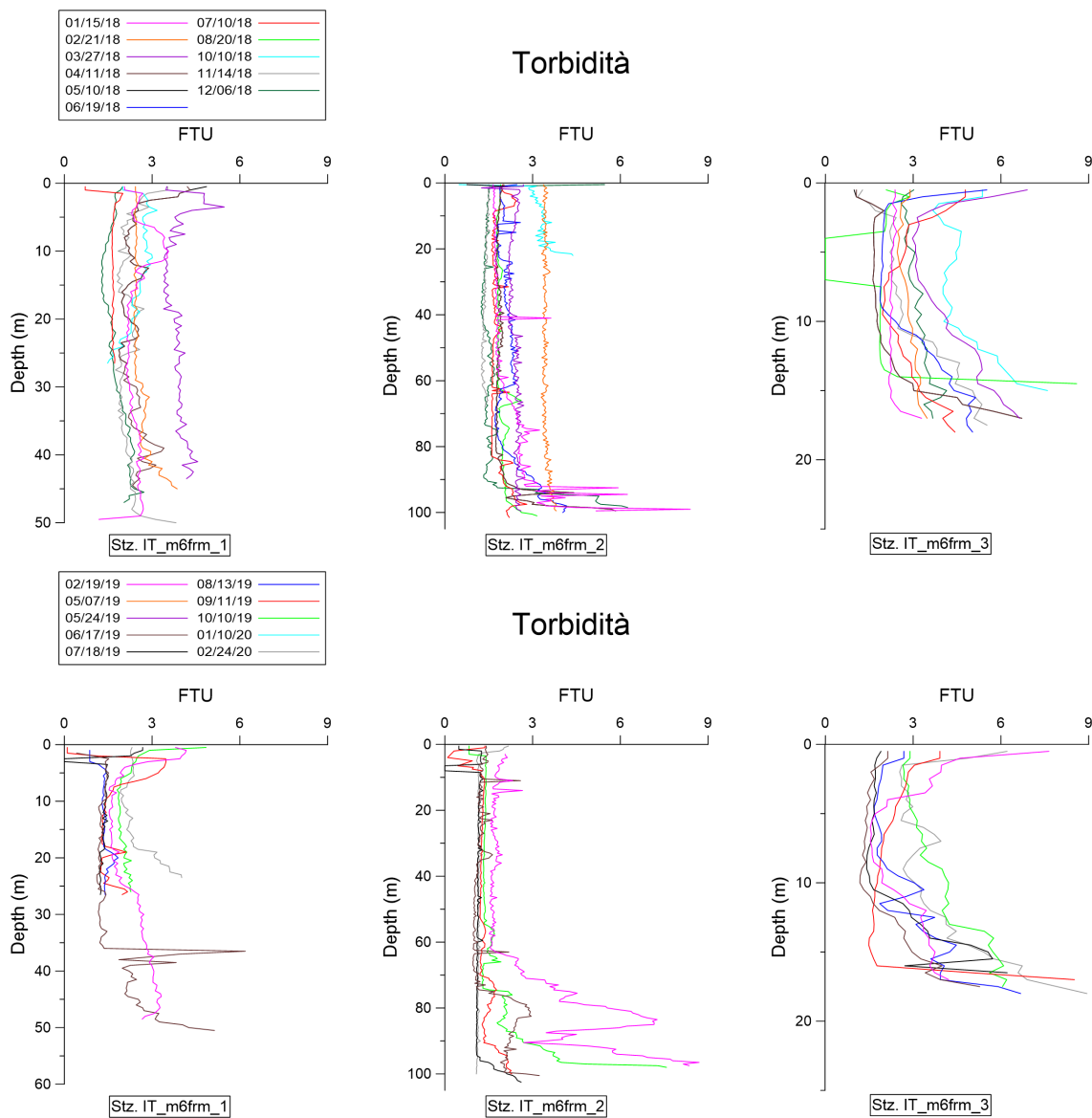


Fig. 32 Profili verticali di Torbidità nelle stazioni m6frm_1, m6frm_2, m6frm_3

3.1.3.2 Nutrienti

Per quanto attiene le misure di nutrienti, i dati sono stati raccolti in corrispondenza delle n.3 stazioni riportate in Fig. 33.

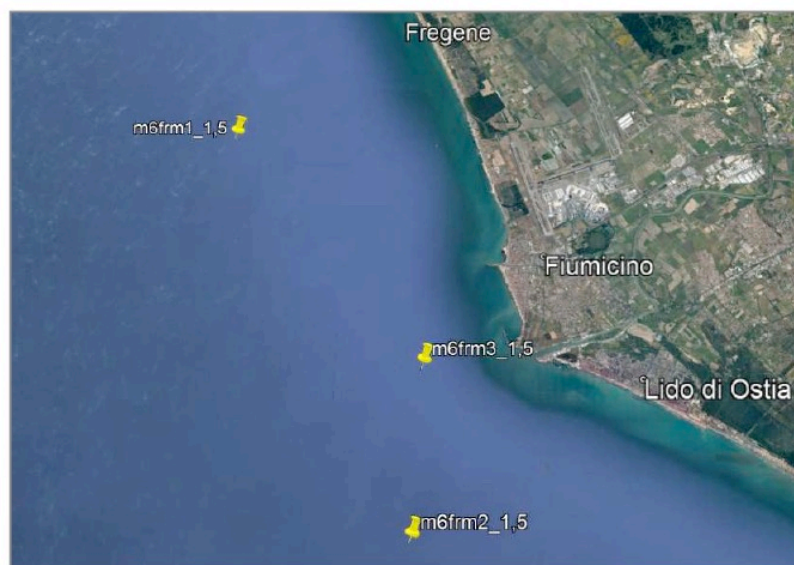


Fig.33 Stazioni m6frm1_1.5, -2_1.5, -3_1.5, monitorate nell'ambito del Modulo 6F del Programma di Monitoraggio della Strategia Marina

Di seguito si riportano gli andamenti dei nutrienti totali di azoto e fosforo superficiali disponibili nel periodo 2015-2018 in corrispondenza delle tre stazioni m6frm1_1.5; m6frm2_1.5; m6frm3_1.5.

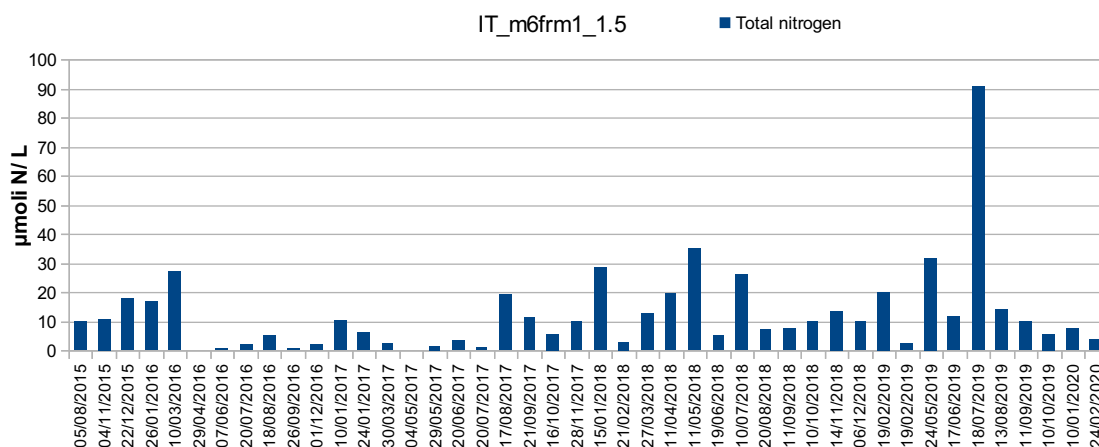


Fig. 34 Andamento dell'azoto totale superficiale monitorato nel periodo 2015-2018 in corrispondenza della stazione m6frm1_1.5

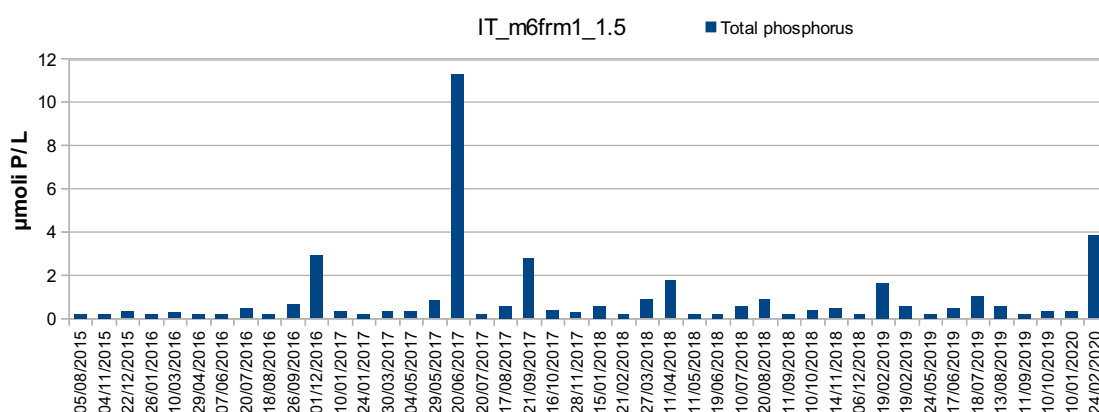


Fig. 35 Andamento del fosforo totale superficiale monitorato nel periodo 2015-2018 in corrispondenza della stazione m6frm1_1.5

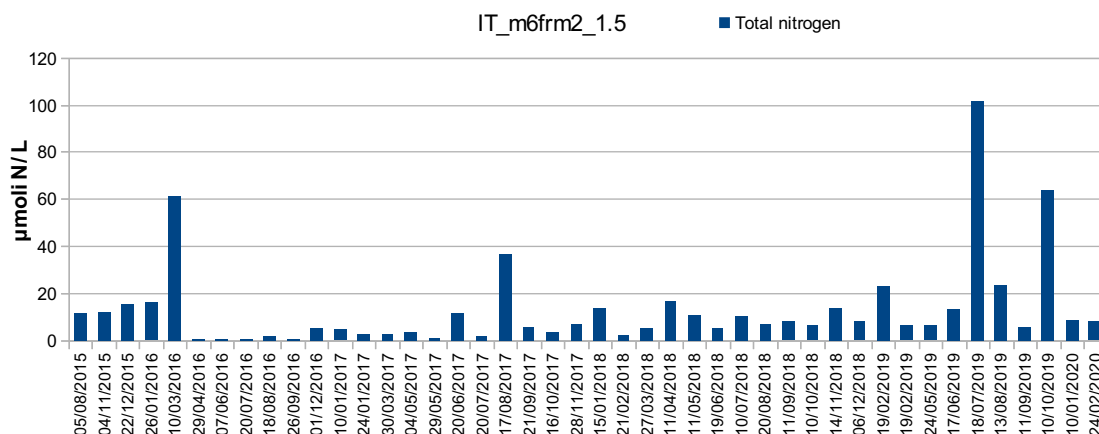


Fig. 36 Andamento dell'azoto totale superficiale monitorato nel periodo 2015-2018 in corrispondenza della stazione m6frm2_1.5

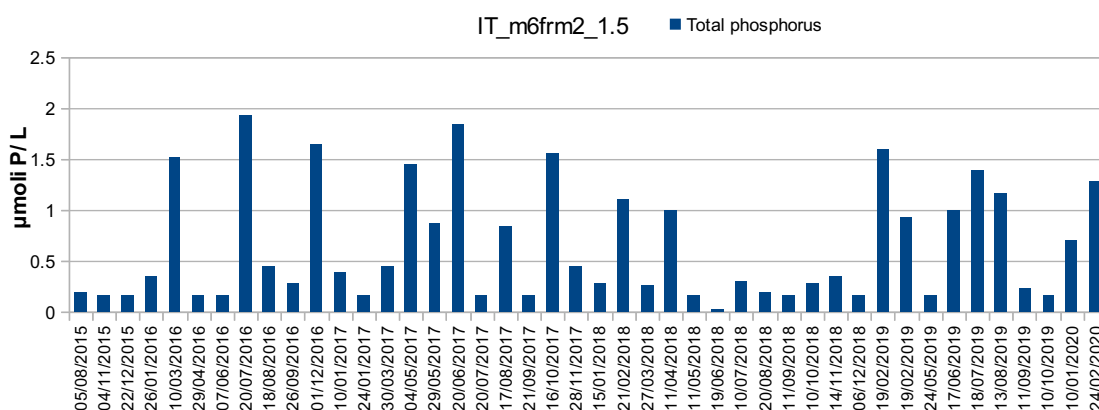


Fig. 37 Andamento del fosforo totale superficiale monitorato nel periodo 2015-2018 in corrispondenza della stazione m6frm2_1.5

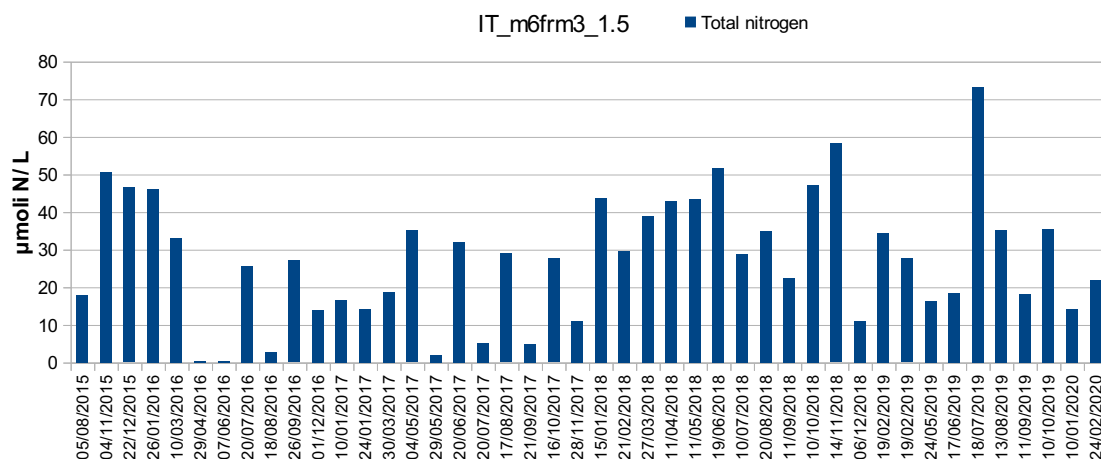


Fig. 38 Andamento dell'azoto totale monitorato nell'anno 2018 in corrispondenza della stazione m6frm3_1.5

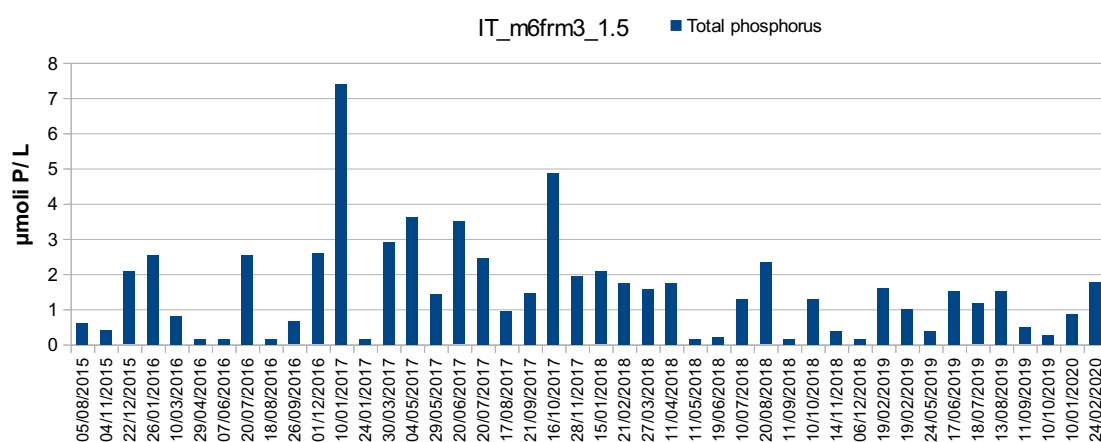


Fig. 39 Andamento del fosforo totale monitorato nell'anno 2018 in corrispondenza della stazione m6frm3_1.5

Al fine di analizzare il carico di nutrienti in un'area posta a maggiore distanza dalla foce del Fiume Tevere, sono stati analizzati i dati raccolti nell'ambito delle attività di monitoraggio del Modulo 1 - Colonna d'acqua, e riguardanti le 3 stazioni del transetto m1rm03, poste rispettivamente a 3, 6 e 12 miglia dalla costa (Fig.23).

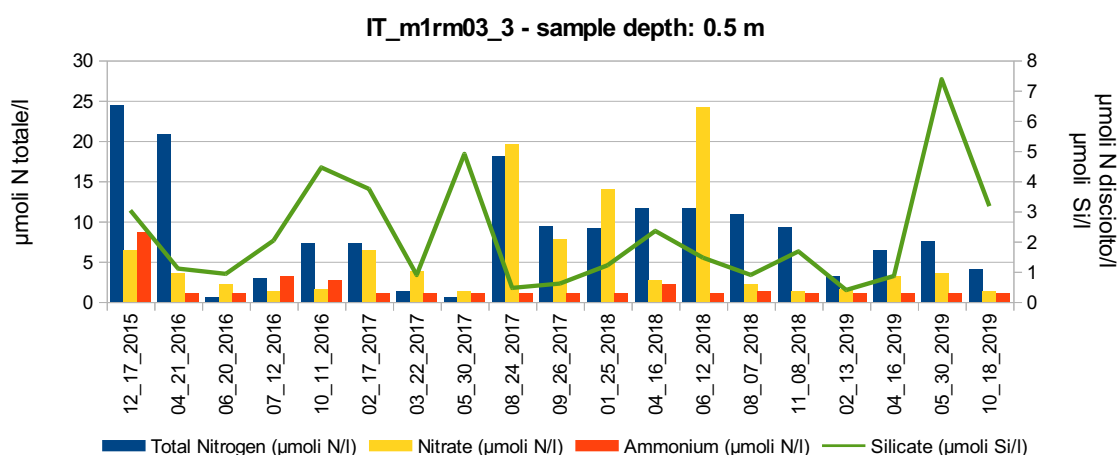


Fig. 40 Andamento di azoto totale, nitrati, ammonio e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_3 ad una profondità di 0.5 metri

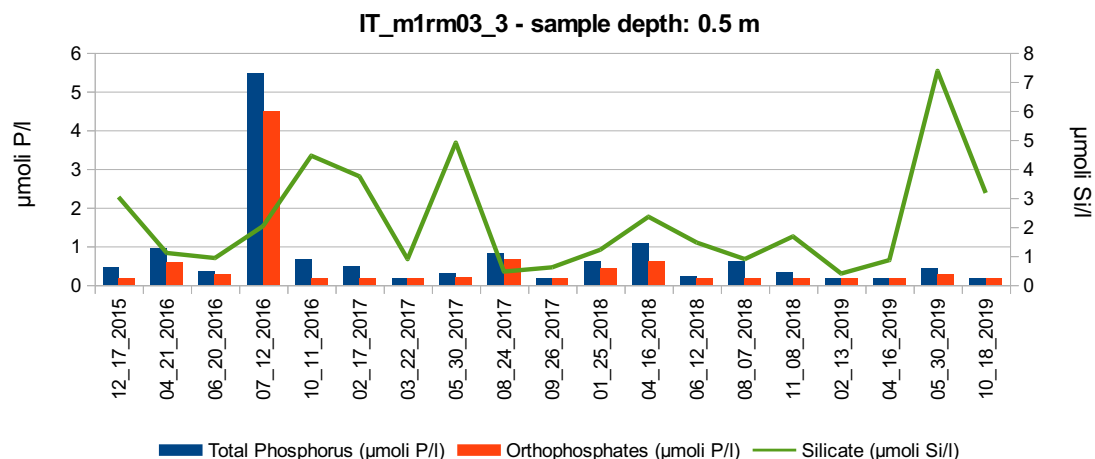


Fig. 41 Andamento di fosforo totale, ortofosfati e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_3 ad una profondità di 0.5 metri

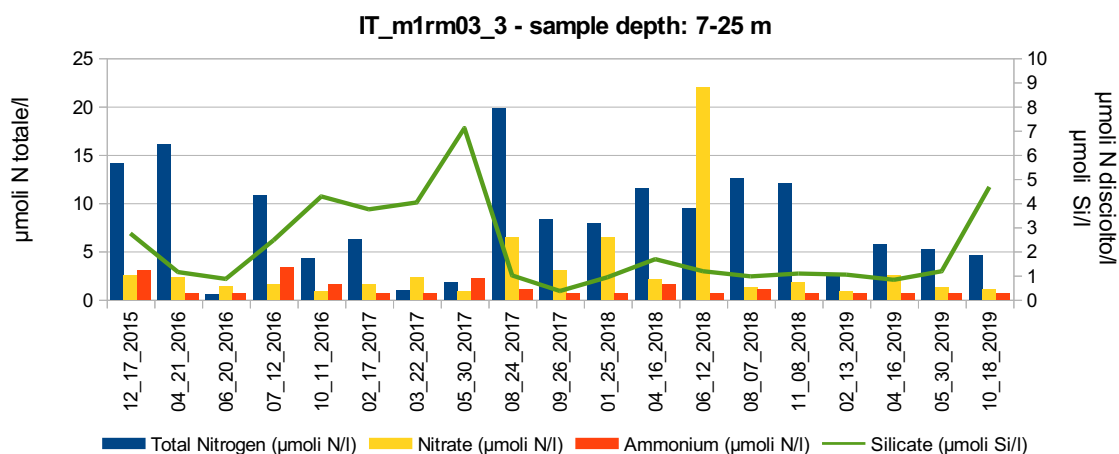


Fig. 42 Andamento di azoto totale, nitrati, ammonio e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_3 ad una profondità compresa tra i 7 ed i 25 metri

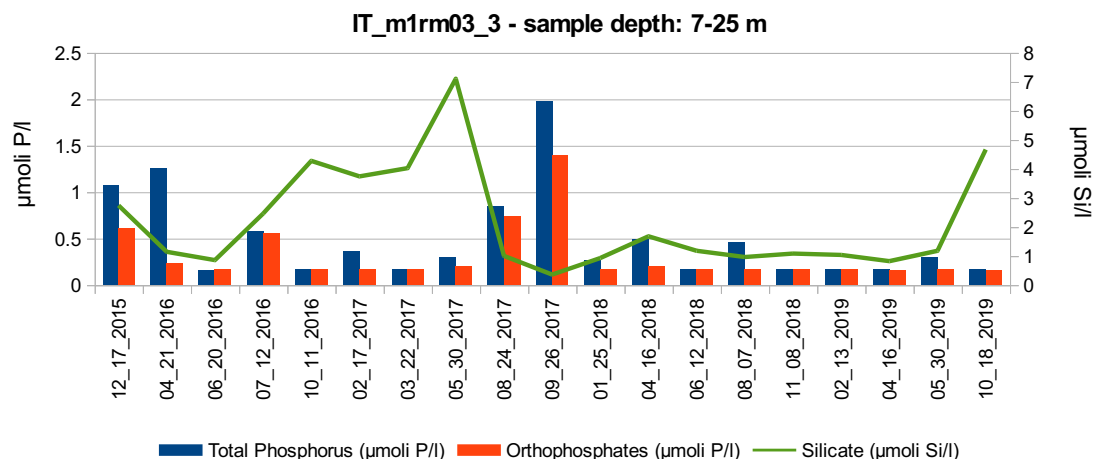


Fig. 43 Andamento di fosforo totale, ortofosfati e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_3 ad una profondità compresa tra i 7 ed i 25 metri

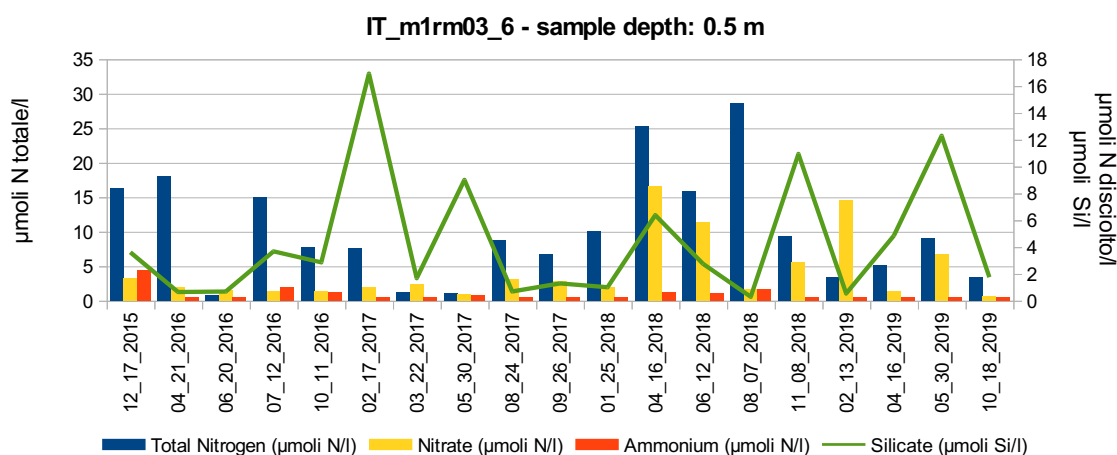


Fig. 44 Andamento di azoto totale, nitrati, ammonio e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_6 ad una profondità di 0.5 metri

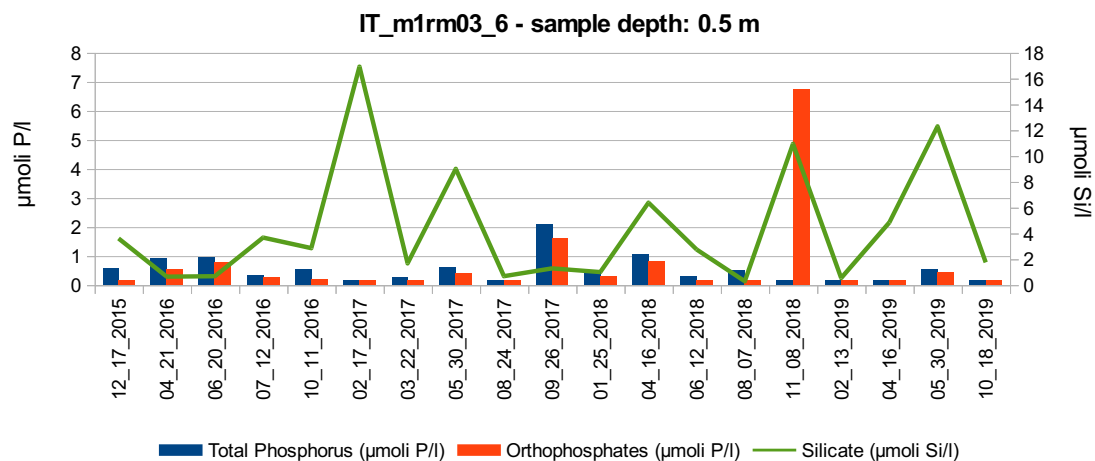


Fig. 45 Andamento di fosforo totale, ortofosfati e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_6 ad una profondità di 0.5 metri

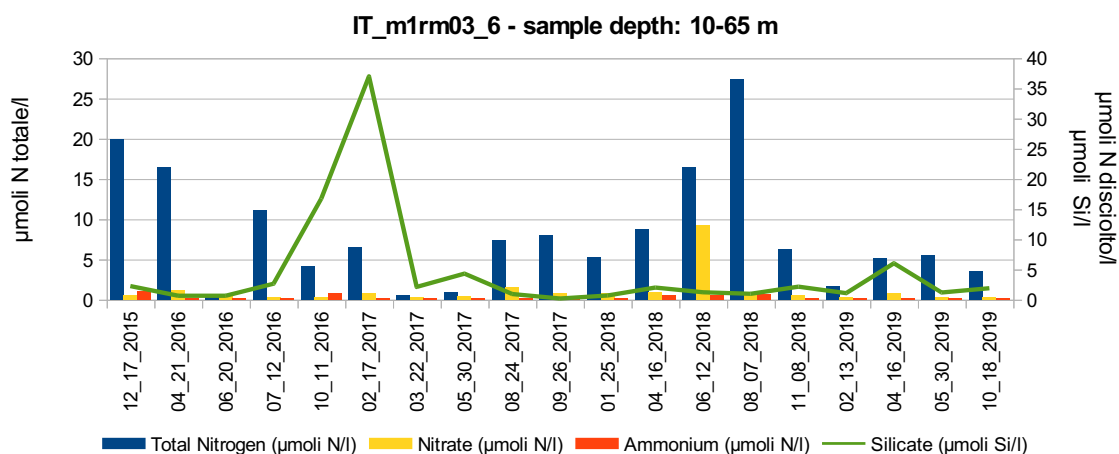


Fig. 46 Andamento di azoto totale, nitrati, ammonio e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_3 ad una profondità compresa tra i 10 ed i 65 metri

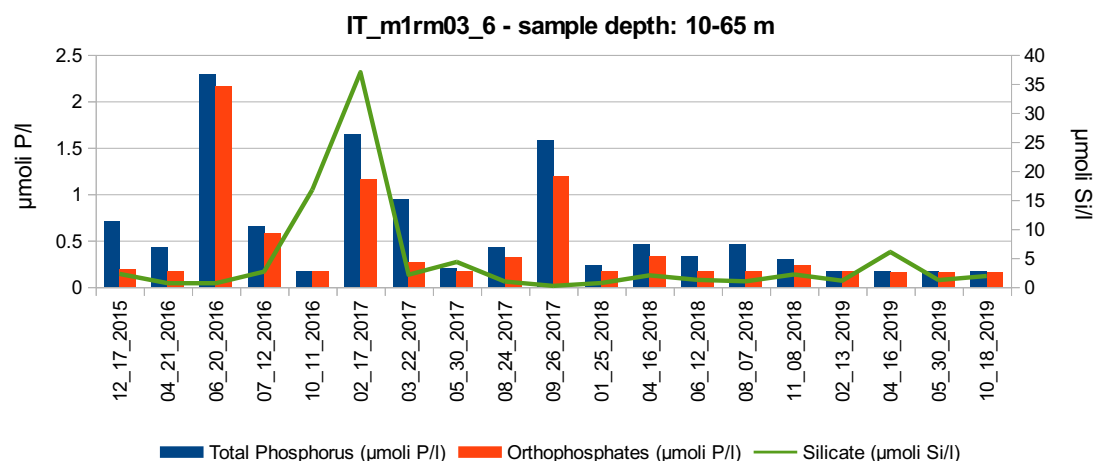


Fig. 47 Andamento di fosforo totale, ortofosfati e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_6 ad una profondità compresa tra i 10 ed i 65 metri

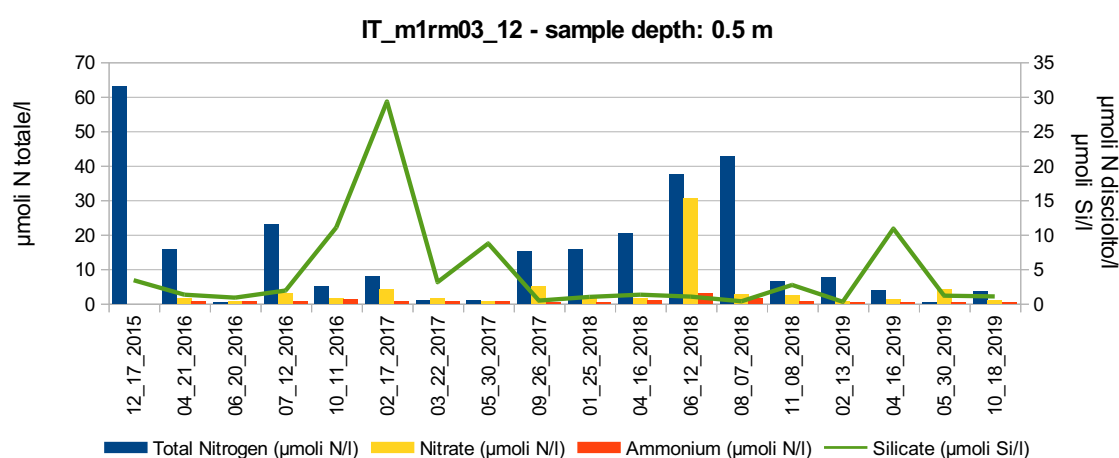


Fig. 48 Andamento di azoto totale, nitrati, ammonio e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_12 ad una profondità di 0.5 metri

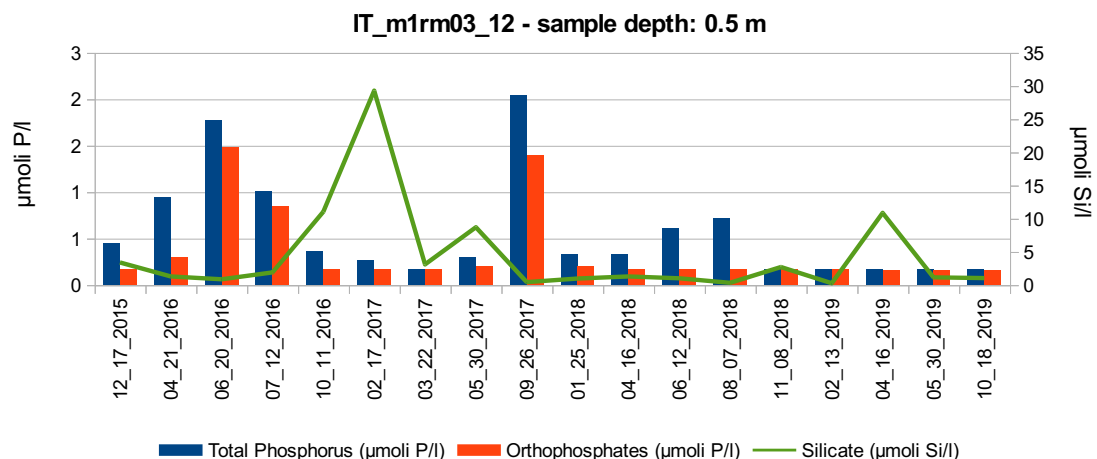


Fig. 49 Andamento di fosforo totale, ortofosfati e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_12 ad una profondità di 0.5 metri

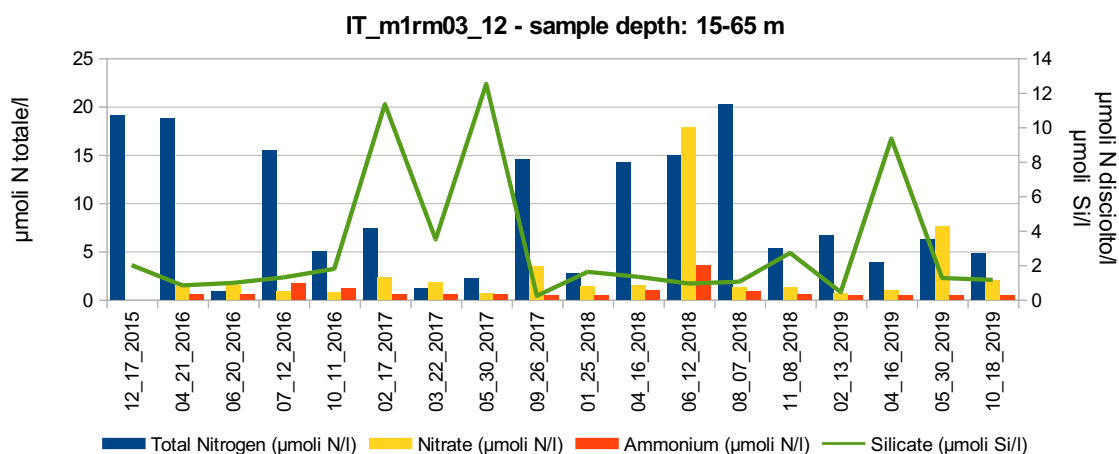


Fig. 50 Andamento di azoto totale, nitrati, ammonio e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_12 ad una profondità compresa tra 15 e 65 metri

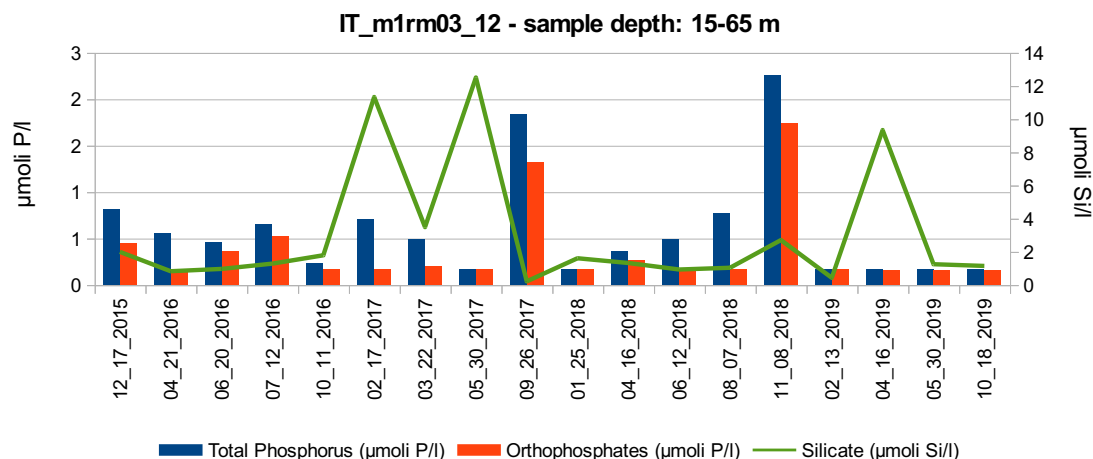


Fig. 51 Andamento di fosforo totale, ortofosfati e silicati disciolti monitorati in corrispondenza della stazione m1rm03_12 ad una profondità compresa tra i 15 ed i 65 metri

Indice TRIX

In tabella 5 sono elencate le stazioni marino costiere monitorate negli anni 2018 al 2019 con i rispettivi valori dell'indice trofico TRIX e dell'indice di Chl a calcolati a partire dagli elementi chimico-fisici a sostegno monitorate da ARPA Lazio in corrispondenza delle stazioni localizzate all'interno dell'area oggetto di studio. In generale si osserva un miglioramento delle condizioni trofiche dal 2018 al 2019 nell'area marina compresa tra Rio Fiume e Pratica di Mare, per la quale si segnala un passaggio dalla classe Sufficiente a quella di Buono sia per l'indice trofico TRIX che per la Chla. Al contrario, nell'area marina compresa tra Lido dei Pini e Grotte di Nerone si verifica un peggioramento della classe individuata dall'indice trofico TRIX da Buono a Sufficiente.

Codice	Nome Corpo Idrico	TRIX 2018	TRIX 2019	Chla 2018	Chla 2019
4.32	Da Fiume Mignone a Rio Fiume	Buono	Buono	Elevato	Elevato
4.38	Da Rio Fiume a Pratica di Mare	Sufficiente	Buono	Buono	Buono
4.44	Da Rio Fiume a Pratica di Mare	Sufficiente	Buono	Sufficiente	Buono
4.47	Da Rio Fiume a Pratica di Mare	Sufficiente	Buono	Elevato	Elevato
4.50	Da Pratica di Mare a Rio Torto	Buono	Buono	Elevato	Elevato
4.53	Da Rio Torto a Lido dei Pini	Buono	Buono	Elevato	Elevato
4.56	Da Lido dei Pini a Grotte di Nerone	Buono	Sufficiente	Elevato	Elevato

Tab. 5 Classi di qualità ambientale diodi st attraverso il calcolo dell'indice trofico TRIX e dell'indice Chla per gli anni 2018 e 2019 nelle aree marine ricadenti all'interno dell'area oggetto di studio

3.2 QUALITA' DELLE ACQUE DI BALNEAZIONE

Al fine di identificare le aree costiere maggiormente soggette all'insorgenza di fenomeni di inquinamento microbiologico, è stato preso in esame il dataset raccolto da ARPA Lazio e disponibile sul sito istituzionale, focalizzando l'attenzione sull'andamento temporale della concentrazione di *Escherichia coli* nel corso dell'anno 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento ricadenti all'interno dell'area oggetto di studio.

Comune di Santa Marinella

Di seguito si riporta la mappa delle aree di balneazione monitorate da ARPA Lazio lungo le coste del Comune di Santa Marinella (Fig.52).



Fig. 52 Mappa delle aree di balneazione del Comune di Santa Marinella

L'andamento delle concentrazioni di *E.coli* rilevate durante la stagione balneare 2019 (Fig.53) nelle stazioni di campionamento, monitorate da ARPA Lazio ricadenti nell'area oggetto di indagine, mostra il verificarsi di eventi di superamento del limite di 500 cfu/100ml per singolo campione in corrispondenza delle stazioni 312 e 44 in prossimità del Fosso Castel Secco e del Fosso Quartaccio (punto Colonna Pio X), in data 23/04/2019, e nella stazione 43, posizionata a 250 metri a sinistra del Fosso Quartaccio, in data 23/09/2019.

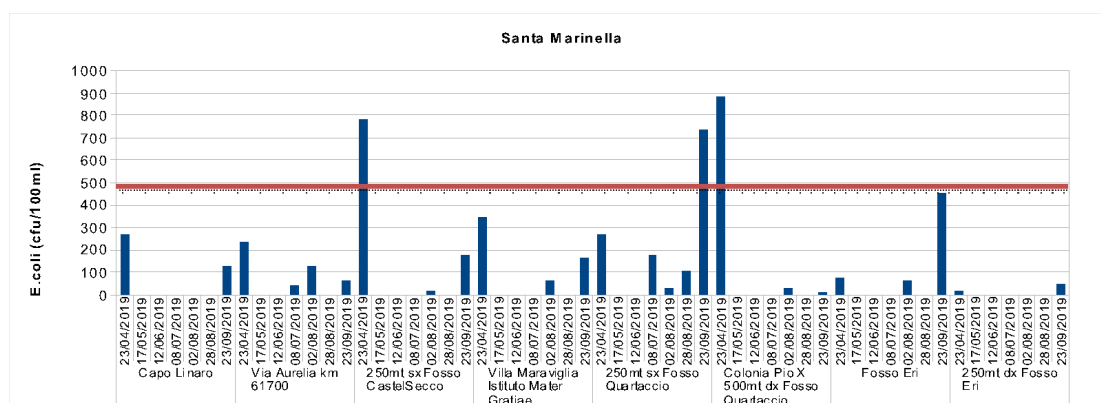


Fig. 53 Concentrazione di *E.coli* durante la stagione balneare 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento di Santa Marinella. La linea rossa indica il valore limite di legge per singolo campione

La classificazione delle acque di balneazione riferita alle analisi effettuate nei 4 anni precedenti e riportata in tabella 6, assegna a tutti i punti di campionamento la classe di ECCELLENTE.

Codice Punto	Descrizione	Codice Punto Europeo	Classificazione Acque
35	50 m. dx Fosso Cupo	IT012058097001	eccellente
36	250 m. sx Fosso delle Guardiole	IT012058097002	eccellente
38	Capo Linaro	IT012058097A003	eccellente
40	Via Aurelia km 61,700	IT012058097A004	eccellente
312	250 m. sx Fosso Castel Secco	IT012058097A005	eccellente
42	Villa Maraviglia Istituto Mater Gratiae	IT012058097A006	eccellente
43	250 m. sx Fosso Quartaccio	IT012058097A007	eccellente
44	Colinia Pio X - 500 m. dx Fosso Quartaccio	IT012058097A008	eccellente
323	Fosso Eri	IT012058097A009	eccellente
306	250 m. dx Fosso Eri	IT012058097A010	eccellente

Tab. 6. Classificazione delle acque di balneazione del Comune di Santa Marinella

Comune di Cerveteri

Di seguito si riporta la mappa delle aree di balneazione monitorate da ARPA Lazio lungo le coste del Comune di Cerveteri (Fig.54).



Fig. 54 Mappa delle aree di balneazione del Comune di Cerveteri

L'abbondanza di *E.coli* rilevata durante la stagione balneare 2019 (Fig.55) mostra il verificarsi di 3 eventi di superamento del limite di 500 cfu/100ml per singolo campione in corrispondenza della stazione in prossimità del Fosso Zambra, nei giorni 10/05/2019, 01/07/2019 e 26/07/2019.

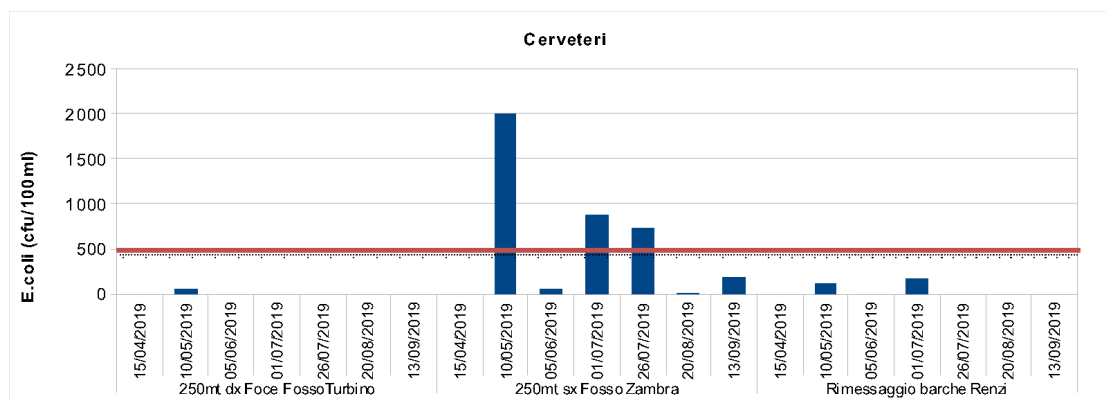


Fig.55 Concentrazione di *E.coli* durante la stagione balneare 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento di Cerveteri. La linea rossa indica il valore limite di legge per singolo campione.

La classificazione delle acque di balneazione, riferita alle analisi effettuate nei 4 anni precedenti e riportata in tabella 7, assegna la classe di ECCELLENTE ai punti 307 e 50 (in prossimità del Fosso Turbino e Rimessaggio Renzi) e di SUFFICIENTE al punto 48 (in prossimità del Fosso Zambra).

Codice Punto	Descrizione	Codice Punto Europeo	Classificazione Acque
307	250 m. dx Fosso Turbino	IT012058029004	eccellente
48	250 m. sx Fosso Zambra	IT012058029001	sufficiente
50	Rimessaggio barche Renzi	IT012058029A003	eccellente

Tab. 7 Classificazione delle acque di balneazione del Comune di Cerveteri

Comune di Ladispoli

Di seguito si riporta la mappa delle aree di balneazione monitorate da ARPA Lazio lungo le coste del Comune di Ladispoli (Fig.56).



Fig. 56 Mappa delle aree di balneazione del Comune di Ladispoli

Le concentrazioni di *E.coli* rilevate lungo le coste del Comune di Cerveteri durante la stagione balneare 2019 sono risultate tutte al di sotto del limite di legge (Fig.57). Non si evidenziano, pertanto, in quest'area, criticità dovute al verificarsi di eventi di inquinamento microbiologico.

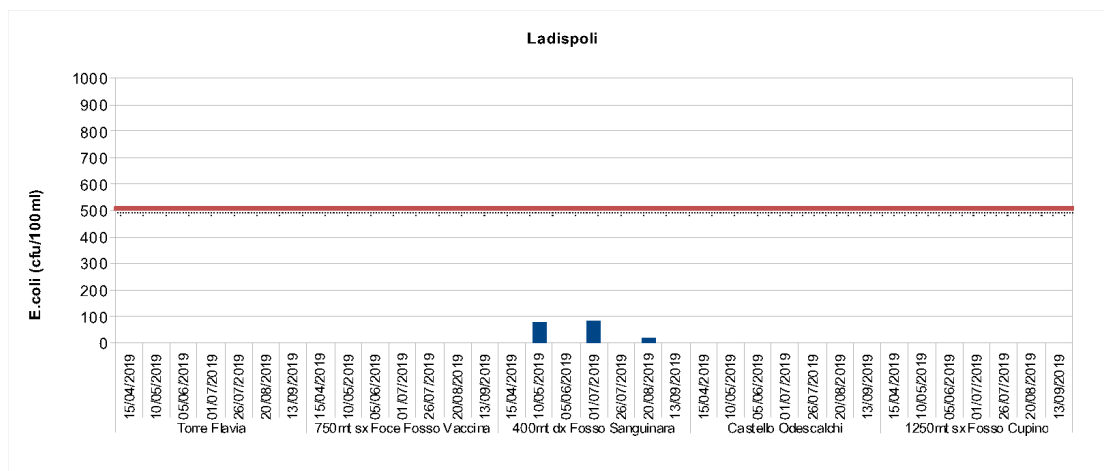


Fig. 57 Concentrazione di *E.coli* durante la stagione balneare 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento di Ladispoli. La linea rossa indica il valore limite di legge per singolo campione.

Le stazioni monitorate nel 2019 appartengono tutte alla classe ECCELLENTE, ad eccezione della stazione 262 localizzata in prossimità del Fosso Vaccina (tab.8).

Codice Punto	Descrizione	Codice Punto Europeo	Classificazione Acque
313	Torre Flavia	IT012058116007	eccellente
262	750 m. sx Fosso Vaccina	IT012058116A002	buona
55	400 m. dx Fosso Sanguinara	IT012058116A003	eccellente
56	Castello Odescalchi	IT012058116003	eccellente
57	1250 m. sx Fosso Cupino	IT012058116004	eccellente

Tab. 8 Classificazione delle acque di balneazione del Comune di Ladispoli

Comune di Fiumicino

Di seguito si riporta la mappa delle aree di balneazione monitorate da ARPA Lazio lungo le coste del Comune di Fiumicino (Fig.58).

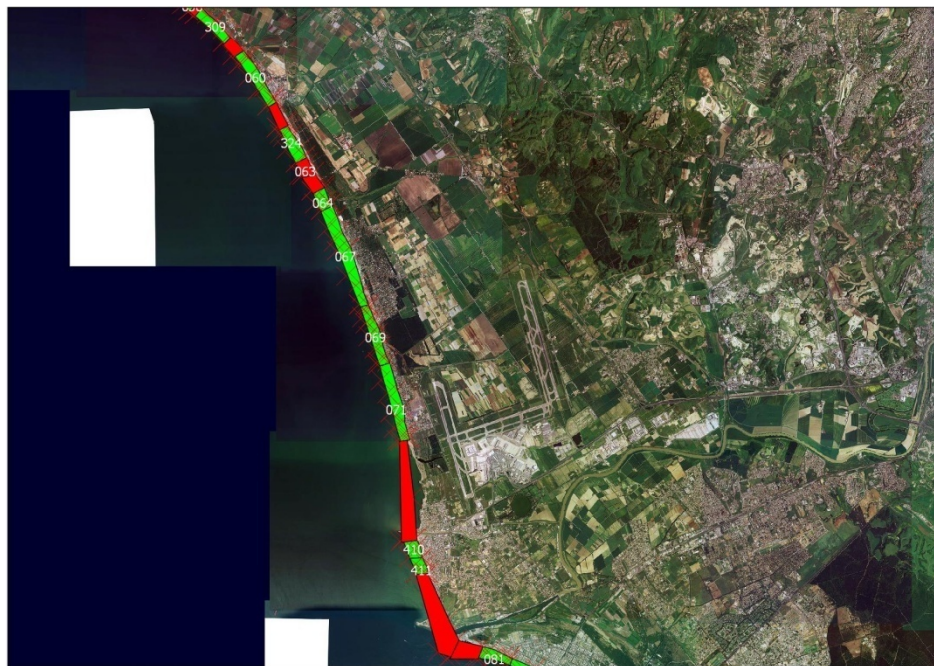


Fig. 58 Mappa delle aree di balneazione del Comune di Fiumicino

L'andamento temporale delle concentrazioni di E.coli rilevate durante la stagione balneare 2019 evidenzia valori superiori al limite di 500 cfu/100 ml per singolo campione in corrispondenza delle stazioni prossime al Fiume Arrone ed al Collettore Acque Alte e Basse (Fig.59). In particolare, il mese di aprile è quello caratterizzato dai massimi superamenti nelle 5 stazioni sopra indicate.

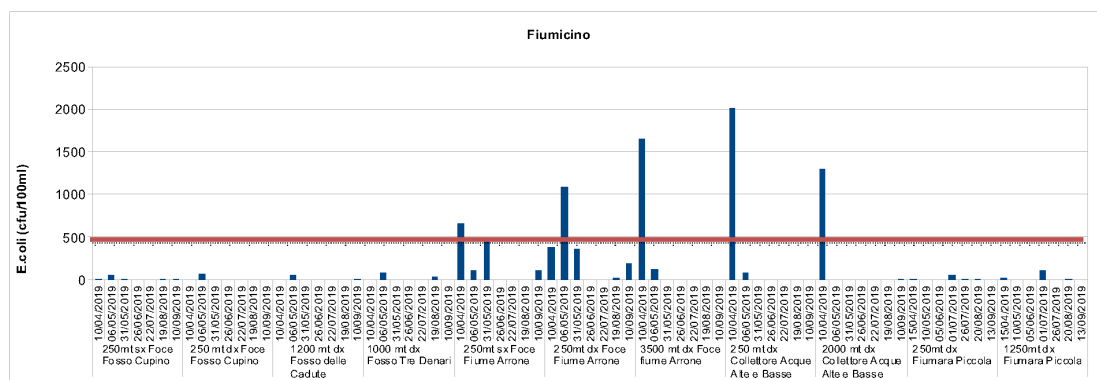


Fig. 59 Concentrazione di *E.coli* durante la stagione balneare 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento di Fiumicino. La linea rossa indica il valore limite di legge per singolo campione

La classificazione delle acque di balneazione effettuata da Arpa Lazio mette in luce la presenza di aree balneari di qualità SCARSA in corrispondenza delle stazioni 64 e 65, posizionate a destra e a sinistra della foce del Fiume Arrone. Si segnala una qualità BUONA delle acque del punto di prelievo in corrispondenza del Fosso Cupino (stazione 309) ed ECCELLENTE per le restanti stazioni monitorate (tab.9).

Codice Punto	Descrizione	Codice Punto Europeo	Classificazione Acque
58	250 m. sx Fosso Cupino	IT012058120001	eccellente
309	250 m. dx Fosso Cupino	IT012058120A011	buona
60	1200 m. dx Fosso delle Cadute	IT012058120A012	eccellente
324	1000 m. dx Fosso Tre Denari	IT012058120A013	eccellente
63	250 m. sx Fiume Arrone	IT012058120005	scarsa
64	250 m. dx Fiume Arrone	IT012058120006	scarsa
67	3500 m. dx Fiume Arrone	IT012058120A018	eccellente
69	250 m. dx Collettore Acque Alte e Basse	IT012058120A007	eccellente
71	2000 m. dx Collettore Acque Alte e Basse	IT012058120A008	eccellente
410	250 m. dx Fiumara Piccola	IT012058120017	eccellente
411	1250 m. dx Fiumara Piccola	IT012058120018	eccellente

Tab. 9 Classificazione delle acque di balneazione del Comune di Fiumicino

Comune di Roma

Di seguito si riporta la mappa delle aree di balneazione monitorate da ARPA Lazio lungo le coste del Comune di Roma (Fig.60).



Fig. 60 Mappa delle aree di balneazione del Comune di Roma

Il grafico di fig. 61 mostra valori di concentrazione di *E.coli* al di sotto di 100 cfu/100 ml in tutti i punti di campionamento, ad eccezione dei prelievi di maggio e giugno 2019 nella stazione posta in prossimità del Canale di Pantanello (659 e 453 cfu/100ml, rispettivamente).

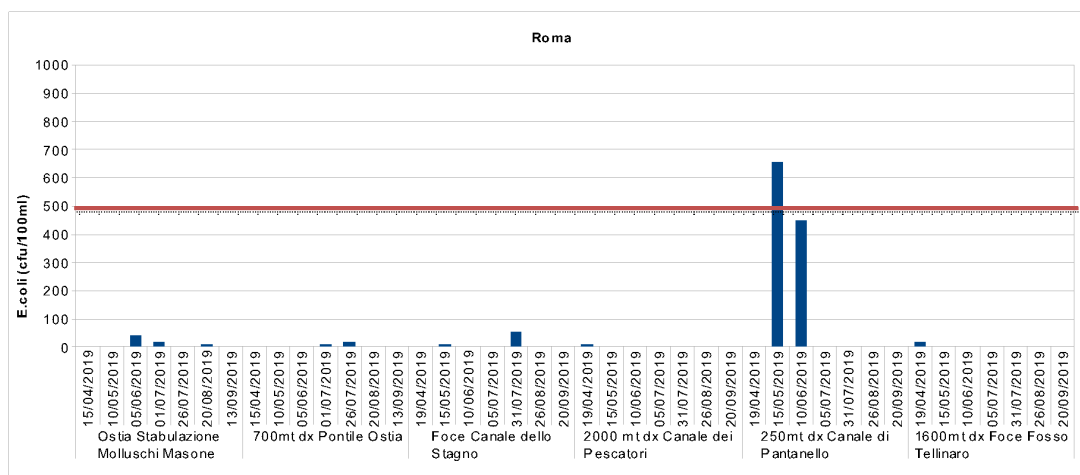


Fig. 61 Concentrazione di *E.coli* durante la stagione balneare 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento di Roma. La linea rossa indica il valore limite di legge per singolo campione

Le stazioni monitorate da ARPA Lazio presentano una qualità delle acque ECCELLENTE, ad eccezione dei punti 81 e 90 posti in corrispondenza dell'impianto di stabulazione di molluschi Masone e del canale di Pantanello, dove la qualità delle acque, valutata tenendo conto dei dati acquisiti 4 anni precedenti, è risultata BUONA.

Codice Punto	Descrizione	Codice Punto Europeo	Classificazione Acque
81	Ostia Stabulazione Molluschi Masone	IT012058091004	buona
83	700 m. dx Pontile Ostia	IT012058091A002	eccellente
416	Canale dello Stagno	IT012058091013	eccellente
86	2000 m. dx Canale dello Stagno	IT012058091A004	eccellente
90	250 m. dx Canale di Pantanello	IT012058091009	buona
92	1600 m. dx Fosso Tellinaro	IT012058091A006	eccellente

Tab. 10 Classificazione delle acque di balneazione del Comune di Roma

Comune di Pomezia

Di seguito si riporta la mappa delle aree di balneazione monitorate da ARPA Lazio lungo le coste del Comune di Pomezia (Fig.62).



Fig. 62 Mappa delle aree di balneazione del Comune di Pomezia

Le abbondanze di *E.coli* rilevate durante la stagione balneare 2019 lungo le coste del Comune di Pomezia sono risultate particolarmente elevate in corrispondenza delle stazioni poste in prossimità della foce del Fosso Crocetta, del Fosso Orfeo e del Fosso Rio Torto (Fig.63). In particolare, i prelievi per i quali si evidenzia il superamento del limite di 500 cfu/100ml per singolo campione sono quelli effettuati 15/05/2019 (Fosso Crocetta) e 29/07/2019 (Fosso Orfeo e Fosso Rio Torto).

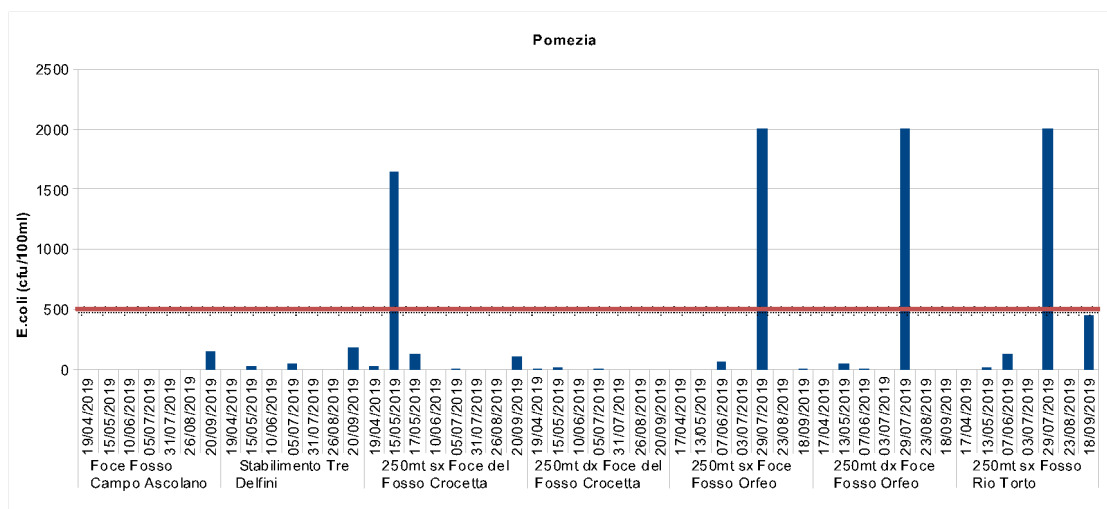


Fig. 63 Concentrazione di *E.coli* durante la stagione balneare 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento di Pomezia. La linea rossa indica il valore limite di legge per singolo campione

La classificazione delle acque di balneazione riferita alle analisi effettuate nei 4 anni precedenti e riportata in tabella 11, assegna a tutti i punti di campionamento la classe di BUONA, ad eccezione delle aree in prossimità del Fosso Campo Ascolano e dello Stabilimento Tre Delfini, dove la classe di qualità raggiunta è ECCELLENTE.

Codice Punto	Descrizione	Codice Punto Europeo	Classificazione Acque
417	Fosso Campo Ascolano	IT012058079A001	eccellente
408	Stabilimento Tre Delfini	IT012058079A002	eccellente
99	250 m. sx Fosso Crocetta	IT012058079003	buona
317	250 m. dx Fosso Crocetta	IT012058079008	buona
102	250 m. sx Fosso Orfeo	IT012058079004	buona
103	250 m. dx Fosso Orfeo	IT012058079005	buona
105	250 m. sx Fosso Rio Torto	IT012058079006	buona

Tab. 11 Classificazione delle acque di balneazione del Comune di Pomezia

Comune di Ardea

Di seguito si riporta la mappa delle aree di balneazione monitorate da ARPA Lazio lungo le coste del Comune di Ardea (Fig.64).



Fig. 64 Mappa delle aree di balneazione del Comune di Ardea

Il grafico di figura 65 mostra valori di concentrazione di *E.coli* generalmente elevati in tutti i punti di campionamento, evidenziando il superamento del limite di 500 cfu/100 ml per singolo campione per il prelievo effettuato a maggio (13/05/2019) e a luglio (29/07/2019). Nel mese di giugno si segnala un ulteriore superamento del limite in corrispondenza dei punti di campionamento posizionati in prossimità di Rio Grande (250 mt a destra) e Canale Biffi (250 mt a sinistra).

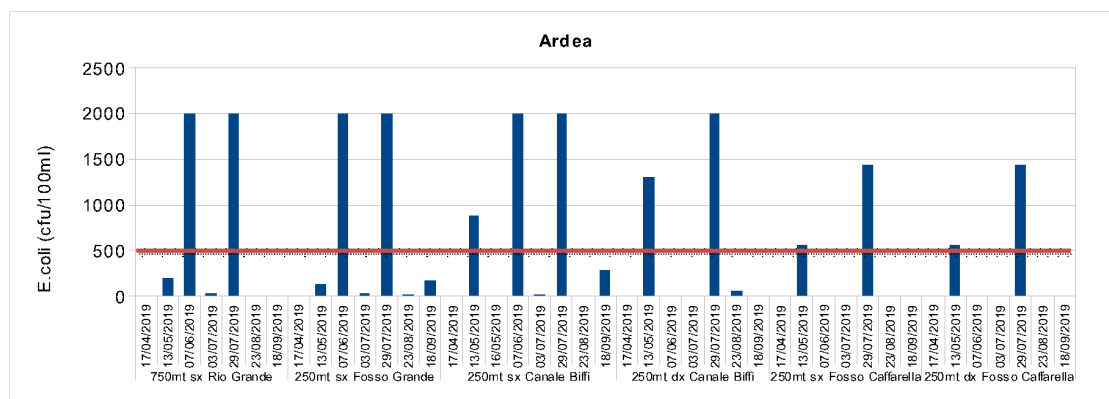


Fig. 65 Concentrazione di *E.coli* durante la stagione balneare 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento di Ardea. La linea rossa indica il valore limite di legge per singolo campione

Di seguito si riporta la tabella 12 con le classi di qualità assegnate alle acque monitorate. La stazione posta in corrispondenza del Rio Grande (250 mt a sinistra, 318) presenta una qualità SCARSA, seguita dalla stazione 108 posta a 250 mt a sinistra dello stesso, con qualità SUFFICIENTE. Le stazioni in prossimità del Canale di Biffi e a sinistra del Fosso Carraffella presentano una qualità BUONA, mentre la stazione 270, localizzata a destra dello stesso, è caratterizzata da una qualità ECCELLENTE.

Codice Punto	Descrizione	Codice Punto Europeo	Classificazione Acque
299	250 m. dx Foce Rio Torto	IT012058117008	
108	750 m. sx Rio Grande	IT012058117001	sufficiente
318	250 m. sx Rio Grande	IT012058117009	scarsa
268	250 m. dx Fosso Moletta	IT012058117005	
269	250 m. sx Canale Biffi	IT012058117006	buona
319	250 m. dx Canale Biffi	IT012058117A006	buona
115	250 m. sx Fosso Caffarella	IT012058117A007	buona
270	250 m. dx Fosso Caffarella	IT012058117007	eccellente

Tab. 12 Classificazione delle acque di balneazione del Comune di Ardea

Comune di Anzio

Di seguito si riporta la mappa delle aree di balneazione monitorate da ARPA Lazio lungo le coste del Comune di Anzio (Fig.66).



Fig. 66 Mappa delle aree di balneazione del Comune di Anzio

L'abbondanza di *E.coli* rilevata durante la stagione balneare 2019 (Fig.67) mostra il verificarsi di 1 evento di superamento del limite di 500 cfu/100ml per singolo campione, in corrispondenza della stazione in prossimità del punto posto in località Colonia Marina, in data 29/05/2019.

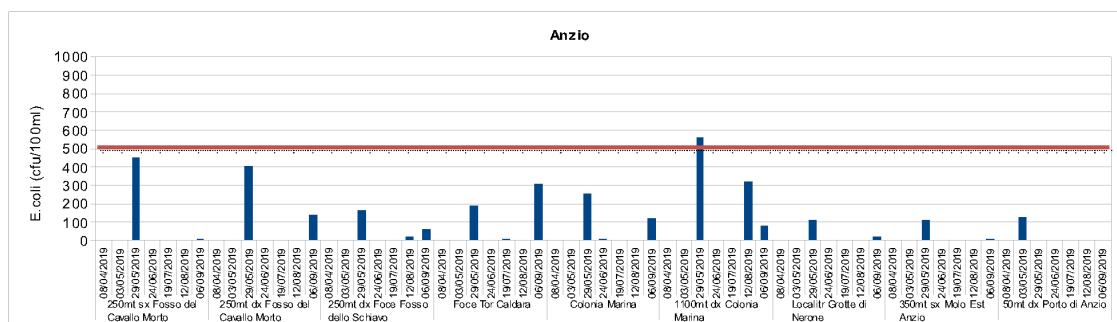


Fig. 67 Concentrazione di *E.coli* durante la stagione balneare 2019 in corrispondenza delle stazioni di campionamento di Anzio. La linea rossa indica il valore limite di legge per singolo campione

La classificazione delle acque di balneazione, riferita alle analisi effettuate nei 4 anni precedenti e riportata in tabella 13, assegna la classe di ECCELLENTE a tutti i punti di prelievo monitorati da ARPA Lazio, nelle aree situate all'interno del comune di Anzio.

Codice Punto	Descrizione	Codice Punto Europeo	Classificazione Acque
119	250 m. sx Fosso del Cavallo Morto	IT012058007A001	eccellente
120	250 m. dx Fosso del Cavallo Morto	IT012058007A002	eccellente
274	250 m. dx Fosso dello Schiavo	IT012058007A003	eccellente
326	Foce Tor Caldara	IT012058007A004	eccellente
125	Colonia Marina	IT012058007003	eccellente
126	1100 m. dx Colonia Marina	IT012058007004	eccellente
127	Loc. Grotta di Nerone	IT012058007005	eccellente
128	350 m. sx Molo Est Anzio	IT012058007006	eccellente
130	50 m. dx Porto di Anzio	IT012058007007	eccellente

Tab. 13 Classificazione delle acque di balneazione del Comune di Anzio

3.3 MORFOLOGIA, SEDIMENTOLOGIA E IDROLOGIA

E' stata effettuata una rassegna della letteratura presente per l'area dell'unità fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio, al fine di raccogliere gli studi e i dati utili alla descrizione generale delle caratteristiche geomorfologiche, sedimentologiche, idrologiche e della contaminazione, al fine di identificare “a priori” le potenziali aree sensibili agli impatti per la costruzione del Porto di Fiumicino.

Come riferimento principale tra gli studi effettuati nel corso degli anni nell'area di interesse, è stato utilizzato il volume “Il Mare del Lazio” che rappresenta il più ampio compendio di studi di oceanografia fisica e chimica, biologia, geologia marina, clima meteomarinario e dinamica dei sedimenti e apporti continentali per l'area marina della Regione Lazio e che si basa su attività di ricerca svolte tra il 1989 e il 1990. Tali ricerche sono state integrate attraverso analisi della bibliografia più recente ove disponibile.

3.3.1 Caratteristiche geomorfologiche della piattaforma

L'unità fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio è costituita da due sub-unità costiere comprese a nord tra Capo Linaro e la foce del fiume Tevere e a sud tra la foce del fiume Tevere e Capo Anzio. L'unità fisiografica è caratterizzata dalla presenza, nell'area centrale, del delta del Tevere, che rappresenta l'elemento più importante sia dal punto di vista della dinamica litoranea che dal punto di vista morfologico.

La piattaforma continentale della sub-unità a nord del Tevere è caratterizzata dalla presenza di diverse secche mentre la piattaforma della sub-unità a sud fino a Capo Anzio presenta uno sviluppo più ampio. Studi sismostratigrafici effettuati tra il 1989 e il 1990 (Chiocci e La Monica 1996) hanno evidenziato l'asimmetria della struttura deltizia del Tevere che presenta uno sviluppo minore per l'area a sud del delta a testimonianza della deflessione del pennacchio fluviale e del trasporto solido associato in accordo con lo



scorrimento preferenziale verso settentrione delle correnti marine. Lo studio sismostratigrafico di Chiocci e La Monica ha inoltre permesso l'analisi della distribuzione degli spessori delle coltri sedimentarie superficiali. Si evidenzia al riguardo la presenza di una grande lente deposizionale di forma asimmetrica e direzione NO-SE con depocentro in prossimità di Capo Linaro in corrispondenza dell'isobata dei 50 m e spessore massimo di circa 40 m (Chiocci e La Monica, 1996) che dal punto di vista dell'analisi della dinamica litoranea dell'unità fisiografica sembra indicare una effettiva influenza del materiale fine proveniente dalla foce del Tevere fino all'area di Capo Linaro. L'area tra Capo Linaro e Ladispoli è caratterizzata sia dalla presenza di affioramenti litoidi di "Pietraforte" sia da alti morfologici di depositi pleistocenici. In corrispondenza di Ladispoli è presente una seconda lente deposizionale con orientamento identico alla precedente e spessore più modesto (circa 24 m.) che si assottiglia verso sud. L'area del delta del Tevere è caratterizzata da coltri sedimentarie recenti che mostrano gli spessori più elevati di tutta la piattaforma continentale regionale (48 m.) con una struttura della conoide tiberina fortemente asimmetrica e minore sviluppo per la parte meridionale della sub-unità di riferimento. A sud della foce del Tevere i depositi fluviali sono separati dal cuneo da due aree a spessori modesti ubicate in corrispondenza di depositi pleistocenici sepolti (Chiocci e La Monica, 1996).

3.3.2 Morfotipi costieri e spiagge

La descrizione generale della morfologia dei litorali dell'Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio è basata sulla classificazione morfologica dei litorali italiani (Anselmi et al. 1979, Marcelli et al. 2008) in cui si identificano 6 morfotipi fondamentali per le coste (Fig.68).



Fig.68 Classificazione morfologica dei litorali italiani (Marcelli et al. 2008)

L'unità fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio è caratterizzata dalla presenza del morfotipo “terrazzi” nell'area di Capo Linaro e del morfotipo “Pianura Alluvionale” a sud fino all'area deltizia del Tevere. La sub-unità meridionale fino a Capo Anzio è invece caratterizzata dalla successione delle suddette pianure alluvionali intervallate da morfotipi “Pianura di dune” e dal morfotipo “Rilievi Montuosi” in corrispondenza di Capo Anzio.

L'area della sub-unità Capo Linaro – foce del Tevere presenta uno sviluppo di circa 54 km con forma ad arco, ondulato nella parte settentrionale per la presenza di aggetti costieri (La Monica e Raffi, 1996) che corrispondono al morfotipo “Terrazzi”. La presenza dei terrazzi va gradualmente esaurendosi a sud di Santa Severa con la comparsa di litorali prevalentemente sabbiosi alternati alla presenza di diverse cuspidi (Macchiatonda, Torre



Flavia, Palo) (La Monica e Raffi 1996). Dall'area del litorale di Ladispoli alla foce del Tevere la morfologia costiera è dominata dagli apporti fluviali con presenza di litorali rettilinei e sabbiosi corrispondenti all'ala destra del delta (La Monica e Raffi, 1996). In questo settore i morfotipi "Pianure di dune" appaiono discontinui anche per l'interferenza dell'antropizzazione costiera. La morfologia di spiaggia sommersa segue l'andamento della fascia costiera per cui si riscontrano fondali rocciosi in corrispondenza sia dei morfotipi a terrazzi sia in corrispondenza delle cuspidi di Macchiatonda, Torre Flavia e Palo.

La sub-unità meridionale dalla foce del Tevere a Capo Anzio presenta uno sviluppo di circa 49 km con costa rettilinea e cordoni dunali presenti in corrispondenza della tenuta presidenziale di Castel Porziano (La Monica e Raffi, 1996). Si segnala in questo settore la profonda influenza dell'antropizzazione costiera che in diversi punti ha determinato lo spianamento dei cordoni dunali. In corrispondenza di Capo Anzio è presente una falesia arenaceo calcarenitica con quote comprese tra i 10 e i 20 m. s.l.m (La Monica e Raffi, 1996) descritti dal morfotipo "Rilievi Montuosi" (Fig.68).

La morfologia della spiaggia sommersa di questa sub-unità è dominata dagli apporti solidi tiberini data la presenza di bacini idrografici minori di modeste dimensioni. La topografia sottomarina appare uniforme con presenza di barre attorno alla batimetria dei 5 m. che risultano tuttavia discontinue a causa delle numerose opere di difesa costiera presenti (La Monica e Raffi, 1996). In questo settore sono presenti le Secche di Tor Paterno costituite da biocostruzioni di organismi bentonici che interrompono la continuità longitudinale dei fondali (La Monica e Raffi, 1996).

3.3.3 Caratteristiche fisiche dei sedimenti costieri

Per quanto riguarda le informazioni esistenti sulle caratteristiche sedimentologiche dei fondali compresi tra Capo Linaro e Capo Anzio è utile partire dallo studio condotto da La Monica e Raffi (1996) e riportato all'interno del volume "Il Mare del Lazio".

Gli autori descrivono i risultati delle campagne oceanografiche condotte tra il 1989 ed il 1990 durante le quali sono state indagate le caratteristiche tessiturali dei sedimenti recenti ed attuali del Mare del Lazio. In particolare, la ricerca si è articolata secondo due dinamiche distinte: lo studio della distribuzione del sedimento sui fondali nella fascia compresa tra la battigia e -50m e la caratterizzazione litosedimentologica dei sedimenti più superficiali del sottofondo marino. Nel suddetto studio, la costa Laziale viene divisa in settori ed il tratto di costa Capo Linaro – Capo Anzio comprende il secondo settore (Capo Linaro – foce del Fiume Tevere) ed il terzo settore (foce del Fiume Tevere – Capo Anzio). Lo studio delle caratteristiche tessiturali dei sedimenti è stato condotto mediante analisi granulometriche con intervalli di classe di $\frac{1}{2}$ phi e facendo uso del metodo grafico descritto di Folk e Ward (1957) mediante il quale è stato possibile calcolare indici statistici sintetici. Tra tutti gli indici, al fine di evidenziare meglio le variazioni nella granulometria media, è stato preso particolarmente in considerazione "Mz".

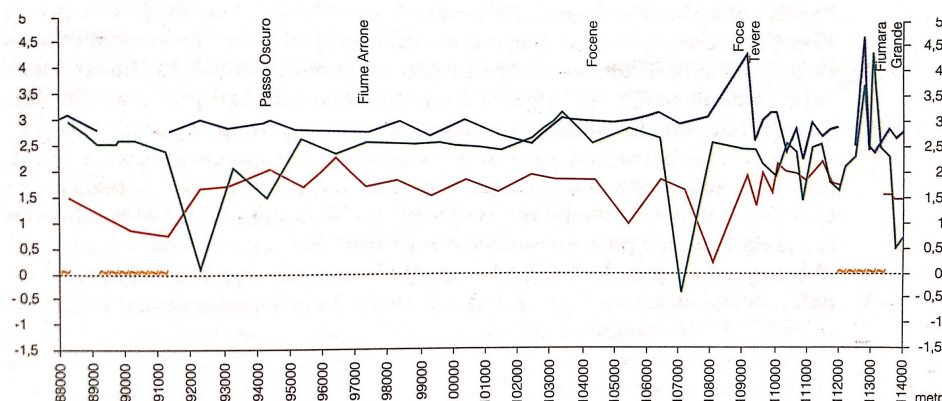


Fig. 69 Variazione di Mz dei sedimenti campionati nel tratto di mare compreso tra Palo e Fiumara Grande. L'immagine è tratta dal libro "Il mare del Lazio" (La Monica e Raffi, 1996).

Per quanto riguarda i fondali compresi tra la battigia fino a -10m, tra Capo Linaro e Palo (Ladispoli), le variazioni di Mz procedono di pari passo alle variazioni morfologiche dei fondali, in questa zona prevalentemente rocciosi. Per questo motivo, i dati descritti dagli autori sono discontinui con frequenti lacune riguardanti l'area di battigia. In generale, le sabbie oscillano tra -0.7 e 4 phi. Tra Macchiatonda e Ladispoli il sedimento si arricchisce nelle granulometrie più fini (siltose). I fondali tra Passo Scuro e Focene mostrano invece una graduale diminuzione del diametro medio nell'area di battigia e un Mz nel campo delle sabbie fini tra i -5 m e i -10 m di profondità. Le aree prossime al fiume Tevere mostrano una granulometria molto variabile (tra -0.4 phi e +4.7 phi) dovuta all'interazione tra l'apporto solido del fiume Tevere ed il moto ondoso (Bellotti et al., 1993). Tra Tor Paterno e Capo D'Anzio il diametro medio dei sedimenti di battigia è compreso tra le sabbie medie e le sabbie medie fini, mentre i fondali attorno ai -10m mostrano la presenza anche di sabbie grossolane.

Spostandosi verso profondità maggiori (dai -10 m fino a -50 m di profondità), i fondali compresi tra Santa Marinella e Ladispoli mostrano l'abbondante presenza di peliti



sabbiose. La mancanza di sedimenti a componente sabbiosa rilevante in questa area è essenzialmente dovuta alla mancanza di apporti solidi continentali importanti. Sedimenti ad elevata componente sabbiosa iniziano a presentarsi a Sud-Est di Palo dove inizia a farsi sentire l'influenza degli apporti fluviali. Tra Palo e Torvaianica l'influenza degli apporti fluviali del Tevere è dimostrata dalla presenza di tutta la successione delle facies sedimentarie, dalle sabbie pure anche su fondali di -15 m, fino alle peliti pure abbondantemente presenti a profondità maggiori di -50 m e preponderanti e ubiquitarie oltre i -100 m di profondità.

Lo studio condotto da La Monica e Raffi (1996) è l'unico a fornire una caratterizzazione complessiva dei fondali del Lazio. Le ricerche più recenti riguardano invece aree più ristrette ubicate lungo il tratto di costa di interesse di questa rassegna.

Silenzi et al. (2006) hanno effettuato la caratterizzazione dei sedimenti dei fondali antistanti la Tenuta di Castelporziano. I dati sono riferiti all'analisi di campioni di sedimento superficiale prelevati nel 2004 lungo 3 transetti costa-largo, dalla battigia fino alla profondità di -30 m, durante due campagne di campionamento. La frazione grossolana dei sedimenti ($x > 63$ micron) è stata analizzata mediante setacciatura meccanica, mentre la frazione pelitica ($x < 63$ micron) è stata analizzata mediante densimetria. I risultati dello studio confermano la presenza di sabbie nella zona di battigia e a -5 m di profondità, sabbie siltose intorno alla profondità di -15 m, e sedimento classificabile come loam (Shepard, 1954) alla profondità di -30 m.

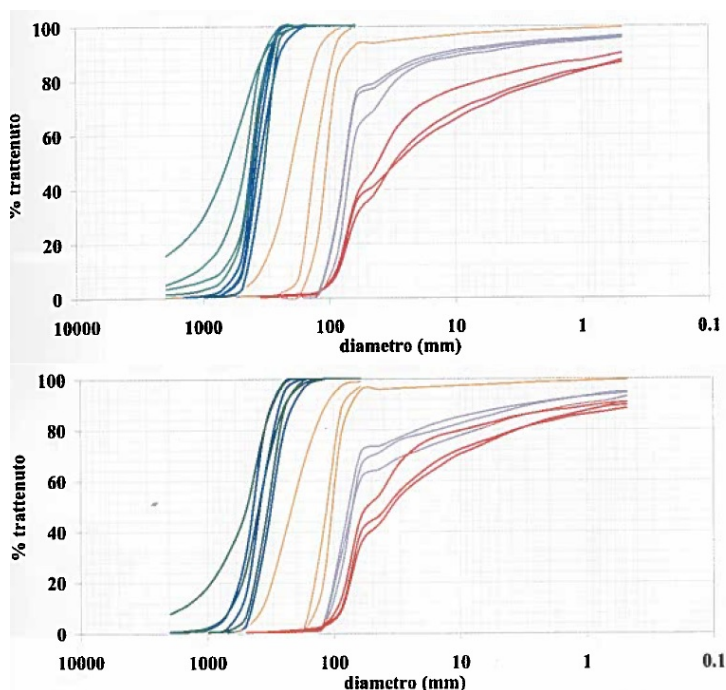


Fig. 70 Curve granulometriche dei sedimenti campionati nei fondali antistanti la Tenuta di Castelporziano. L'immagine è tratta dal lavoro di Silenzi et al. (2006).

Nello studio di Paganelli et al. (2013) è riportata la caratterizzazione dei sedimenti marini campionati in alcune aree del Lazio, tra le quali è presente anche Torvaianica. I sedimenti sono stati campionati durante il 2004. Questa caratterizzazione è stata condotta su finanziamento della Regione Lazio con lo scopo di indagare la presenza di depositi di sabbia relitta di possibile interesse per il ripascimento delle spiagge. Nel dettaglio, nell'area di Torvaianica sono stati campionati sedimenti in 50 stazioni di campionamento distribuite lungo sette transetti e posizionate tra la profondità di -5 m e -155 m. La frazione grossolana dei sedimenti è stata analizzata mediante setacciatura meccanica, mentre la frazione pelitica è stata analizzata mediante sedigrafo a raggi X. I risultati dell'analisi fisica dei sedimenti sono stati elaborati attraverso una cluster analysis dalla quale emergono 9 cluster con caratteristiche granulometriche definite.



Onorati et al. (2013) hanno valutato la qualità dei sedimenti del porto di Fiumicino, situato alla foce del fiume Tevere, mediante l'analisi di trentotto carotaggi effettuati tra il 2007 ed il 2008. All'interno del suddetto studio, i sedimenti vengono classificati in base alle loro caratteristiche fisiche, chimiche ed ecotossicologiche.

3.3.4. Bilancio sedimentario nell'Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio

Il bilancio sedimentario dell'Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio rappresenta un elemento di valutazione fondamentale per la corretta programmazione e gestione di opere costiere, in particolar modo nel caso della progettazione e realizzazione di opere portuali.

Per quanto riguarda la Regione Lazio, sono disponibili i report e le campagne di misura effettuate nell'ambito del progetto “MARitime REgions cooperation for the MEDiterranean” (MAREMED) che ha visto coinvolta, tra gli altri, la Regione Lazio nell'ottica dell'integrazione degli interventi di difesa in una logica di sviluppo sostenibile e tutela ambientale.

Nel dettaglio nel citato progetto è stato realizzato un “Atlante della Dinamica Costiera” che costituisce uno strumento sinottico per valutazioni di natura qualitativa e stime di natura quantitativa basate su osservazioni in situ e trend storici documentati.

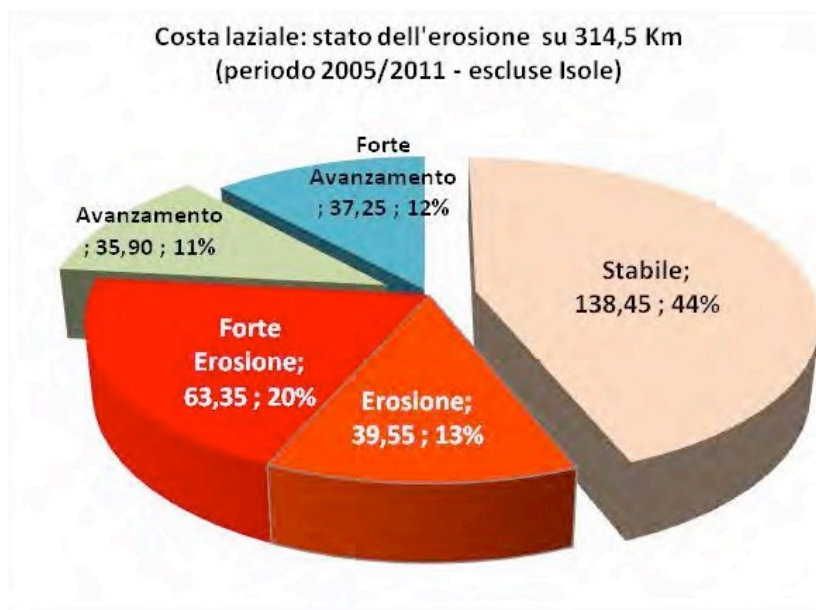


Fig.71. Stato di erosione della costa laziale per il periodo 2005 – 2011 (Progetto MAREMED).

Le stime ottenute (Fig.71) attestano uno stato delle coste laziali caratterizzate per circa un terzo da condizioni di erosione o forte erosione. Per quanto riguarda l'andamento dei processi erosivi (Fig.72 linea rosa) per l'intervallo 1990 – 2005, non considerando i vari interventi di ripascimento, è visibile, per il tratto di costa Capo Linaro – Capo Anzio un trend crescente verso Sud del grado di erosione in atto. Questo trend risulta particolarmente accentuato a partire dalla porzione meridionale del delta del Tevere.

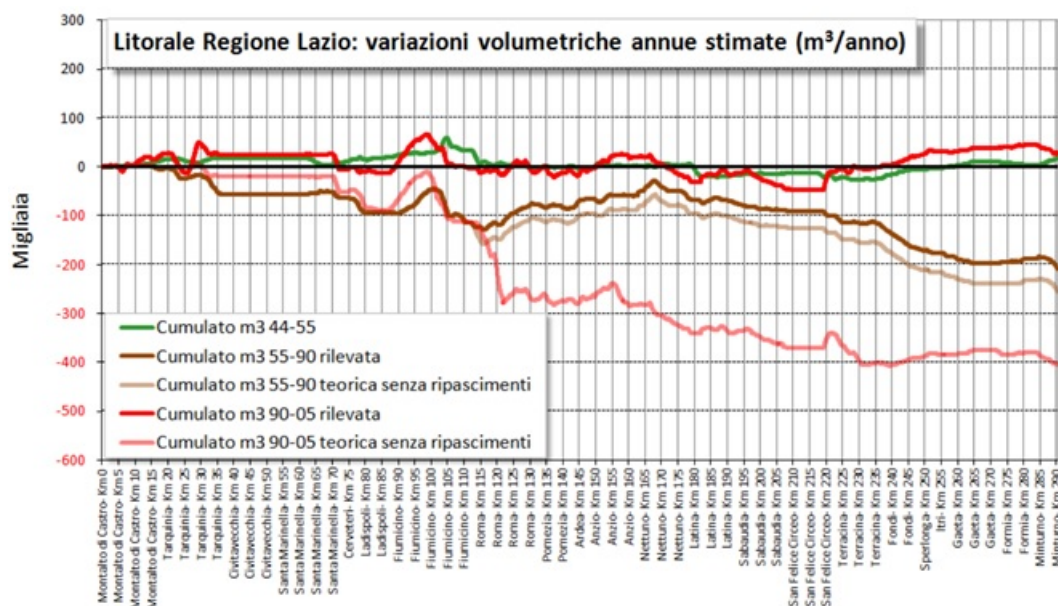


Fig.72. Variazioni volumetriche annue stimate per il litorale della Regione Lazio (Progetto MAREMED)

3.3.5 Morfologia e sedimentologia del delta del Tevere

Per quanto riguarda la morfologia e la sedimentologia dell'area del delta del fiume Tevere, che rappresenta l'elemento caratterizzante tutta l'unità fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio, si è fatto riferimento, come base di confronto, alla ricerca svolta da Bellotti e Tortora negli anni 80' (Bellotti e Tortora, 1985) in cui viene descritta un'indagine batimetrica e sedimentologica della conoide sommersa del Tevere. Le indagini batimetriche sono state eseguite lungo sette transetti perpendicolari alla costa tra Maccarese e Tor Paterno (Fig.73) in un tratto di mare compreso tra l'isobata dei -10 m. e quella dei -150 m., comprendendo sia l'area sommersa di delta che la piattaforma continentale. Il lavoro citato riveste particolare importanza in termini comparativi sia perché nel corso degli anni sono stati eseguiti pochi studi morfologici e sedimentologici

dell'area del conoide sommerso del Tevere sia perché lo schema di campionamento riportato è parzialmente sovrapponibile alle indagini in situ previste nelle attività di Fase Zero per la predisposizione dei modelli numerici di simulazione da utilizzare per lo studio degli effetti del Porto di Fiumicino sulla dinamica litoranea dell'unità fisiografica Capo Linaro – Anzio.

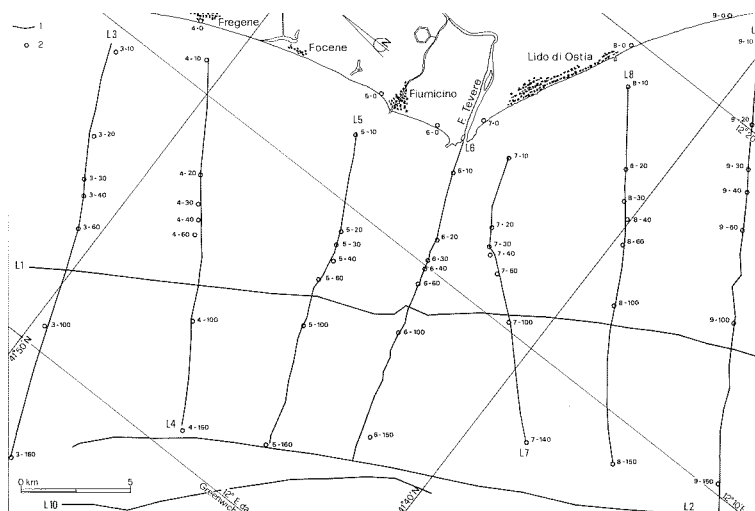


Fig.73 Area di indagine del conoide sommerso del Tevere eseguito da Belotti e Tortora nel 1985 (Belotti e Tortora, 1985).

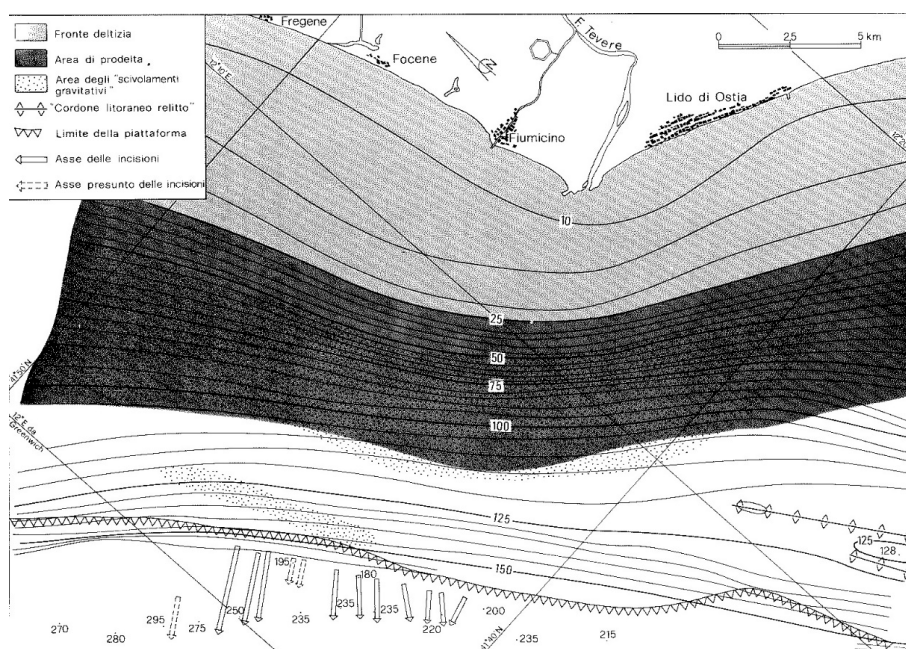


Fig.74 Carta batimetrica e morfologica del conoide sommerso del Tevere (Bellotti e Tortora, 1985).

I risultati della ricerca suddetta attestano che il fronte del delta è caratterizzato da deboli pendenze fino alla batimetrica dei -25 m. (a circa 4 km dalla costa dall'area di Fiumara Grande) derivanti dagli apporti solidi fluviali che sono a jet di galleggiamento di tipo ipopicniale. E' segnalata la presenza di barre in prossimità della foce e assenza di canalizzazioni (Bellotti e Tortora, 1985).

L'area di prodelta (Fig.74) presenta pendenze maggiori e morfologicamente è distinguibile in una parte superiore che arriva fino alla batimetrica dei -75 m., più acclive, e una parte inferiore che è di raccordo con la piattaforma (fino a -110 m. di profondità). Il prodelta è comunque caratterizzato ovunque da profili batimetrici ondulati e da fenomeni di scivolamento gravitativo (Bellotti e Tortora, 1985). Viene inoltre segnalata, nell'area compresa tra Fiumicino e Maccarese, lungo la shelf break, la presenza di diverse incisioni (per un totale di 13) che attraversano il tratto di scarpata continentale. In tutta



l'area del conoide il limite della piattaforma continentale è ubicato in prossimità dell'isobata dei -150 m.

Le indagini batimetriche effettuate da Bellotti e Tortora rivestono, come accennato in precedenza, particolare importanza dal momento che la loro ubicazione è sovrapponibile con il piano di rilievo batimetrico predisposto per la Fase Zero delle attività di indagine per la realizzazione dello stralcio del I° Lotto Funzionale del Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino.

Nel dettaglio i profili ottenuti dallo studio di Bellotti e Tortora (Fig.75), evidenziano transetti batimetrici prossimi alla foce del Tevere abbastanza omogenei tra loro mentre i transetti più esterni risultano caratterizzati da pendenze maggiori e fronte deltizio meno esteso. Si descrive quindi una forma del conoide sommerso leggermente asimmetrica in cui l'ala a nord di Fiumara Grande presenta un'estensione maggiore rispetto all'ala sud a causa della direzione preferenziale del plume deltizio rivolta verso nord che genera un maggior accumulo volumetrico in questo settore.

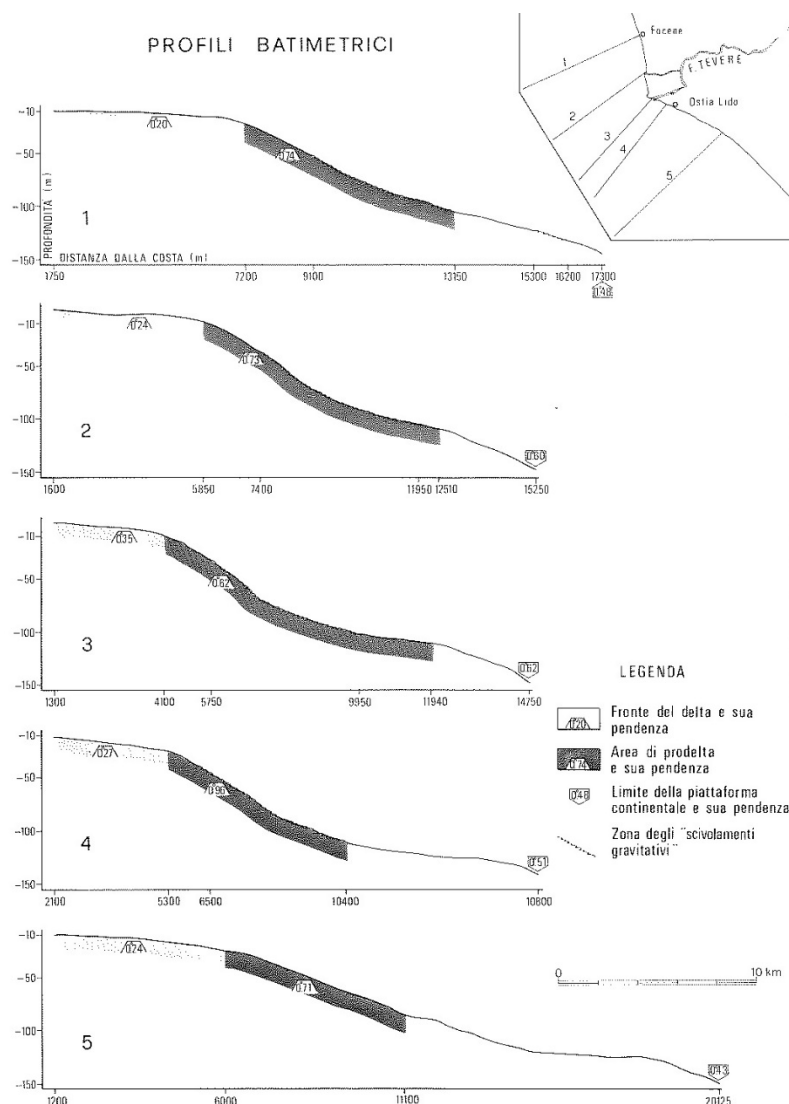


Fig.75 Profili batimetrici della conoide del Tevere indagati negli anni 80' (Bellotti e Tortora, 1985).

Dal punto di vista sedimentologico, il conoide sommerso è stato indagato da Bellotti e Tortora attraverso l'analisi granulometrica di 49 campioni disposti lungo i transetti batimetrici in corrispondenza delle profondità dei -10, -20, -30, -40, -60, -100 e -150 m. (Fig.76). Anche in questo caso esiste una parziale sovrapponibilità tra il piano di

campionamento dello studio di Bellotti e Tortora e le campagne in situ delle attività di indagine per lo stralcio del I° Lotto Funzionale (per le granulometrie nell'area di delta alla batimetrica dei -10 m.).

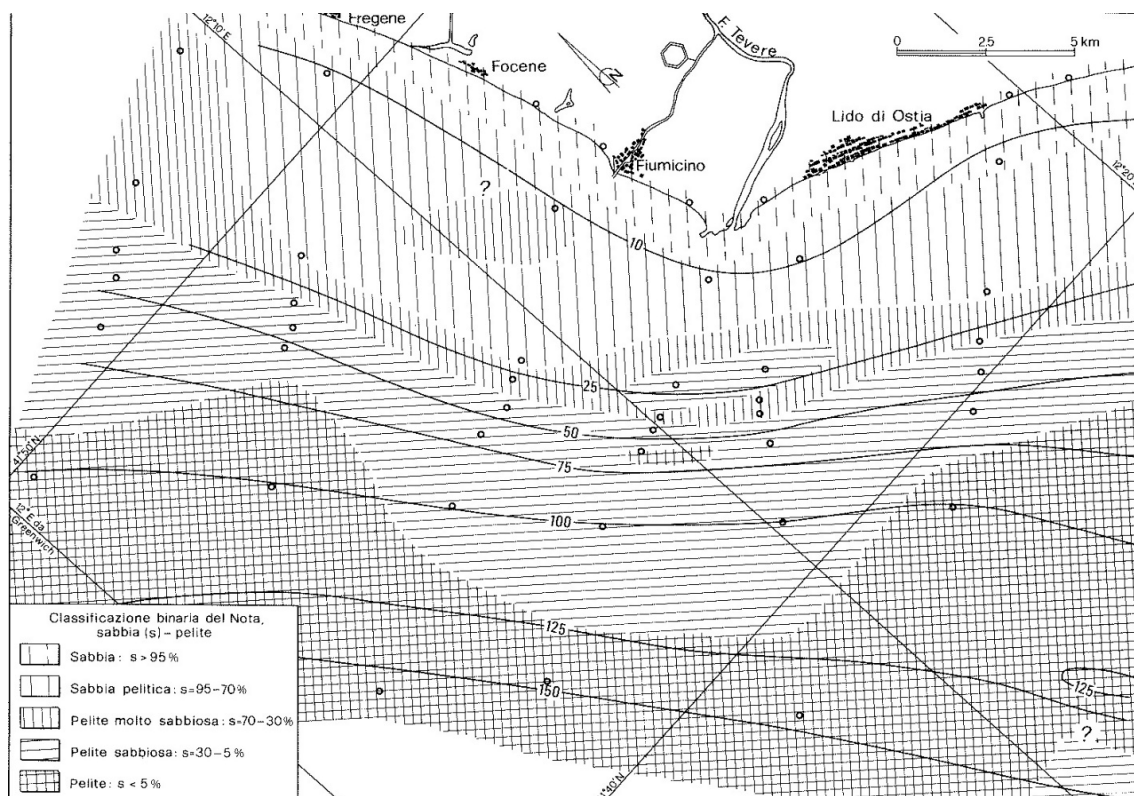


Fig.76 Distribuzione dei sedimenti superficiali nell'area del delta del Tevere (Bellotti e Tortora, 1985).

L'indagine sedimentologica di Bellotti e Tortora evidenzia come nelle zone delle due ali del delta sia presente una certa omogeneità delle granulometrie con tendenza alla gradazione orizzontale dei sedimenti procedendo verso largo (Bellotti e Tortora, 1985). Si evidenziano sabbie e sabbie pelitiche nella zona del fronte del delta fino alla batimetrica dei -20 m., peliti molto sabbiose tra i -20 e i -30 m. di profondità e l'area di

prodelta caratterizzata da peliti sabbiose. La transizione tra peliti sabbiose e peliti è riscontrabile in corrispondenza della batimetrica dei 60 – 70 m. per l'ala meridionale e in corrispondenza dei 70 – 90 m. per l'ala settentrionale a nord. Nel dettaglio l'area antistante Fiumara Grande presenta alcune irregolarità nella distribuzione granulometrica: un accumulo di peliti sabbiose tra i -10 e i -30 m. e un accumulo di peliti in prossimità della batimetrica dei -40 m. Una terza irregolarità è riscontrabile tra i -10 e i -15 m. di profondità in corrispondenza di Fiumara Piccola con accumuli di peliti molto sabbiose. Gli autori indicano come motivo di queste irregolarità granulometriche i fenomeni di flocculazione dei sedimenti fluviali limo-argillosi.

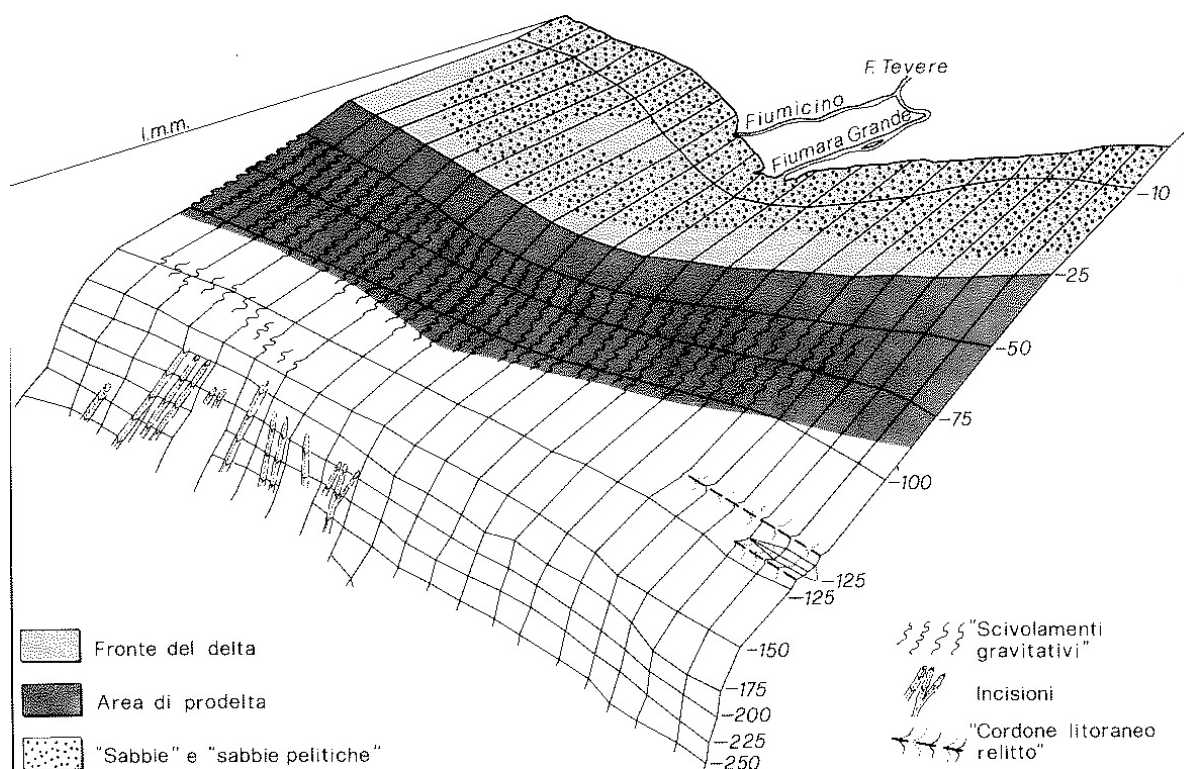


Fig.77 Rappresentazione tridimensionale del conoide del Tevere (Bellotti e Tortora, 1985)

3.3.6 Idrologia del Tevere

Il bacino del Tevere, il più grande bacino dell'Italia centrale, drena un'area di circa 17000 km² distribuita in cinque regioni (Abruzzo, Umbria, Toscana, Marche e Lazio) e sfocia nel Mar Tirreno in prossimità della città di Roma dopo un percorso di circa 400 km. Il fiume ha la sua sorgente nella catena appenninica dal Monte Fumaiolo, a quota 1268 m e dal punto di vista geomorfologico è delimitato ad est dalla dorsale carbonatica dell'Appennino umbro-marchigiano e ad ovest dai rilievi vulcanici tosco-laziali. I principali affluenti sono il sistema fluviale Chiani-Paglia e il Treia a destra e Chiascio-Topino, il Salto-Turano-Velino-Nera e l'Aniene a sinistra (Boni et al. 1996).

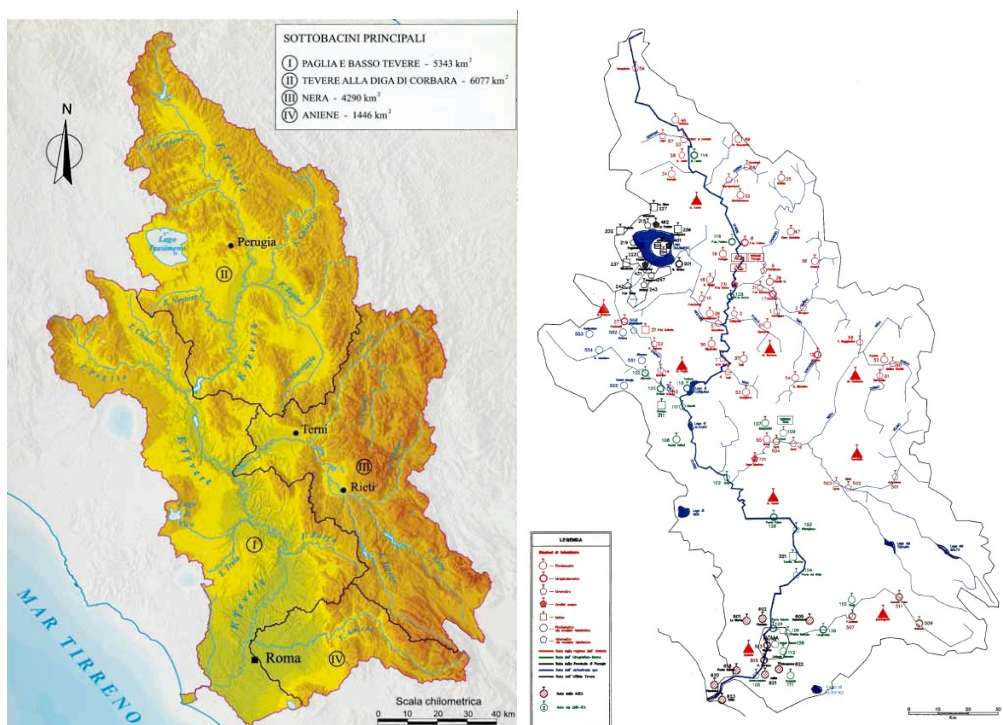


Fig.78 Bacino idrografico del Tevere (sinistra) e carta delle stazioni di telemisura (destra) (Bersani e Bencivenga, 2001; Bencivenga et al. 1995)

Nel bacino del Tevere sono presenti circa 30 grandi dighe e traverse sull'asta principale e su affluenti; tra queste soltanto 3 dighe influenzano sensibilmente l'onda di piena: Corbara (dal 1963) con un bacino sotteso di circa 6100 km² e le dighe di Posticcioia (fiume Salto) e di Turano (fiume Turano), costruite tra il 1938 e il 1940 con un bacino sotteso di 1300 km². Sull'asta principale del Tevere sono presenti 3 traverse a valle della confluenza con il fiume Nera: Ponte Felice (1961), Nazzano (1956) e Castel Giubileo (1952) (Bersani P. e Bersani A., 2008).

Nome Name	Diga o Traversa Dam or Weir	Bacino sotteso (km ²) Basin (km ²)	Provincia Province	Sottobacino principale Main sub-basin	Corso d'acqua Streamflow	Aff. Tevere in destra o in sinistra Tiber tributaries right or left	Ordine fluviale River order
Montedoglio	Diga Dam	273,39	SI	1	Tevere Tiber	-	I
Corbara	Diga Dam	6136,92	TR	5	Tevere Tiber	-	I
Alviano	Traversa Weir	7641,78	TR	7	Tevere Tiber	-	I
Ponte Felice	Traversa Weir	13060,69	VT • RI	7	Tevere Tiber	-	I
Nazzano	Traversa Weir	14299,54	RM	7	Tevere Tiber	-	I
Castel Giubileo	Traversa Weir	15023,36	RM	7	Tevere Tiber	-	I
Sovara	Diga Dam	27,76	AR	1	Sovara	Destra Right	III
Gaude	Diga Dam	0,53	AR	1	Gaude	Destra Right	III
Elveila	Diga Dam	24,14	SI	6	Elveila	Destra Right	III
Chianciano	Diga Dam	12,25	SI	6	Astrone	Destra Right	III
Casannova	Diga Dam	441,94	PG	2	Chiascio	Sinistra Left	II
Fosso Abbazia	Diga Dam	82,78	PG	2	Saonda	Sinistra Left	III
Acciano	Diga Dam	21,04	PG	4	Acciano	Sinistra Left	V
Maroggia	Diga Dam	20,02	PG	4	Maroggia	Sinistra Left	III
Corno	Traversa Weir	302,66	PG	9	Corno	Sinistra Left	III
L'Aia	Diga Dam	92,83	TR	8	Nera	Sinistra Left	II
Stifone	Diga Dam	4260,29	TR	8	Nera	Sinistra Left	II
San Liberato	Diga Dam	4300,6	TR	8	Nera	Sinistra Left	II
Ratto	Diga Dam	48,85	RI	10	Ratto	Sinistra Left	IV
Posticcioia (Salto)	Diga Dam	797,78	RI	11	Salto	Sinistra Left	IV
Turano	Diga Dam	496,81	RI	11	Turano	Sinistra Left	IV
Simbrivio	Diga Dam	34,71	RM	12	Simbrivio	Sinistra Left	III
Pertuso	Diga Dam	55,84	RM	12	Aniene	Sinistra Left	II
San Giovanni	Diga Dam	712,33	RM	12	Aniene	Sinistra Left	II
San Costanzo	Diga Dam	608,19	RM	12	Aniene	Sinistra Left	II
Fiumerotto	Diga Dam	657,96	RM	12	Aniene	Sinistra Left	II
Piediluco	Traversa Weir	74,31	TR	10	Emisario Piediluco	Sinistra Left	IV
Marmore	Traversa Weir	2366,43	TR	10	Velino	Sinistra Left	III

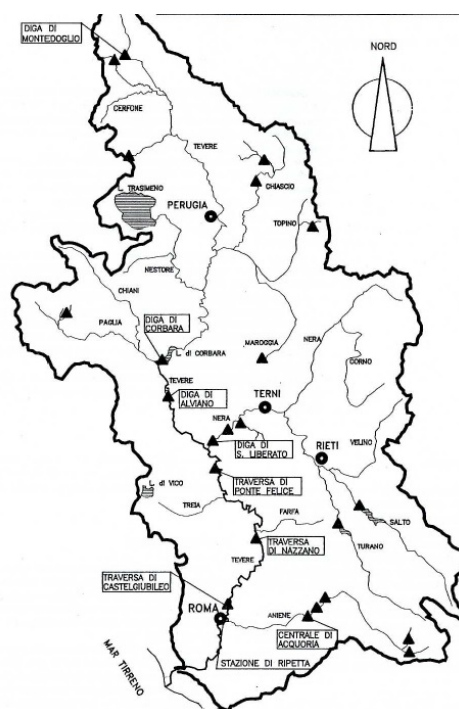


Fig.79 Principali dighe e traverse del bacino del Tevere (Bersani P. e Bersani A., 2008; Bersani e Piotti, 1994)



Il regime di precipitazione del bacino superiore può essere classificato come un regime di precipitazione sub-costiera, caratterizzato da due minimi di precipitazione in estate e in inverno, e due massimi di precipitazione in autunno e in primavera. Il regime di precipitazione del bacino idrografico inferiore è caratterizzato da un minimo estivo e un massimo invernale. La precipitazione media annuale è di circa 1200 mm con variazioni comprese tra 700 mm sul livello del mare e 2000 mm lungo la dorsale (Iadanza e Napolitano, 2006).

Sul bacino del Tevere sono presenti diverse stazioni di misura pluviometrica, idrometrica e meteorologica che attualmente vengono gestite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale. Per i dati idrometrici la letteratura presente fa riferimento in genere a 19 stazioni di misura del Servizio Idrografico. L'unica stazione che registra in continuo è la stazione del Tevere a Roma Ripetta. Il flussometro Ripetta si trova nel centro di Roma, nel corso inferiore del fiume, 43 km a monte della foce, ed è riferibile ad una superficie idrografica di circa 16.545 km². La portata media annua a Ripetta è di circa 225 m³/s, la portata annua massima supera i 1500 m³/s e la portata annuale minima raggiunge i 60 m³/s. L'influenza degli effetti stagionali sulle portate è considerevole, con flusso basso in estate e portate elevate durante la stagione invernale (Iadanza e Napolitano, 2006).

Mese	Portata (mc/sec)
Gennaio	316.2
Febbraio	356.72
Marzo	312.11
Aprile	259.48
Maggio	228.12
Giugno	174
Luglio	139.71
Agosto	128.36
Settembre	148.75
Ottobre	178.71
Novembre	254.53
Dicembre	306.81
Media annuale	232.49

Tab.14 Portate medie mensili del Tevere a Ripetta dal 1921 al 1990 (Bersani et al. 1995).

Portata solida del fiume Tevere

Particolare importanza, per la valutazione nel tempo delle opere costiere nell'area del delta del Tevere, riveste l'apporto solido fluviale che rappresenta uno dei fattori principali dell'evoluzione morfologica dell'alveo e delle spiagge limitrofe (Bersani e Piotti, 1994). Nel corso degli anni il trasporto solido del Tevere è stato studiato in diverse pubblicazioni scientifiche, come ad esempio il lavoro di Bersani e Amici del 1993 e l'importante contributo sulla correlazione esistente tra le portate liquide e le portate solide del Tevere di Bersani e Piotti del 1994.

Nel dettaglio Bersani e Amici presentano i risultati di una serie di campagne di misure sperimentali del trasporto solido di fondo e in sospensione alla stazione di Roma Ripetta – Porta Portese, eseguite nel periodo 1990-1991 che costituiscono uno dei pochi casi di misure dirette sia di fondo che in sospensione applicate al bacino del Tevere in tempi

recenti. In passato erano già state eseguite misure del trasporto solido in sospensione nei periodi 1873-1879 e 1932-1973 a Roma e tra il 1952 e il 1962 a Corbara.

anno	Tevere a Ripetta	fonte dei dati di trasporto torbido	Q10 (m³/s)
1932	6,45	Min. LL.PP. — Serv. Idr.	621
1933	5,07	» »	1020
1934	9,12	» »	860
1935	9,85	» »	984
1936	6,14	» »	760
1937	11,60	» »	1280
1938	4,81	» »	686
1939	8,73	» »	726
1940	6,64	» »	768
1941	9,08	» »	1234
1942	5,74	» »	794
1943	3,77	» »	542
1944	10,87	» »	657
1945	1,15	» »	360
1946	12,90	» »	651
—	—	—	—
1949	3,25	Min. LL.PP. — Serv. Idr.	298
1950	4,25	» »	429
1951	8,37	» »	821
1952	7,01	» »	660
1953	4,30	» »	528
1954	3,49	» »	426
1955	2,42	» »	451
1956	3,90	» »	567
1957	1,12	» »	353
1958	3,28	» »	580
1959	3,04	» »	804
1960	8,03	» »	917
1961	3,40	» »	808
1962	3,50	» »	659
1963	3,89	» »	924
1964	1,93	» »	637
1965	3,20	» »	688
1966	1,86	» »	603
1967	0,58	» »	343
1968	1,85	» »	664
1969	2,59	» »	780
1970	0,66	» »	543
1971	0,28	» »	344
1972	0,85	» »	426
1973	0,38	» »	412
—	—	—	—
1985	0,67	Univ. di Roma	435
—	—	—	—
1990-91	0,50	Sapro	344

Tab.15 Deflusso torbido e a Roma Ripetta nel periodo 1932-1973 (10⁶t) (Bersani e Piotti, 1994).

I dati raccolti tra il 1990 e il 1991 sono stati elaborati dagli autori con metodologie analoghe a quelle utilizzate dal servizio idrografico (e quindi riferibili ai valori riportati in Tab.16) ottenendo un valore medio di deflusso torbido per il periodo Marzo'90 – Marzo'91 di circa 672×10^3 ton che risulta in accordo con i valori riscontrati nelle ultime misure delle campagne precedenti (Tab.15)

Campagna di misurazioni periodiche n.	Data	Trasporto solido in sospensione g/l	Altezza scala idrometrica a Ripetta m	Portata liquida corrispondente m³/sec	Portata torbida kg/sec	Distanza di tempo tra due misure giorni	Tempo di estrapolazione della misura giorni	Deflusso torbido corrispondente kg x 10³
1	26-3-90	0,004	4,80	64,2	0,257	0	5	111
2	5-4-90	0,016	4,77	59,5	0,952	10	15,5	1275
3	26-4-90	0,020	5,10	80,0	1,600	21	21	2903
4	17-5-90	0,013	5,21	86,0	1,120	21	18	1742
5	1-6-90	0,083	4,86	66,0	5,478	15	14	662
6	14-6-90	0,016	5,05	76,5	1,224	13	14	1481
7	29-6-90	0,017	4,97	72,5	1,233	15	14	1491
8	12-7-90	0,017	4,98	74,0	1,258	13	14	1521
9	27-7-90	0,040	4,59	44,9	1,794	15	25	3875
10	31-8-90	0,003	4,92	70,0	0,210	35	23,5	426
11	12-9-90	0,033	4,70	56,0	1,848	12	12	1916
12	24-9-90	0,037	4,78	62,0	2,294	12	13	2577
13	8-10-90	0,030	4,96	73,0	2,190	14	15,5	2933
14	25-10-90	0,043	5,38	95,0	4,085	17	21	7412
15	19-11-90	0,010	4,61	46,0	0,460	25	18,5	735
16	1-12-90	0,080	5,64	110,2	8,816	12	11,5	8760
17	12-12-90	0,890	9,50	726,0	646,140	11	10,0	558265
18	21-12-90	0,123	6,60	252,0	30,996	9	14,5	38832
19	10-1-90	0,017	6,24	198,0	3,366	20	17,5	5089
20	25-1-91	0,013	5,60	108,0	1,404	15	10,5	1274
21	31-1-91	0,060	5,76	133,0	7,980	6	6,5	4481
22	7-2-91	0,027	5,75	130,0	3,510	7	9,5	2881
23	19-2-91	0,030	7,00	310,4	9,310	12	14	11261
24	7-3-91	0,017	5,75	130,0	2,210	16	15	2864
25	21-3-91	0,060	5,66	114,0	6,840	14	10,5	6205
26	28-3-91	0,027	5,72	122,0	3,294	7	3,5	996
Deflusso torbido totale								671968

Tab.16 Deflusso torbido annuale ricavato dalle campagne di misura nel periodo 1990-1991 (Bersani e Amici, 1993)

Il confronto dei risultati storici sulle portate di torbida del Tevere mostra come nel corso degli anni l'apporto solido del fiume abbia subito una consistente diminuzione.

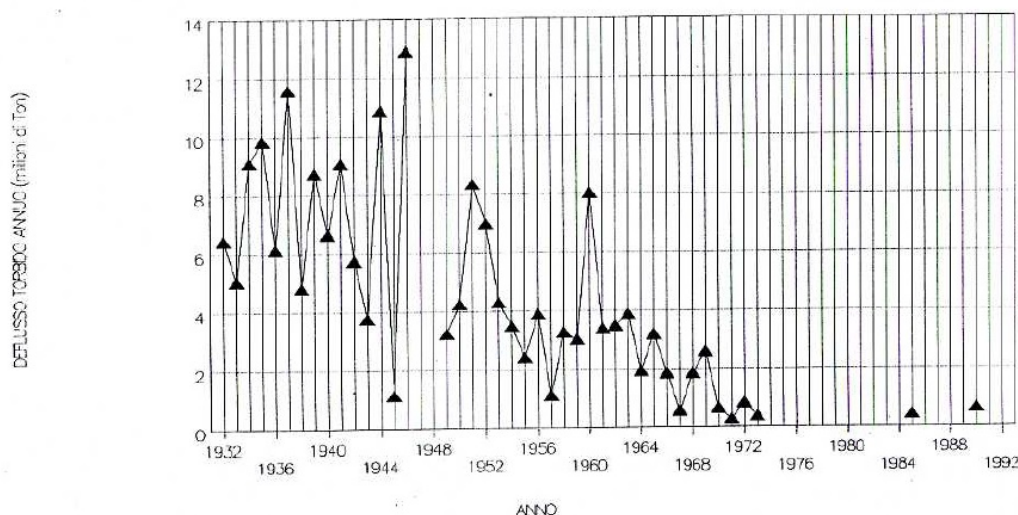


Fig.80 Confronto dei valori di deflusso torbido del Tevere tra il 1932 e il 1991 (Bersani e Amici, 1993).

Tale consistente diminuzione è attribuita ai vari interventi antropici succedutesi nel bacino del Tevere, con particolare riferimento alla costruzione della diga di Corbara e alla traversa di Alviano che hanno comportato sia un parziale sequestro dei sedimenti da parte degli invasi artificiali sia una sostanziale diminuzione dei valori di erosione a monte. All'influenza degli invasi deve poi essere aggiunto l'effetto dei prelievi di inerti operato nel corso del tempo per la costruzione dei rilevati autostradali e ferroviari (Bersani e Amici, 1993). Analoghe conclusioni sono presenti in altri autori (Margaritora, 1993; Iadanza e Napolitano, 2006).

La progressiva diminuzione del trasporto solido influenza il trasporto litoraneo con l'induzione di squilibri nel bilancio sedimentario in grado di determinare l'erosione e l'arretramento della linea di costa presso la foce del Tevere. In questo senso la comprensione delle complesse interazioni esistenti tra il trasporto solido del Tevere e la



dinamica litoranea costituisce un elemento fondamentale per la corretta valutazione dei possibili impatti di opere portuali nelle aree limitrofe il delta.

3.3.7 Grado di inquinamento dei sedimenti

Le caratteristiche dei sedimenti marini del Mar Tirreno, entro la profondità dei -100 m, lungo la linea di costa prospiciente la regione Lazio, sono state studiate da Branca et al. (1996). Nello studio, sono riportati i risultati delle abbondanze totali di piombo (Pb), rame (Cu), zinco (Zn), manganese (Mn), ferro (Fe), nichel (Ni, cromo (Cr) e cobalto (Co) misurate in 148 campioni di sedimento di fondo ubicate lungo tutta la costa laziale. I campioni di sedimento sono stati sottoposti ad analisi mediante spettrofotometria di assorbimento atomico. Le concentrazioni dei metalli analizzati, essendo i campioni stati sottoposti ad una solubilizzazione completa mediante attacco acido (miscela di acido perclorico e fluoridrico), includono “i contributi dei minerali primari stabili della matrice dei sedimenti” e i contributi “derivanti dalla presenza di metalli fissati, con diverso grado di stabilità, dalle fasi minerali ed organiche dei sedimenti dotati di proprietà adsorbenti” (Branca et al., 1996). Oltre alle concentrazioni totali degli elementi, lo studio riporta l’analisi delle “frazioni elementari contenute nei minerali primari stabili dei sedimenti”, delle “frazioni elementari contenute nelle fasi operative ad ossidi ed ossidi idrati ferromanganesiferi”, delle “frazioni elementari contenute nelle fasi a carbonati”, e delle “frazioni elementari debolmente adsorbite dai sedimenti”. Oltre al lavoro di Branca et al. (1996), per quanto concerne il tratto di mare compreso tra Capo Linaro e Capo Anzio, non sono note ricerche con una simile estensione regionale. Tuttavia, negli anni successivi sono stati pubblicati i risultati di diverse ricerche condotte in aree di indagine con estensione più limitata, racchiuse nello stesso ambito regionale.

Per quanto riguarda l’area più settentrionale del settore di costa oggetto di questo compendio di studi, le ricerche condotte da Piazzolla et al. (2015) e Scanu et al. (2015),



sebbene si focalizzino sulla caratterizzazione dei sedimenti dell'Unità Fisiografica Capo Linaro – Monte Argentario, riportano anche le abbondanze di metalli e metalloidi misurati in campioni di sedimento recuperati nel tratto di mare prospiciente Santa Severa (RM). Nel dettaglio, le ricerche suddette riguardano la valutazione delle concentrazioni di arsenico (As), manganese (Mn), cromo (Cr), nichel (Ni), piombo (Pb), rame (Cu) e mercurio (Hg) misurate nei sedimenti superficiali campionati tra le profondità di -10 m e -50 m. I campioni di sedimento sono stati analizzati mediante spettroscopia di emissione atomica (AES), successivamente ad una preparazione che ha previsto una solubilizzazione mediante attacco acido (mediante acido nitrico e acido cloridrico).

L'area deltizia del fiume Tevere è stata oggetto degli studi condotti da Montuori et al. (2016a, 2016b, 2016c). Nel dettaglio, queste ricerche hanno riguardato: (I) lo studio delle concentrazioni di metalli pesanti (As, Hg, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) misurate nella fase di acqua disciolta, in campioni di solido sospeso, e sedimenti superficiali raccolti in 21 stazioni di campionamento durante stagioni diverse; (II) le concentrazioni di 16 idrocarburi policiclici aromatici (IPA) prioritari determinate nella fase disciolta in acqua, nel solido sospeso e nei sedimenti superficiali in quattro stagioni diverse; (III) le concentrazioni di policlorobifenili e pesticidi organoclorurati nella fase disciolta in acqua, nel solido sospeso e in campioni di sedimenti superficiali. L'analisi delle concentrazioni di metalli pesanti (Montuori et al. 2016a) misurati in fase disciolta, nel solido sospeso e nei sedimenti superficiali è stata effettuata mediante spettroscopia di assorbimento atomico (AAS), preceduta da una digestione dei campioni mediante una miscela acida composta da acido nitrico, acido cloridrico e acido perclorico (HNO_3 -HF- HClO_4). L'analisi degli idrocarburi policiclici aromatici prioritari, successivamente ad una specifica procedura di estrazione per la fase disciolta in acqua, per il solido sospeso e per i sedimenti superficiali, è stata effettuata attraverso gascromatografia-spettrometria di massa (GC-MS) (Montuori et al. 2016b). L'analisi delle concentrazioni di policlorobifenili e pesticidi organoclorurati, anche esse nella fase disciolta in acqua, nel



solido sospeso, e nei sedimenti marini, è stata condotta mediante gascromatografia (GC) e gascromatografia-spettrometria di massa (GC-MS) (Montuori et al. 2016c).

Oltre agli studi sopracitati presenti nella letteratura internazionale, per il tratto di mare racchiuso nell'Unità Fisiografica Capo Linaro – Capo Anzio sono reperibili i risultati delle analisi condotte dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) relativi a monitoraggi periodici e i risultati delle analisi condotte nell'ambito della Marine Strategy Framework Directive (MSFD) e coordinate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Nel dettaglio, i dati reperibili riguardanti i monitoraggi ARPA riportano le concentrazioni di metalli, (Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), Policlorobifenili (PCB) e pesticidi organoclorurati misurate nei sedimenti marini a partire dal 2015. I risultati delle analisi condotte sui sedimenti marini nell'ambito della MSFD e riguardanti le classi di analiti sopracitate sono invece disponibili per l'anno 2015.

Sampling location			Heavy metals								
Site number identification	Site characteristics	Site location	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Total
1 (river water)	Upstream Tiber River fork	41° 46' 40.65" N 12° 16' 45.62" E	45.23	1.14	2.22	189.91	527.81	432.61	186.67	301.25	1686.84
2 (river water)	Tiber River Mouth	41° 46' 17.34" N 12° 13' 06.37" E	41.69	1.11	1.66	174.46	499.95	185.53	158.55	413.36	1476.31
3 (river water)	Fiumicino Canal	41° 44' 24.50" N 12° 13' 58.73" E	37.72	0.95	1.45	163.02	370.28	494.26	67.19	290.94	1425.81
4 (seawater)	River Mouth Fiumicino	41° 46' 01.74" N 12° 12' 56.67" E	29.41	0.31	0.64	101.46	242.08	109.04	75.82	310.25	869.01
5 (seawater)	Canal at 500 m south	41° 46' 17.84" N 12° 12' 44.76" E	27.82	0.18	0.51	116.37	155.71	95.64	42.52	301.62	740.37
6 (seawater)	River Mouth Fiumicino	41° 46' 31.73" N 12° 12' 53.50" E	36.52	0.77	0.88	139.37	343.78	174.19	88.04	329.15	1112.70
7 (seawater)	Canal at 500 m north	41° 45' 47.87" N 12° 12' 53.50" E	16.51	0.12	0.41	67.07	93.27	43.95	22.65	96.05	340.03
8 (seawater)	River Mouth Fiumicino	41° 46' 17.30" N 12° 12' 20.34" E	15.49	0.15	0.18	48.52	99.82	34.18	16.89	103.82	319.05
9 (seawater)	Canal at 1000 m central	41° 46' 46.51" N 12° 12' 41.74" E	39.77	0.42	0.63	73.97	192.04	113.36	56.32	186.92	663.43
10 (seawater)	River Mouth Fiumicino	41° 45' 33.77" N 12° 12' 40.43" E	11.06	0.08	0.22	21.22	74.96	36.85	9.32	52.46	206.17
11 (seawater)	Canal at 1500 m south	41° 46' 16.33" N 12° 12' 01.41" E	3.47	0.06	0.09	13.35	54.05	25.07	5.91	63.28	165.28
12 (seawater)	River Mouth Fiumicino	41° 46' 58.36" N 12° 12' 29.55" E	11.25	0.16	0.44	37.48	79.65	44.16	17.14	95.24	285.52
13 (seawater)	Canal at 1500 m north	41° 44' 08.68" N 12° 14' 07.38" E	41.88	0.66	0.85	156.96	235.11	246.77	55.02	203.61	940.86
14 (seawater)	River Mouth Fiumara	41° 44' 14.43" N 12° 13' 40.05" E	6.09	0.28	0.39	46.31	97.07	84.86	27.93	36.45	299.38
15 (seawater)	Grande at 500 m central	41° 44' 27.27" N 12° 13' 36.50" E	14.64	0.41	0.51	66.63	123.09	118.28	59.08	60.03	442.67
16 (seawater)	River Mouth Fiumara	41° 43' 52.67" N 12° 14' 13.37" E	38.24	0.24	0.65	105.65	52.59	106.92	37.01	166.37	507.67
17 (seawater)	Grande at 1000 m south	41° 44' 06.84" N 12° 13' 20.15" E	4.93	0.08	0.28	21.16	31.08	45.40	12.65	17.62	133.20
18 (seawater)	River Mouth Fiumara	41° 44' 28.80" N 12° 13' 12.00" E	19.21	0.13	0.62	36.14	74.43	76.22	19.37	55.62	281.74
19 (seawater)	Grande at 1000 m north	41° 43' 38.09" N 12° 14' 18.04" E	8.33	0.09	0.08	27.22	48.72	72.58	11.76	47.86	216.64
20 (seawater)	River Mouth Fiumara	41° 43' 59.84" N 12° 13' 01.01" E	2.65	0.05	0.11	8.52	16.01	6.22	3.07	6.18	42.81
21 (seawater)	Grande at 1500 m central	41° 44' 32.41" N 12° 12' 52.76" E	4.05	0.08	0.13	19.39	29.42	68.97	9.62	20.33	151.99
I_{geo}	Background values defined by Turekian and Wedepohl (1961)		5 ^a	0.07 ^b	0.05 ^c	90	45	68	20	95	
	I_{geo} Max value computed		0.73	1.80	15.34	0.06	0.13	0.09	0.25	0.06	
	Quality of studied sediment according to Müller classes (1969)		From unpolluted to moderately polluted								
TEL (mg kg ⁻¹ dw) ^d			7.2	0.13	0.6	52.3	18.7	15.9	30.2	124	
Sample percentage over the TEL			76	67	43	52	95	95	48	43	
PEL (mg kg ⁻¹ dw) ^d			42	0.49	3.50	160.4	108.2	42.8	112.2	271	
Sample percentage over the PEL			5	24	0	14	43	81	10	29	
ERL (mg kg ⁻¹ dw) ^d			8.2	0.15	1.2	81.0	43.0	20.9	46.7	150	
Sample percentage over the ERL			76	38	14	38	86	95	38	43	
FRM (mg kg ⁻¹ dw) ^d			70	0.71	9.6	370	270	51.6	718	410	
Sample percentage over the FRM			0	19	0	0	19	67	0	5	
Mean contamination factors (CFs) for all sites studied			4.34	5.08	12.33	1.02	3.64	1.83	2.34	1.58	
Mean Pollution Load Index (PLI)			2.95								

Fig.81 Concentrazioni di metalli pesanti (mg/kg, dry weight) nei sedimenti campionati nell'area antistante il Fiume Tevere. La tabella è tratta dal lavoro di Montuori et al. (2016a).

3.4 REMOTE SENSING

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 (SeaWifs, MODIS, MERIS), incentrati principalmente sull'acquisizione di dati di Ocean Color, che permettono di ottenere come prodotto finale la distribuzione di temperatura superficiale, clorofilla e solido sospeso, sulla base di algoritmi già sviluppati. Le informazioni da remoto il più possibile coerenti in termini di risoluzione spaziale, come quelle al momento disponibili e ricavabili da Earth Observation (EO) (Pasqualini et.al. 2005), prevedono l'impiego delle piattaforme satellitari MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satellite Aqua (EOS PM) e Landsat 8-OLI (Operational Land Imager), ultimo della famiglia Landsat, entrambi appartenenti alla costellazione NASA. L'utilizzo dei dati di remote sensing permette 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, di clorofilla *a* e CDOM.

Questi due satelliti nascono con strumentazione idonea per lo studio di Ocean Color e quindi per l'osservazione delle variabili descrittive dell'ambiente marino, ma mostrano caratteristiche molto differenti tra loro, come è possibile notare nella tabella sottostante. 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, soprattutto per quanto attiene i sensori a più elevata risoluzione (come il Landsat).

MODIS			Landsat 8 OLI				
Band	λ_{cent} (nm.)	FWHM	Band	λ_{cent} (nm.)	FWHM	SNR	
1	645	50					
2	858,5	35	b ₁	443	20	130	Coastal
3	469	20	b ₂	482,5	65	130	Blue
4	555	20					
5	1240	20	b ₃	562,5	75	100	Green
6	1640	24					
7	2130	50	b ₄	655	50	90	Red
8	412,5	15					
9	443	10					
10	488	10					
12	531	10					
13	551	10	b ₅	865	40	90	NIR
14	667	10					
15	678	10	b ₆	1375	30		Cirrus
16	748	10	b ₇	1610	100	100	SWIR1
17	869,5	15	b ₈	2220	200	100	SWIR2
18	905	30	b ₉	10895	59		TIR1
19	936	10	b ₁₀	12005	101		TIR2
20	940	50					

Tab. 17 Principali caratteristiche spettrali e radiometriche dei sensori satellitari impiegati.

Il MODIS è stato progettato per rilevare dati per il mare aperto (acque di Caso 1) per il quale è sufficiente una moderata risoluzione spaziale (500 m /1 km a seconda della banda di interesse) e per cui è possibile un elevato numero di passaggi di acquisizione: un passaggio ogni 24 ore.

La famiglia dei satelliti Landsat invece 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 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: il SeaDas (SeaWIFS Data Analysis System) per le immagini MODIS e ACOLITE (Atmospheric Correction for OLI) per quelle Landsat8. Il SeaDas è un pacchetto per l'analisi di immagine che permette l'elaborazione, la visualizzazione, l'analisi e il controllo di qualità dei dati di ocean color, organizzato in 4 step principali:

- nel primo step deve essere generato un Geo-file che contiene i dati di navigazione per la geolocalizzazione;
- successivamente viene generato un prodotto L1-B, che contiene la calibrazione (top-of-atmosphere) delle radianze derivate da prodotti L1A;
- nella terza fase viene generato il prodotto L2, che contiene i dati dei valori geofisici per ogni pixel, derivati dalle radianze a Livello-1B attraverso l'applicazione delle correzioni atmosferiche e degli algoritmi bio-ottici; i dati dei prodotti L2 sono geolocalizzati.



- infine tutti i parametri geofisici contenuti nel prodotto L2 vengono rimappati con la proiezione cilindrica e quindi per ciascuno di essi viene creato un file di dati e una mappa per visualizzare i dati.

Il software Acolite invece 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). Durante il processamento dei dati in Acolite è possibile applicare contemporaneamente, alla correzione atmosferica, specifici algoritmi per ottenere i prodotti di interesse quali la clorofilla *a* e il solido sospeso.

Da pochi anni sono stati messi a disposizione della comunità scientifica dati a risoluzione spaziale più elevata, 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 Sentinel (in particolare 2A e 2B) lanciate dall'ESA nell'ambito del programma Copernicus.

3.5 COMUNITA' BENTONICHE

Al fine di descrivere le biocenosi di fondo mobile che caratterizzano il tratto di costa compresa tra Capo Linaro e Capo Anzio e le comunità macrozoobentoniche ad esse associate è stata analizzata sia la bibliografia di settore (comunità bentoniche della costa laziale) sia i dati forniti dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale. I dati relativi alla composizione specifica delle zoocenosi saranno utilizzati per programmare il corretto posizionamento dei punti di prelievo ed analisi della fauna macrozoobentonica associata ai substrati mobili allo scopo di evidenziare le potenziali variazioni che potrebbero incorrere nella struttura delle comunità di fondo. Il posizionamento dei punti di campionamento sarà stabilito anche sulla base modelli numerici di simulazione a scala regionale e locale utili a identificare le aree soggette a maggior impatto.

Il macrozoobenthos di fondo mobile è di fondamentale importanza negli studi inerenti alla qualità delle acque marino costiere ed è inserito nella Direttiva Europea sulle Acque (Water Framework Directive, WFD, 2000/60/EC) che definisce quest'ultimo come uno degli elementi biologici da utilizzare per definire lo stato di qualità ecologica (EcoQS) degli ambienti acquatici. L'indice l'AMBI (ATZI's Marine Biotic Index) è sicuramente lo strumento più utilizzato negli studi sulla qualità delle acque marine costiere ed è idoneo all'analisi del Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) richiesto dalla Direttiva 2000/60/CEE. L'attività di raccolta e analisi dei dati di letteratura è stata anche basata su una selezione di lavori che utilizzano l'AMBI index che 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.

Infine, allo scopo di incrementare le conoscenze nelle aree interessate dai campionamenti della fauna bentonica è stata anche analizzata con maggior dettaglio sia l'area limitrofa la foce del Fiume Tevere sia le Secche di Tor Paterno.

In dettaglio è stato utilizzato:

- Bibliografia relativa alla distribuzione delle comunità macrozoobentoniche sui substrati mobili della costa laziale (lista in allegato);
- Bibliografia relativa alla distribuzione delle comunità bentoniche nei fondali limitrofi alle Secche di Tor Paterno;
- Dataset pubblicati sul sito http://www.db-strategiamarina.isprambiente.it/app/#/data_consultation, relativi all'area di studio;
- 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;
- Atlante degli habitat dei fondali marini del Lazio (2018 - Regione Lazio – Università della Sapienza).

3.5.1 Descrizione delle Biocenosi di fondo mobile caratterizzanti il tratto di costa compreso tra Capo Linaro e Capo Anzio

La costa laziale centrale è caratterizzata da un'alta eterogeneità di ambienti come ad esempio substrati rocciosi superficiali, biocostruzioni coralligene, praterie di *Posidonia oceanica*, estese porzioni di substrati mobili (sabbie, fanghi e substrati misti) ed alcuni ambienti di transizione legati alle foci fluviali. Il settore costiero oggetto di studio è interessato da formazioni rocciose prevalentemente nella sua porzione settentrionale mentre le aree meridionali presentano una conformazione bassa caratterizzata da sedimenti sabbioso-fangosi: partendo dal Promontorio di Capo Linaro, che presenta

substrati duri coralligeni e superficiali (rocce infralitorali e *P. oceanica*), le formazioni rocciose tendono a diminuire progressivamente fino ai fondali antistanti la città di Ladispoli a favore di substrati mobili sabbioso-fangosi; da Ladispoli a Capo Anzio i substrati sono esclusivamente mobili e caratterizzati da sabbie superficiali, sabbie miste e fanghi costieri ad eccezione delle Secche di Tor Paterno e di alcune formazioni rocciose isolate localizzate a largo di Anzio.

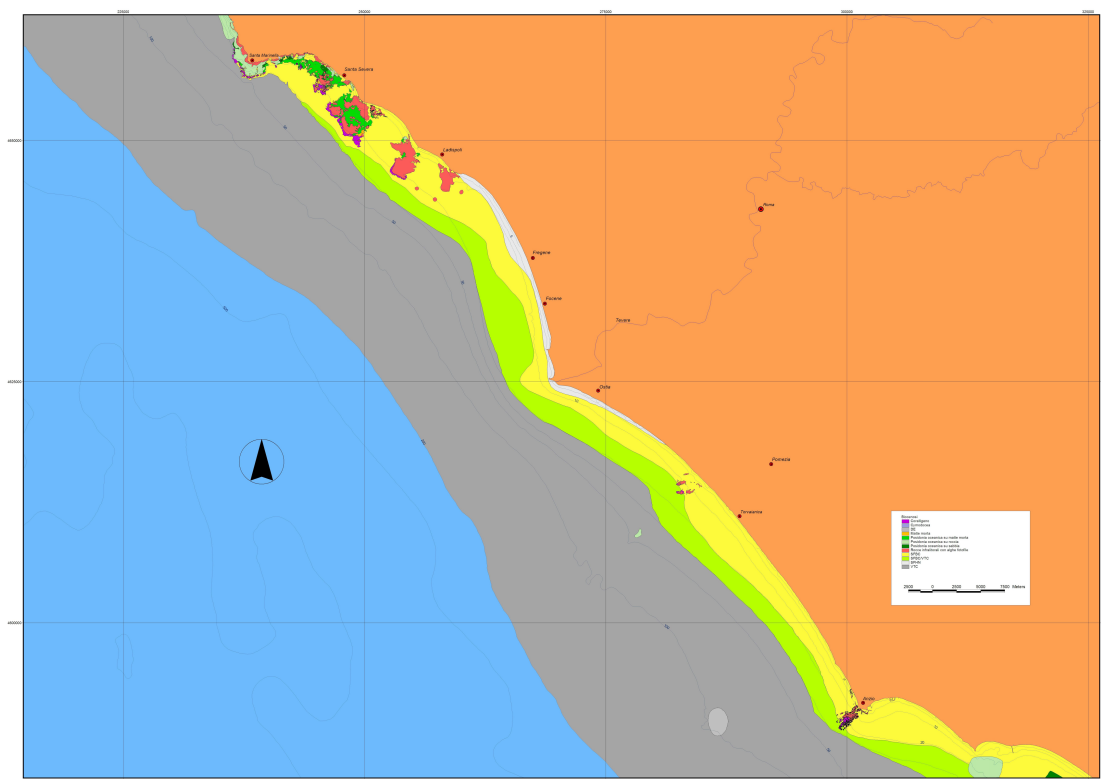


Fig.82 Mappa delle biocenosi nell'area compresa tra Capo Linaro e Capo d'Anzio

Questo tratto di costa è anche contraddistinto dalla presenza di estese praterie di *P. oceanica* che purtroppo presentano uno stato di regressione avanzata e preoccupante; la



sua massima abbondanza è registrata nel settore settentrionale (massima a Capo Linaro) fino all'area costiera di Ladispoli mentre spostandosi verso sud la sua presenza è segnalata principalmente sulle Secche di Tor Paterno.

Al fine di caratterizzare in modo idoneo le biocenosi di fondo mobile presenti nel settore di costa oggetto di studio di studio può essere suddiviso in 2 sottoaree in base alle caratteristiche sopra descritte, area tra Capo Linaro e Ladispoli (fondali più eterogenei) e area tra Ladispoli e Capo Anzio (dominata dai substrati mobili).

Area tra Capo Linaro e Ladispoli

In questo settore costiero i sedimenti mobili sono spesso intercalati da formazioni rocciose e praterie di *P. oceanica* e sono caratterizzati dalla presenza di quattro biocenosi dominanti:

- **SFBC:** Sabbie Fini e Ben Calibrate;
- **DC:** Detritico Costiero;
- **DF:** detritico infangato;
- **VTC:** Fangi terrigeni costieri.

La biocenosi **SFBC** è inserita nel piano infralitorale ed è caratterizzata da sabbie fini con granulometria omogenea generalmente di origine continentale (degradazione rocce litorali e apporti fluviali) ma può essere presente, in zone a ridotto idrodinamismo ed in prossimità di foci fluviali, una certa percentuale di componente fangosa. Le SFBC sono presenti in tutto il settore e si estendono a partire dai 10 metri di profondità fino a circa

20-25 m e sono caratterizzati dalla presenza di specie strettamente sabulicole come i policheti *Sigalion mathildae* e *Nephtys hombergii* e i molluschi *Spisula subtruncata*, *Pharus Legumen*, *Tellina pulchella* e *Tellina nitida*. A partire dai 25 m di profondità si osserva un incremento delle specie sabulicole tolleranti e limicole a causa di un progressivo infangamento del fondale che genera una facies di transizione chiamata VTC/s; le specie mixtofile che caratterizzano questa facies sono: i bivalvi *Abra alba* e *Corbula gibba*, il polichete *Glycera unicornis*, le ofiure *Amphiura chiajei* e *A. filiformis* e il tanaidiaceo *Tuberapseudes echinatus* (ARPA 2014, Mancini et al., 2017, Atlante degli habitat dei fondali marini del Lazio).

La biocenosi **DC** è localizzata nel piano circalitorale, immediatamente al di sotto del limite inferiore dell'infralitorale; queste sono zone di accumulo di detrito provenienti dalle formazioni infralitorali e circalitorali limitrofe. La composizione del sedimento può essere di varia natura, e dipende generalmente dalle caratteristiche strutturali dell'infralitorale, ma è spesso associato ad un'alta componente di origine zoobentonica come frammenti e conchiglie di Gasteropodi e Bivalvi o rami di Briozoi (è da segnalare l'altissima percentuale, nel nostro campione, di gusci e frammenti del Gasteropode *Turritella communis* e *Turritella turbona*). Il DC è favorito dalla presenza di praterie e patch di *P.oceanica* e dalle formazioni rocciose che abbondano soprattutto nel settore di costa compreso tra Capo Linaro e Ladispoli ed è segnalato nella fascia batimetrica che va tra i 20 e i 40 metri e le specie più abbondanti sono il bivalve *Moerella donacina* e gli echinodermi *Ophiura albida* ed *Echinociamus pusillus*.

Il **DF** si estende dalla profondità di circa 40m ed è rappresentato da substrati simili al detritico costiero ma con una maggior percentuale di sedimento fangoso; è segnalato nell'area localizzata tra Capo Linaro e Santa Severa ed è caratterizzato da specie peculiari come il polichete *Aphonuphis brementii* e il bivalve *Tellina serrata* e dalla presenza di facies a rodoliti e Maerl.

La biocenosi VTC è inserita nel piano circalitorale, si riscontra in aree dove le condizioni idrodinamiche favoriscono la deposizione delle frazioni più fini di sedimento. La VTC risultata l'unità bionomica più estesa dell'area e si manifesta a partire dai 30-35 m di profondità; le specie caratteristiche di questa biocenosi sono: i policheti *Paraprionospio pinnata*, *Sternaspis scutata* e *Owenia fusiformis* (associata a foci fluviali); gli echinodermi *Trachytione elongata*, *T. tergestina* e *Lapidoplax digitata*; i molluschi *Turritella communis*, *Abra nitida* e *Corbula Gibba*; i crostacei *Goneplax rhomboides*, *Alpheus glaber* e *Anapagurus spp.*

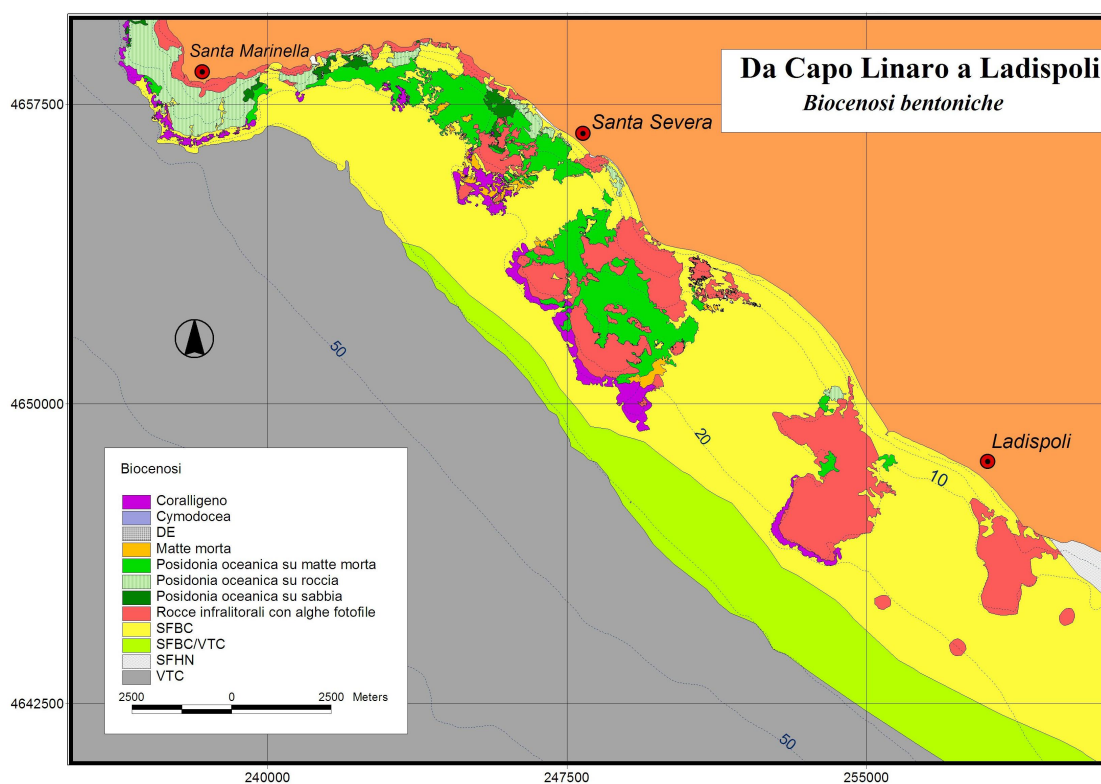


Fig.83 Mappa delle biocenosi nell'area compresa tra Capo Linaro e Ladispoli



I dati relativi alla composizione specifica delle comunità sono stati analizzati da 2 lavori principali, Mancini et al., Arpa, che hanno descritto le zoocenosi bentoniche di fondo mobile in quattro differenti aree di campionamento: Capo Linaro, Santa Marinella, Santa Severa e Ladispoli. Si riporta in seguito la lista delle specie più abbondanti nei substrati mobili delle 4 aree analizzate:

Capo Linaro

In questa area le biocenosi di fondo mobile si possono osservare a partire dai 25-35m di profondità mentre a batimetriche più basse l'area è caratterizzata dalla presenza di formazioni rocciose colonizzate da alghe fotofile e *P. oceanica*.

- *Paralacydonia paradoxa* (Policheti).
- *Anapagurus bicorniger* (Crostacei decapodi)
- *Amphiura chiajei* (Echinodermi)
- *Amphiura filiformis* (Echinodermi)
- *Dentalium inaequicostatum* (Molluschi)

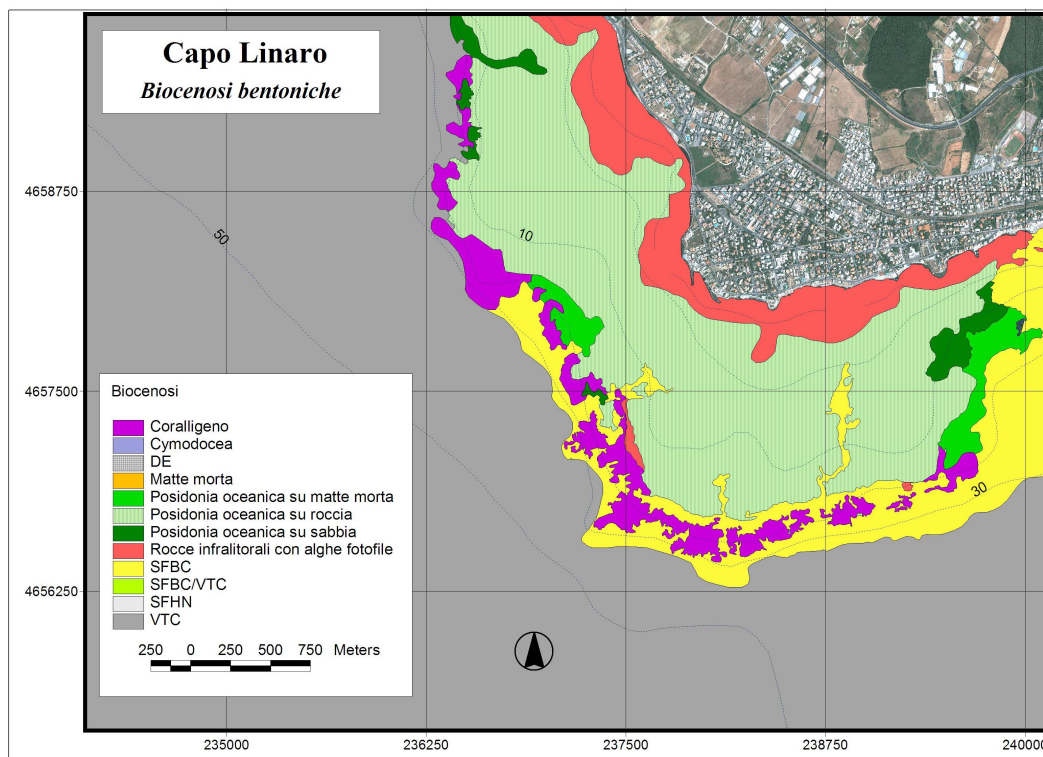


Fig.84 Mappa delle biocenosi nell'area di Capo Linaro

Santa Marinella

I substrati superficiali dei fondali antistanti S. Marinella sono caratterizzati dalla presenza di substrati rocciosi con alghe fotofile (0-10m) che degradano su praterie di *P. oceanica* su sabbia (10-25m), i fondi mobili, rappresentati principalmente dalla biocenosi SFBC, si riscontrano a partire dai 25-30m di profondità. In questa area, caratterizzata dalla presenza di abbondanti detriti organogeni associati alla degradazione delle formazioni rocciose, sono presenti le biocenosi detritiche DC e DF ed è stata segnalata la presenza di rodoliti e Maerl.

- *Aapseudes latreillii* (Tanaidiacei)
- *Micronephthys stammeri* (policheti)
- *Autonoe spiniventris* (Anfipodi)
- *Echinocardium cordatum* (Echinodermi)
- *Spisula subtruncata* (Molluschi bivalvi)

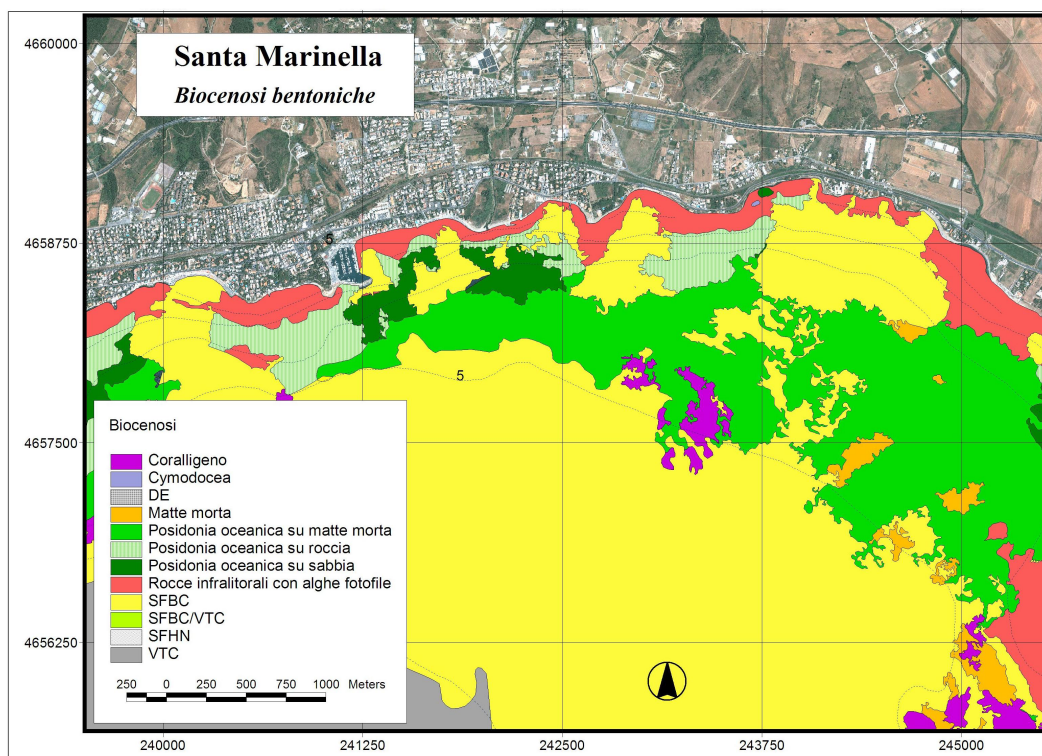


Fig.85 Mappa delle biocenosi nell'area di Santa Marinella



Santa Severa

Il fondale antistante la città di S. Severa risulta più eterogeneo e mostra la presenza di praterie di *P. oceanica* su roccia alternate a formazioni dure con mosaico di biocenosi fotofile (alghe fotofile) e sciafile (precoralligeno) e alla profondità di circa 20 m sono presenti estese bioformazioni coralligene. Le biocenosi di fondo mobile (VTC/s e VTC) si osservano a partire dai 25m.

- *Nephtys kervalensis* (Policheti)
- *Lumbrinereis latreillii* (Policheti)
- *Corbula gibba* (Molluschi bivalvi)
- *Turritella communis* (Molluschi gasteropodi)

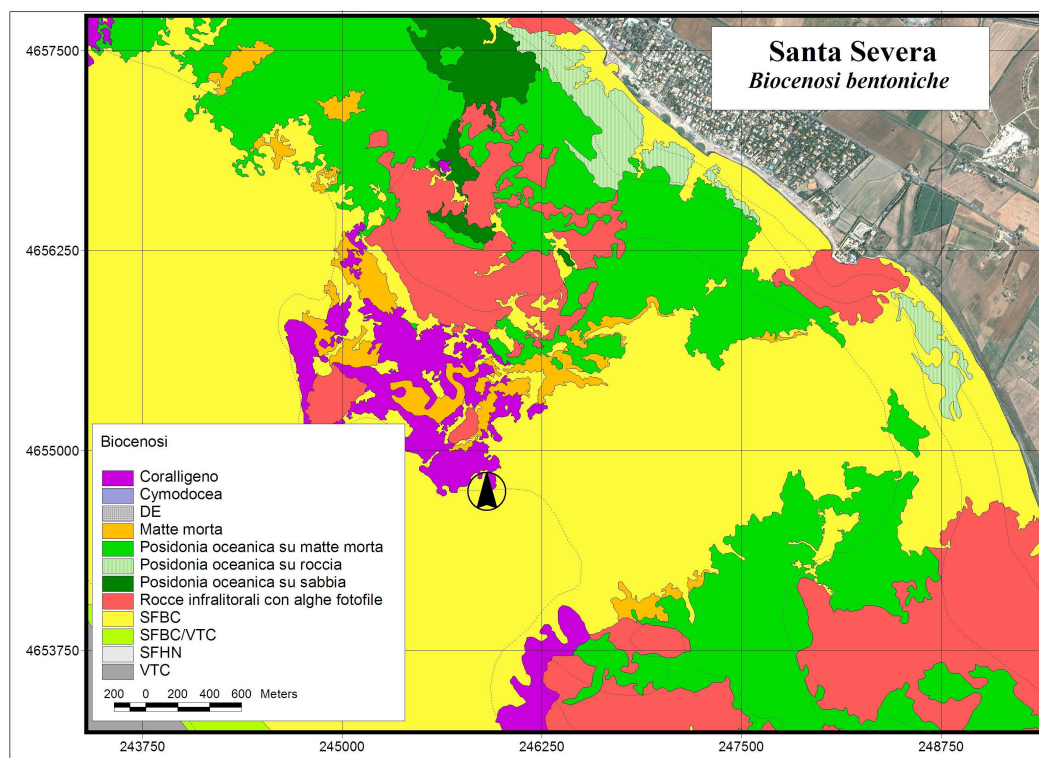


Fig.86 Mappa delle biocenosi nell'area di Santa Severa

Ladispoli - Fregene

Nel tratto di costa compreso tra Ladispoli e Fregene sono localizzate due estese formazioni rocciose comprese tra la profondità di 5 e 25 m; questi substrati duri sono composti da rocce infralitorali con alghe fotofile bordate da estese formazioni coralligene. Le strutture degradano su fondi mobili rappresentati soprattutto da SFBC (5-20m) e VTC.

- *Dyalichone usticensis* (policheti)
- *Prionospio caspersi* (policheti)

- *Nephtys hombergii* (policheti)
- *Apseudes acutifrons* (tanaidacei)
- *Pharus legumen* (molluschi)

La dominanza di specie fangofile e tolleranti è in accordo con la presenza di estese biocenosi VTC caratterizzati da sedimenti fini e fangosi che favoriscono l'abbondanza di policheti e molluschi mixtofilo.

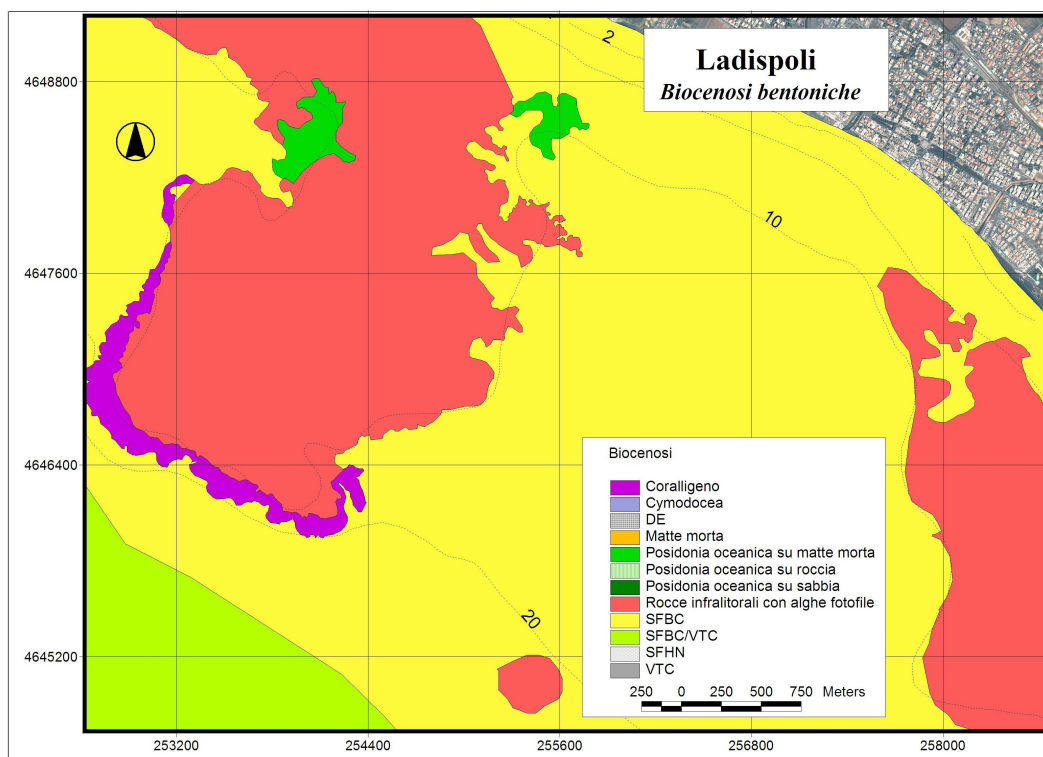


Fig.87 Mappa delle biocenosi nel tratto di costa compreso tra Ladispoli e Fregene



Area tra Ladispoli e Capo Anzio

Il tratto di mare compreso tra Ladispoli e Capo Anzio è caratterizzato dalla dominanza di fondi mobili e le caratteristiche quali-quantitative delle comunità bentoniche di fondo mobile sono state analizzate e descritte a metà degli anni 90'. Nell'area compresa tra Fregene e Fiumicino sono state identificate le biocenosi delle Sabbie fini Superficiali (0-7m) e la biocenosi SFBC che degrada, attraverso una fascia di transizione (caratterizzata dall'incremento di specie fangofile e mixtofile), nella biocenosi VTC. La zona maggiormente interessata dall'opera e le caratteristiche delle zoocenosi bentoniche caratterizzanti (area antistante la foce del Fiume Tevere) è stata analizzata negli anni 70 in un lavoro di Falciai et al. promosso dell'Istituto di Ricerca sulle Acque; il lavoro in questione è stato utilizzato per fare un focus di dettaglio descritto nel paragrafo successivo. In generale l'area della foce del Tevere presenta popolamenti macrozoobentonici simili a quelli descritti nelle aree più meridionali ma caratterizzati da una distribuzione batimetrica differente. Nel piano infralitorale, fino alla profondità di circa 5m, si estende la biocenosi delle sabbie fini superficiali (SFHN) in cui prevale la frazione psammitica; a partire dai 5m fino alla profondità di circa 15 m si osserva la presenza della biocenosi SFBC che degrada attraverso una fascia di transizione nei VTC. La zona "mista", compresa tra le batimetriche dei 15-20m è favorito dagli apporti di materiale fine da parte del Tevere ed è maggiormente sviluppata a nord della foce. A sud del Tevere sono localizzate le Secche di Tor Paterno, un importante complesso di strutture rocciose che descriveremo in dettaglio nei paragrafi successivi. Il settore costiero compreso tra la foce del Tevere ed Anzio è caratterizzato anch'esso dalle biocenosi SFS (0-5m), SFBC (5-10m) ma si osserva un'estesa fascia di transizione a substrati misti che si estende tra i 15 e i 40m di profondità per poi degradare nella biocenosi VTC. Infine,



nell'area di Capo Anzio sono presenti alcune formazioni rocciose superficiali e la Secca di Costacuti che si erge su di un fondale fangoso localizzato a circa 8 km dalla costa.

- SFHN: Sabbie fini superficiali (o sabbie fini degli alti livelli);
- SFBC: sabbie fini e ben calibrate;
- VTC: fanghi terrigeni costieri.

La biocenosi **SFHN** si estende dal limite superiore dell'infralitorale fino a una profondità di circa 3-5m ed è caratterizzato da un abbondante frazione psammitica. Le specie caratterizzanti sono molluschi sabulicoli come il *Lentidium mediterraneum*, la *Chamalea galina* e la *Donax semistriatus*.

La biocenosi **SFBC** si estende lungo tutto il tratto di costa e presenta una comunità macrozoobentonica più eterogenea e rappresentata da un maggior numero di specie caratterizzanti come il polichete *Owenia fusiformis* (specie che gode di eclettismo trofico particolarmente abbondante in aree limitrofe alla foce), l'echinoderma *Ophiura ophiura*, il crostaceo decapode *Diogenes pugilator* e il bivalve *Spisula subtruncata*. Nell'area limitrofa Capo Anzio, a causa di una maggiore eterogeneità dei fondali, la composizione della fauna associata a questa biocenosi varia leggermente e si osserva la presenza del polichete *Glycera tridactyla*, del gasteropode edule *Nassarius mutabilis* e del decapode *Liocarcinus zariquieyi*.

La biocenosi **VTC** domina i substrati profondi ed è dominata da specie fangofile di fondi pelitici come i policheti *Sternaspis scutata* e *Nephtys hysiricys*, il bivalve *Phaxas adriaticus* e il decapode *Alpheus glaber*.

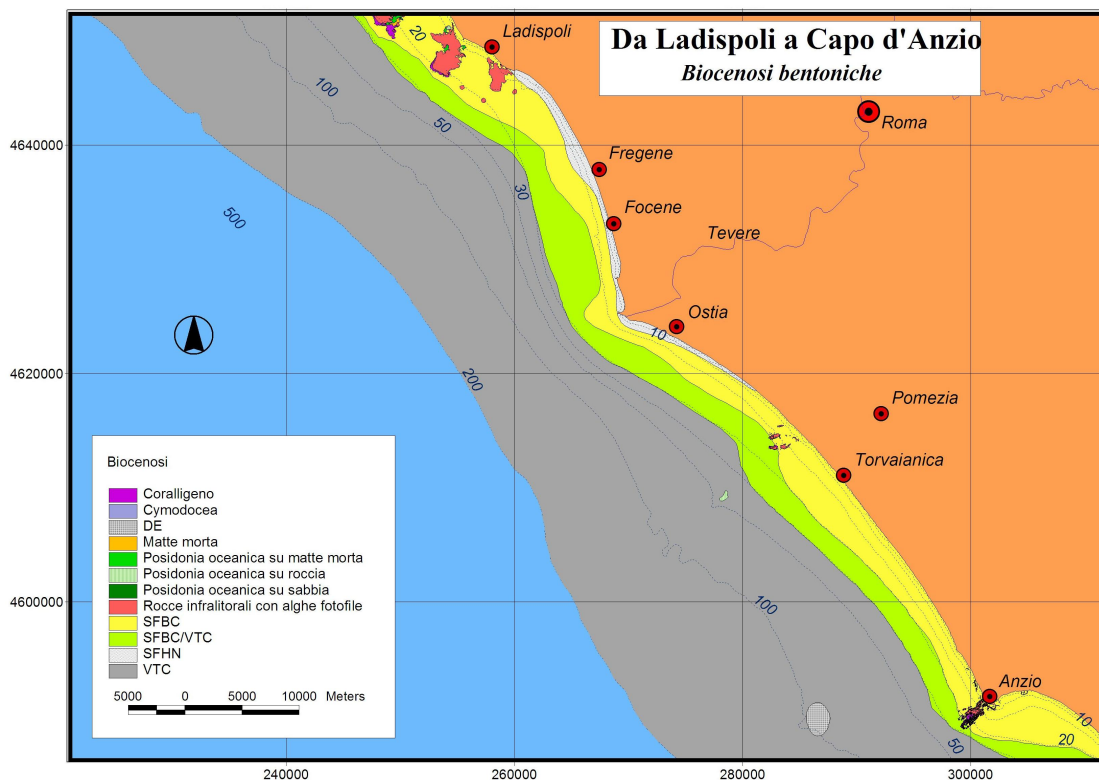


Fig.88 Mappa delle biocenosi nell'area compresa tra Ladispoli e Capo d'Anzio

I dati relativi alla composizione specifica delle comunità sono stati analizzati e descritti nel lavoro dell'ARPA del 2015 che riporta le caratteristiche quali quantitative delle zoocenosi bentoniche di fondo mobile in due differenti aree di campionamento: Pomezia e Anzio. Si riporta in seguito la lista delle specie più abbondanti nei substrati mobili delle 2 aree analizzate:

Pomezia

Il settore di costa antistante la città di Pomezia è caratterizzata da substrati mobili omogenei e dalla dominanza di 2 biocenosi di fondo mobile: SFBC e VTC. Le comunità



analizzate sono dominate dai crostacei anfipodi e dai tanaidiacei e in generale le zoocenosi sono composte da specie sabulicole e mixticole.

- *Prionospio caspersi* (Policheti)
- *Myriochele danielsseni* (Policheti)
- *Apseudes elisae* (Crostacei anfipodi)
- *Ampelisca diadema* (Crostacei anfipodi)
- *Ampelisca brevicornis* (Crostacei anfipodi)
- *Ampelisca typica* (Crostacei anfipodi)
- *Autonoe spiniventris* (Crostacei anfipodi)
- *Bathyporeia guilliamsoniana* (Crostacei anfipodi)
- *Spisula subtruncata* (Molluschi)

Anzio

Il promontorio di Anzio è caratterizzato dalla presenza di estese secche localizzate a Sud-Ovest del Porto a una profondità compresa tra i 2 e i 30m. Le secche occupano circa 200 ha e sono caratterizzate da rocce con mosaico di biocenosi sciafile e fotofile, pre-coralligeno e coralligeno; le strutture rocciose degradano su substrati mobili rappresentati dalle biocenosi SFBC e VTC.

In quest'area si nota una netta dominanza di crostacei decapodi e anfipodi.

- *Prionospio caspersi* (Policheti)
- *Apseudes elisae* (Tanaidiacei)
- *Ampelisca brevicornis* (Crostacei anfipodi)
- *Bathyporeia guilliamsoniana* (Crostacei anfipodi)
- *Autonoe spiniventris* (Crostacei anfipodi)
- *Micronephthys stammeri* (Policheti)

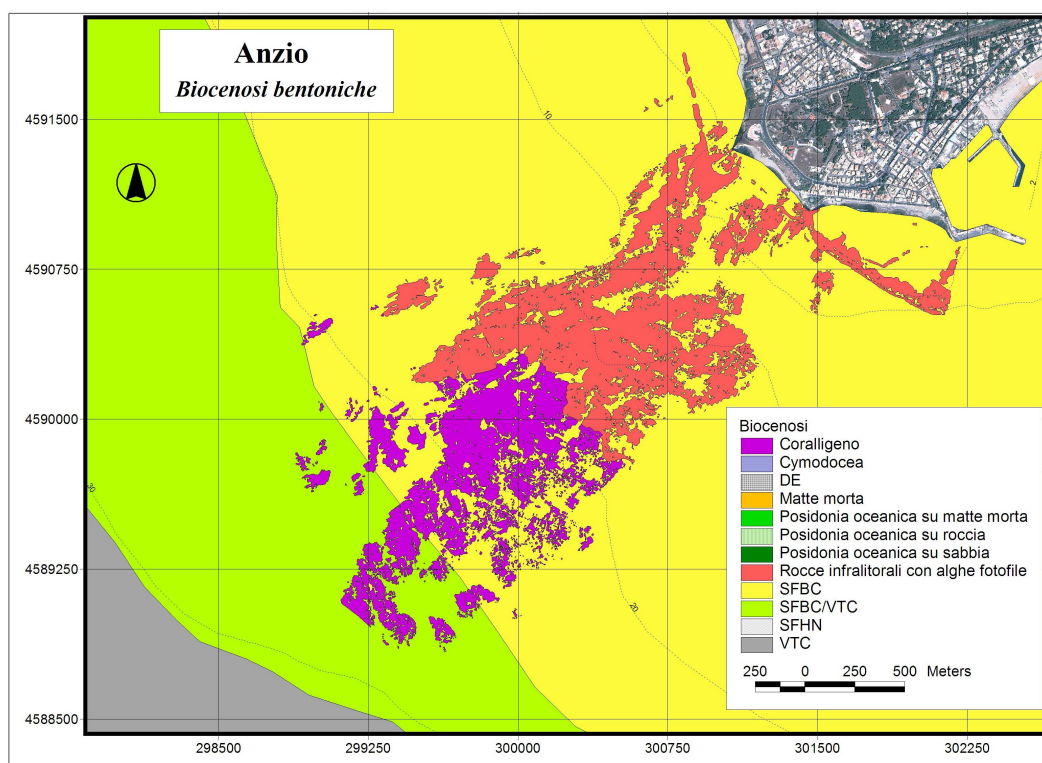


Fig.89 Mappa delle biocenosi nell'area di Anzio



Nelle due comunità analizzate è stata osservata una netta dominanza (in termini di abbondanza) di anfipodi e tanaidiacei probabilmente favoriti dalla presenza di un flusso costante di detrito organico sul fondo e dal continuo apporto di materiale organico a carico del Tevere.

L'area antistante la foce del fiume Tevere

Il lavoro di Falcia et al. del 1983 dal titolo “Organismi bentonici dei fondi mobili davanti alla foce del Tevere. L'esperimento Tevere. Influenza di un fiume sull'ecosistema marino prospiciente la sua foce” rimane ad oggi l'unico lavoro scientifico che analizza in dettaglio le comunità macrozoobentoniche presenti in quell'area. In questo lavoro vengono illustrati i risultati di uno studio di bionomia bentonica dei fondi mobili del piano infralitorale e dell'orizzonte superiore del Circolitorale nel tratto di mare prospiciente la foce del fiume Tevere. L'area di studio descritta è rappresentata da una fascia costa/largo di circa 4.5 miglia lunga circa 15 km (are complessiva di circa 230 Km²) situata nel tratto di mare antistante i due rami del fiume (Porto Canale di Fiumicino e Fiumara Grande). I campionamenti sono stati effettuati da marzo del 1976 a marzo del 1977 attraverso l'utilizzo di una draga a strascico modello “Charcot” caratterizzata da una capacità di circa 50 dm³. La disposizione dei punti di analisi e prelievo è stata effettuata secondo radili perpendicolari alla costa per un totale di 64 punti di campionamento; la batimetria interessata è stata 3-95m. In contemporanea alle operazioni di campionamento del benthos sono stati anche raccolti campioni di sedimento.

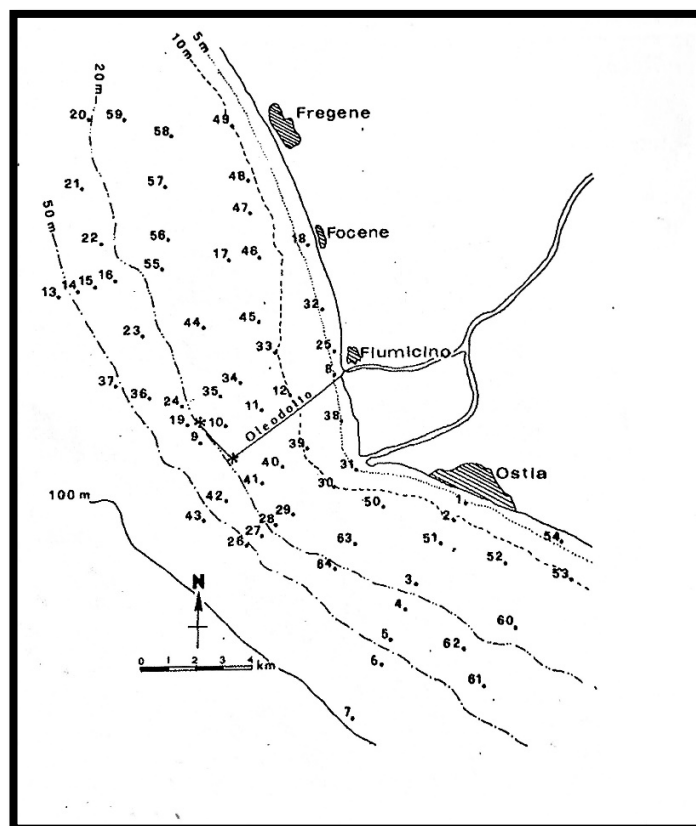


Fig. 90 Localizzazione delle stazioni di campionamento del benthos di fondo mobile (carte originali di Falciai et al., 1983)

L'analisi dei sedimenti ha permesso di identificare 3 zone/aree caratterizzate da differente granulometria:

- PRIMA ZONA (3-14m): dominanza della frazione psammitica.
- SECONDA ZONA (14-20m): area di transizione in cui la frazione psammitica viene gradualmente sostituita da quella pelitica; questa fascia si estende in



larghezza per circa 4 km. La fascia di transizione non è stata osservata nell'area antistante la foce principale del fiume Tevere in quanto in questo settore la componente pelitica è abbondante anche a batimetrie inferiori a causa del costante apporto di limo da parte del Tevere.

- TERZA ZONA (> 20m): area caratterizzata da peliti.

Nell'area localizzata a Nord della foce i substrati sono caratterizzati di una granulometria meno omogenea sia a causa della presenza di substrati limitrofi più eterogenei (secche, substrati rocciosi e praterie di fanerogame marine) sia a causa del canale di Focene.

L'analisi bionomica ha rilevato la presenza di 3 biocenosi (SFHN, SFBC e VTC) più una zona di transizione caratterizzata da frazioni sabbiose e fangose variabili.

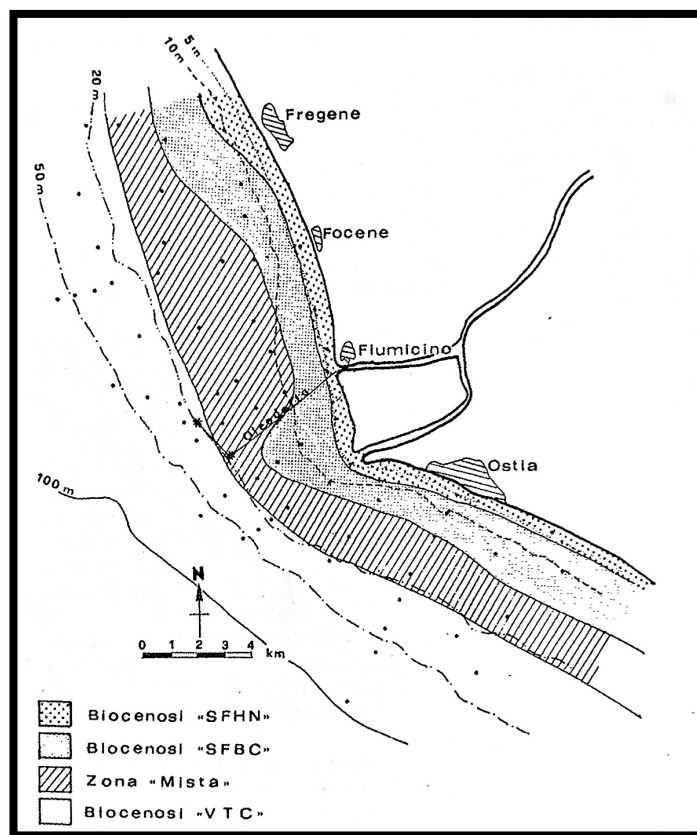


Fig. 91 distribuzione delle biocenosi bentoniche nell'area della foce del Tevere mobile (carte originali di Falciai et al., 1983).

SFHN

Si estende dal piano superiore dell'infralitorale fino ad una profondità di circa 3.5m ed è caratterizzata da sabbie fini e grossolane superficiali. Le specie caratteristiche di questa biocenosi sono soprattutto bivalvi sabulicoli come la *Donax semistriatus*, il *Lentidium mediterraneum* e la *Chamelea gallina*.

In questa fascia e soprattutto in prossimità dello sbocco del canale di Fiumicino sono stati campionati anche numerosi individui di *Pthisica marina*, *Athylus massilliensis* e *Corophium rucicorne*, queste specie appartengono all'ordine Amphipoda e sono probabilmente favoriti dall'apporto detritico del fiume. (Falciai & Spedini, 1985).

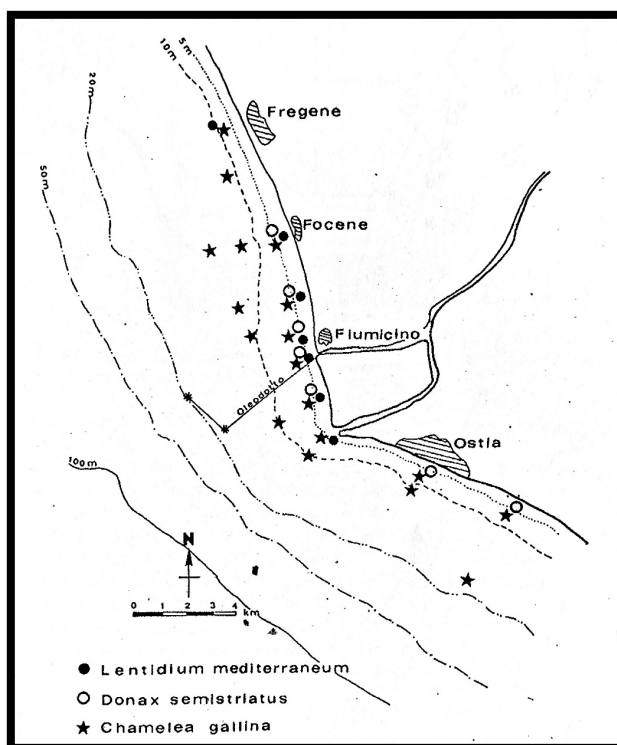


Fig.92 Distribuzione delle specie bentoniche caratteristiche della biocenosi SFHN (carte originali di Falciai et al., 1983).

SFBC

Questa biocenosi è localizzata in una fasci mediamente estesa e si osserva a partire dai 5 m fino ai 15 m di profondità. Le specie caratteristiche esclusive e preferenziali sono molteplici e possiamo citare: i crostacei decapodi *Diogenes pugillator* e *Liocarcinus vernalis*, il polichete tubicolo *Owenia fusiformis*, il bivalve *Spisula subtruncata* e l'echinoderma *Ophiura texturata*. Nel limite inferiore di questa biocenosi è abbondante anche il bivalve *Chamalea gallina* che viene gradualmente sostituito dalla *S. subtruncata* spostandosi verso maggiore profondità con massima abbondanza registrata a circa 10 m dove il sedimento è totalmente psammitico.

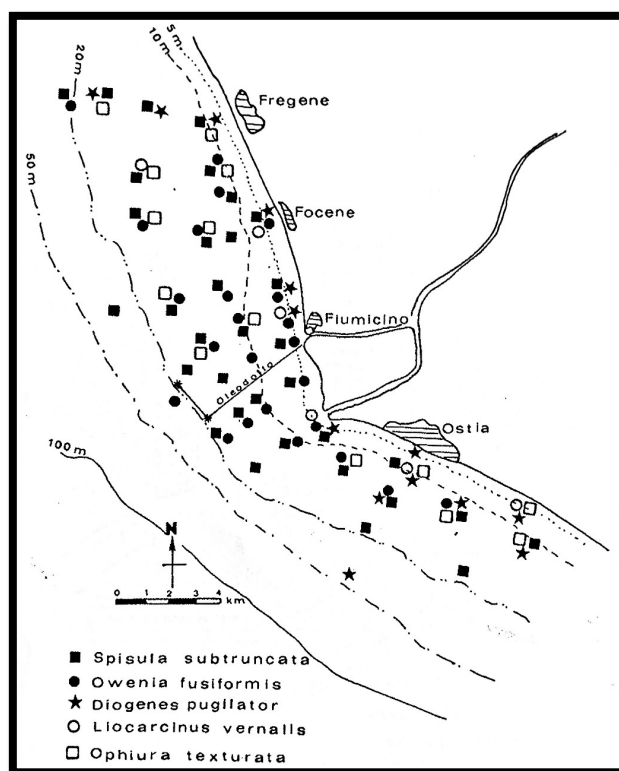


Fig. 93 Distribuzione delle specie bentoniche caratteristiche della biocenosi SFBC (carte originali di Falciai et al., 1983)

ZONA DI TRANSIZIONE

La zona di transizione è decisamente più estesa nell'area a nord della foce ed è alimentata dal costante apporto di sedimenti fluviali. questa zona denominata “mista” è caratterizzata da una comunità spiccatamente mixticola rappresentata maggiormente dal crostaceo decapode *Brachynotus sexdentatus*, dal gasteropode *Cyclina cylindracea* e dall'echinoderma *T. tergestina*.

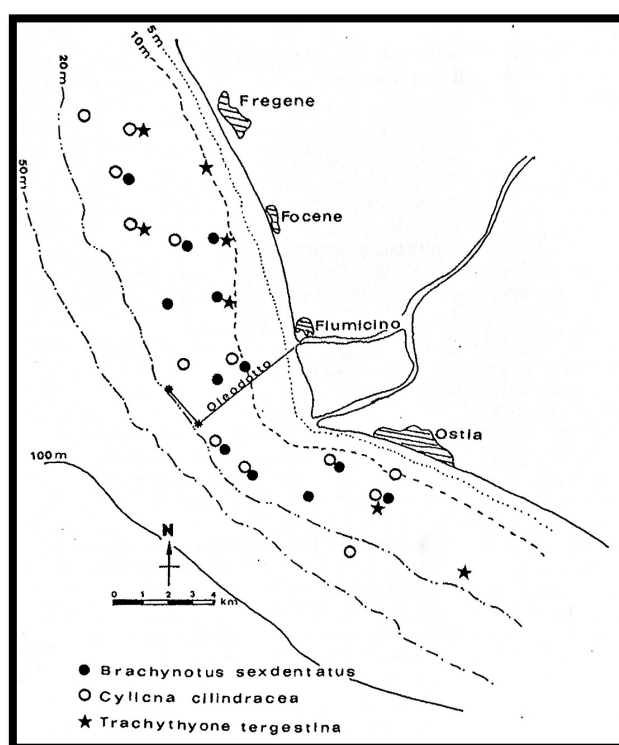


Fig.94 Distribuzione delle specie bentoniche caratteristiche della zona “mista” (carte originali di Falciai et al., 1983).

VTC

I fanghi terrigeni costieri, che si sviluppano a partire dai 20 m, sono dominati da specie esclusivamente fangofile che prediligono i substrati pelitici; tra le specie caratterizzanti troviamo i policheti *Sternaspis scutata* e *Nephtys spp*, il bivalve *Phaxas pellucidus*, l'echinoderma *Labidoplax digitata* e i decapodi *Processa spp.* e *Alpheus glaber*.

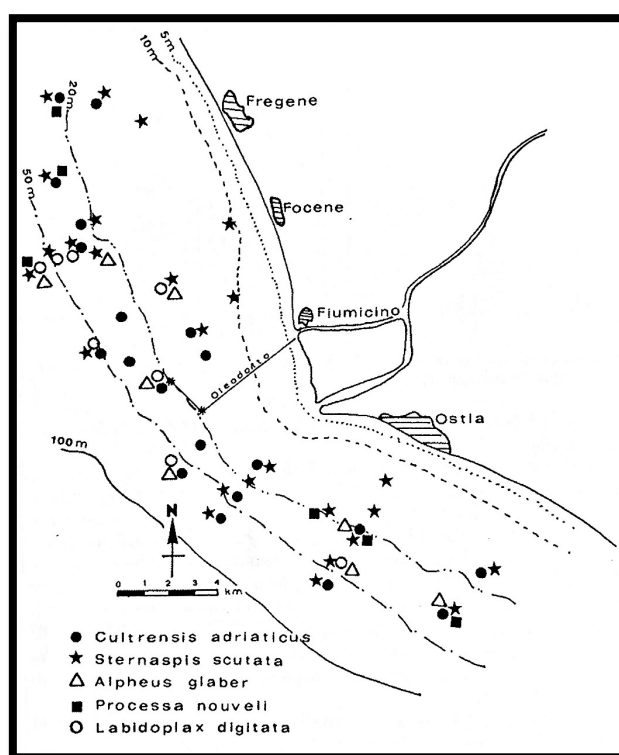


Fig.95 Distribuzione delle specie bentoniche caratteristiche della biocenosi VTC (carte originali di Falciai et al., 1983).

In totale sono state identificate 248 specie e i taxa dominanti sono risultati essere i Policheti, i Molluschi (maggiormente rappresentati dai bivalvi) e i crostacei (decapodi e anfipodi).

Si riporta di seguito la lista delle specie identificate:

Policheti

Sthenelais boa
Harmothoe lunulata
Harmothoe antilopis
Gattyana cirrosa
Sigalion mathildae
Leanira yhleni
Paralacydonia paradoxa
Phyllodoce laminosa
Phyllodoce macrophthalma
Eleone longa
Eleone picta
Eleone cfr. lactea
Nephtys hystericis
Nephtys incisa
Nephtys hombergii
Nephtys cirrosa
Glycera rouxi
Glycera convoluta
Glycera alba
Glycera capitata
Glycera unicornis
Glycera lapidum
Glycine normanni
Goniada maculata
Goniada emerita
Lumbrineris impatiens
Lumbrineris fragilis
Lumbrineris gracilis
Lumbrineris mandibulata mablii
Lumbrineris adriatica
Lumbrineris latreillei
Drilonereis filum
Onuphis conchilega
Onuphis eremita
Eunice vittata
Hyalinoecia faubeli
Hyalinoecia bilineata
Ancistrosyllis amata
Prionospio pinnata
Prionospio malmgreni
Spiophanes bombyx

Spiophanes kroyeri
Neritides cantabra
Nerine foliosa
Pygospio elegans
Spio filicornis
Laonice cirrata
Magelona cincta
Aricidea fragilis mediterranea
Chaetozone setosa
Tharix marioni
Tharix multibranchis
Tharix cfr. filibranchia
Tharix heterochaeta
Stylarioides eruca
Stylarioides monilifer
Diplocirrus glaucus
Brada villosa
Notomastus profundus-latericens
Notomastus aberans
Speudocapitella sp.
Capitellides ciardi
Clymene oerstedii
Clymene gracilis
Leiochone clypeata
Owenta fusiformis
Sternaspis scutata
Pectinaria auricoma
Pectinaria koreni
Amphiteis gunneri
Ampharete grubei
Melinna palmata
Sabellides ottocirrata
Anobothrus gracilis
Amage adspersa
Pista cristata
Octobranchus lingulatus
Laonice conchilega
Terebellides stroemi
Sabella fabrici
Dyalichone acustilca
Sabellidae sp.

Ditropa arletina
Polidora caeca
Polidora antennata

Gasteropodi

Circulus striatus
Turritella sp.
Epitonium commune
Leiostraca subulata
Calyptrea chinensis
Aporrhais pes-pelecani
Neverita josephina
Lunatia macilenta
Naticarius millepunctatus
Cassidaria echinophora
Sphaeronassa mutabilis
Cyclope sp.
Hinia sp.
Cythara attenuata
Cythara aurea
Pleurotomella sp.
Bela zonata
Bela branchiostoma
Bela smithi
Bela fuscata
Odostomia conoidea
Turbonilla rufa
Acteon tornatilis
Ringicula conformis
Cylichna cylindracea
Philine quadripartita

Scafopodi

Dentalium filum
Dentalium dentalis
Dentalium inaequicostatum

Bivalvi

Nucula nucleus

<i>Nucula sulcata</i>	<i>Pitar rudis</i>	<i>Eursirus longipes</i>
<i>Nuculana pella</i>	<i>Dosinia lupinus</i>	<i>Harpinia della-vallei</i>
<i>Solemya togata</i>	<i>Venerupis pullastra</i>	<i>Hippomedon massiliensis</i>
<i>Acar scabra</i>	<i>Venerupis rhonboides</i>	<i>Lembos angularis</i>
<i>Diluvarka corbuloides</i>	<i>Chione braquiesti</i>	<i>Lembos sp.</i>
<i>Mytilidae ind.</i>	<i>Chamelea gallina</i>	<i>Lepidepcreum longicorne</i>
<i>Musculus sp.</i>	<i>Chamelea tringularis</i>	<i>Leptocheirus bispinosus</i>
<i>Myrtea spinifera</i>	<i>Mysia undata</i>	<i>Leucothoe oboa</i>
<i>Thyasira cfr. flexuosa</i>	<i>Corbula gibba</i>	<i>Leucothoe occulta</i>
<i>Thyasiridae ind.</i>	<i>Lentidium mediterraneum</i>	<i>Leucothoe serraticarpa</i>
<i>Axinulus croulinensis</i>	<i>Hietella artica</i>	<i>Leucothoe sp.</i>
<i>Axinulus sp.</i>	<i>Pandora inaequalis</i>	<i>Maera schmidtii</i>
<i>Lepton nitidum</i>	<i>Pandora pinna</i>	<i>Maera sodalis</i>
<i>Mysella bidentata</i>	<i>Thracia papyracea</i>	<i>Microprotopus maculatus</i>
<i>Tellinmya ferruginosa</i>	<i>Thracia sp.</i>	<i>Monoculodes subnudus</i>
<i>Digitaria digitaria</i>		<i>Orchomene sp.</i>
<i>Acanthocardia aculeata</i>	<i>Echinodermi</i>	<i>Periculodes longimanus</i>
<i>Acanthocardia echinata</i>	<i>Astropecten jonstoni</i>	<i>Photis longicaudata</i>
<i>Acanthocardia paucicostata</i>	<i>Astropecten irregularis</i>	<i>Phthisica marina</i>
<i>Rudicardium tuberculatum</i>	<i>Ophiura texturata</i>	<i>Siphonocoetes sabatieri</i>
<i>Cardidae ind.</i>	<i>Ophiura grubei</i>	<i>Tryphosites longipes</i>
<i>Parvicardium exiguum</i>	<i>Amphiura filiformis</i>	<i>Urothoe pulchella</i>
<i>Plagiocardium papillicardium</i>	<i>Amphiura chiajei</i>	<i>Westwoodilla rectirostris</i>
<i>Macra stultorum</i>	<i>Acrocnida brachiata</i>	<i>Decapodi</i>
<i>Spisula subtruncata</i>	<i>Trachytyone elongata</i>	<i>Sicyonia carinata</i>
<i>Solen marginatus</i>	<i>Trachytyone tergestina</i>	<i>Alpheus glaber</i>
<i>Cultrensis adriaticus</i>	<i>Thyone fusus</i>	<i>Processa macrophthalma</i>
<i>Ensis ensis</i>	<i>Labidoplax digitata</i>	<i>Processa modica</i>
<i>Phaxes pellucidus</i>	<i>Echinocardium cordatum</i>	<i>Processa nouveli</i>
<i>Tellina fabuloides</i>		<i>Philocheras bispinosus</i>
<i>Tellina compressa</i>	<i>Crostacei</i>	<i>Philocheras trispinosus</i>
<i>Tellina nitida</i>	<i>Anfipodi</i>	<i>Calocaris macandreae</i>
<i>Tellina serrata</i>	<i>Amphelisca brevicornis</i>	<i>Diogenes pugilator</i>
<i>Tellina pulchella</i>	<i>Amphelisca sp.</i>	<i>Anapagurus chiroacanthus</i>
<i>Tellina distorta</i>	<i>Amphilochus brunneus</i>	<i>Anapagurus curvidactylus</i>
<i>Macoma cumana</i>	<i>Aora gracilis</i>	<i>Anapagurus bicorniger</i>
<i>Donax trunculus</i>	<i>Apherusa alacris</i>	<i>Eithusa mascarone</i>
<i>Donax semistriatus</i>	<i>Atilus massiliensis</i>	<i>Dorippe lanata</i>
<i>Donax sp.</i>	<i>Bathyporeia sp.</i>	<i>Ilia nucleus</i>
<i>Abra cfr. prismatica</i>	<i>Corophium rotundirostre</i>	<i>Liocarcinus pusillus</i>
<i>Abra alba</i>	<i>Corophium runcicorne</i>	<i>Liocarcinus zariquiey</i>
<i>Abra sp.</i>	<i>Corophium sp.</i>	<i>Liocarcinus vernalis</i>
<i>Azorinus chamasolen</i>	<i>Erichthonius brasiliensis</i>	<i>Goneplax romboides</i>
<i>Pharus legumen</i>	<i>Eustroides della-vallei</i>	<i>Brachynotus sexdentatus</i>
<i>Venus casina</i>		

Tab. 18 Lista delle specie



L'analisi quali quantitativa della fauna macrozoobentonica ha mostrato che nella zona situata a Nord della foce del Tevere è presente una comunità più abbondante e maggiormente diversificata rispetto alla zona Sud in cui la zoocenosi è più regolare ed omogenea; la ricchezza del settore settentrionale è favorita dal continuo apporto di sostanza organica fluviale che viene generalmente trasportata verso Nord dalle correnti locali. Gli apporti del Tevere favoriscono maggiormente le comunità di molluschi bivalvi e della carcinofauna mentre gli echinodermi sembrano essere sfavoriti nell'area prospiciente la foce. In generale negli anni 70 la fauna era ancora ricca e ben diversificata e il confronto con i dati futuri sarà essenziale al fine di identificare le potenziali variazioni delle zoocenosi che sono avvenute negli ultimi decenni.

Le secche di Tor Paterno

Le secche di Tor Paterno distano pochi chilometri dal sito di costruzione dell'opera e saranno monitorate mediante l'utilizzo di un ROV utile a raccogliere materiale video/fotografico. Al fine di evidenziare i potenziali impatti sulle comunità macrozoobentoniche sessili ascrivibili al coralligeno è qui presentata un'analisi delle zoocenosi che caratterizzano le secche rocciose.

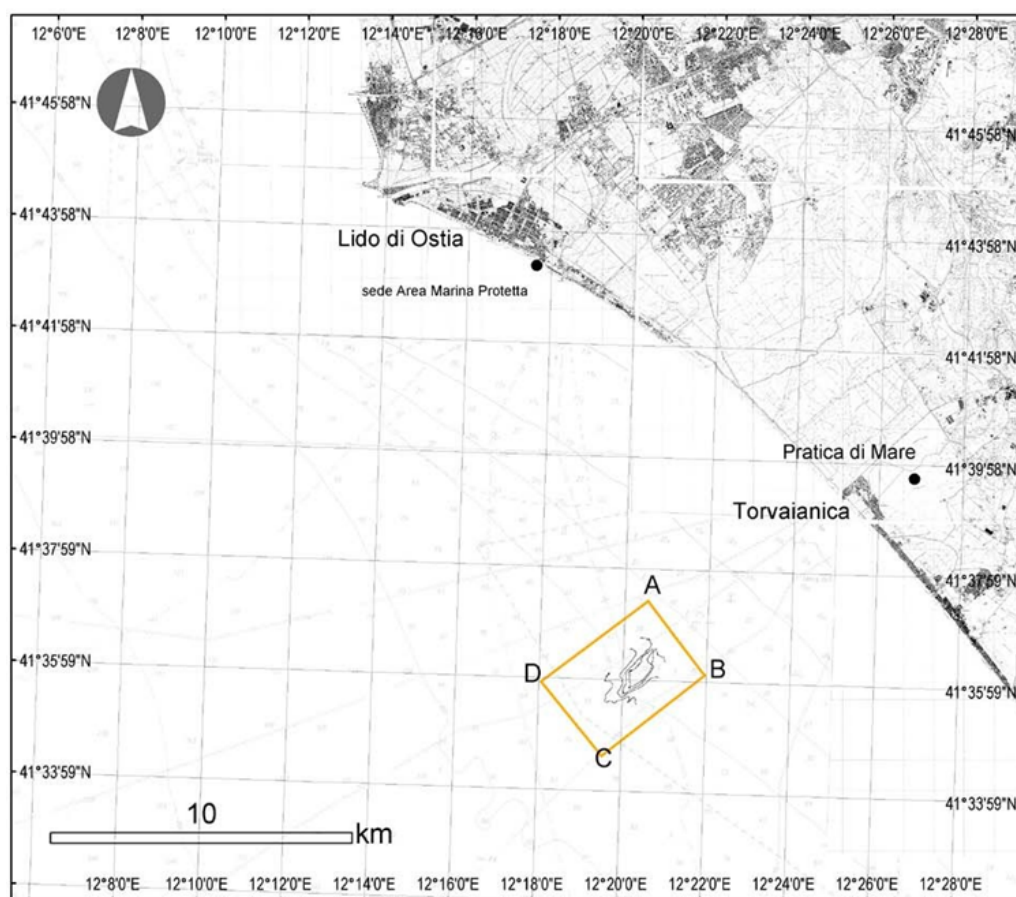


Fig. 96 localizzazione delle Secche di Tor Paterno.



Le Secche di Tor Paterno sono localizzate nel tratto di costa antistante la città di Torvaianica a circa 8 km dalla costa, presentano una superficie tutelata complessiva pari a 1387 ettari e possono essere suddivise in tre zone differenti:

- Le secche di terra: sono caratterizzate da numerose formazioni rocciose situate ad una profondità variabile di circa 8- 18m. Le secche di terra sono altamente eterogenee e presentano numerose biocenosi come le rocce infralitorali con presenza di alghe fotofile, le praterie di *P. oceanica* (su roccia e matte morta) e praterie di *Cymodocea nodosa*, rocce con mosaico di biocenosi fotofile e sciafile e coralligeno.

Le aree con maggior abbondanza di fauna bentonica sono la Falsamira, un'area rocciosa caratterizzata dalla presenza di numerose fenditure colonizzate da numerose specie di spugne e da estese colonie di *P. axinellae* e Le Principesse, un imponente struttura rocciosa di forma circolare che ospita estese colonie di *Eunicella cavolinii*.

- Le secche di mezzo: che si strutturano su substrato sabbioso ad una batimetria compresa tra i 19 e i 60 m. Le secche di mezzo sono sottoposte a tutela tramite AMP e ZSC al fine di tutelare le biocostruzioni coralligene e le praterie di *P. oceanica*. Queste strutture ospita una fauna bentonica sessile particolarmente ricca e diversificata dominata dai gorgoniacei coloniali come la *Paramuricea clavata* dalle specie del genere *Eunicella*, dall'*Parazoanthus axinellae*, dal falso corallo nero *Savaglia savaglia* e da numerose altre specie che caratterizzano il coralligeno mediterraneo (*Cladocora caespitosa*, *Corallium rubrum*, *Axinella* spp. ecc).



Il sito di immersione denominato “il Cappello” è caratterizzato da una struttura rocciosa che si estende dai 19 ai 23 m di profondità e presenta un substrato misto roccia-Posidonia in cui si osservano estese colonie di *E. cavolinii* e *P. clavata* oltre ad una straordinaria ittiofauna rappresentata da saraghi, corvine e pelagici di passo (tonni, ricciole, leccie ecc.).

I siti conosciuti come “la Grotta” e i Canaloni” sono caratterizzati dalla presenza di grandi massi con pareti verticali di oltre 10m che ospitano numerose colonie di gorgoniacei e numerose specie di pesci stanziali come murene, gronchi, cernie e castagnole rosse.

- Le secche di fuori: sono una modesta struttura rocciosa che dai 130m risale fino ai 110m di profondità.

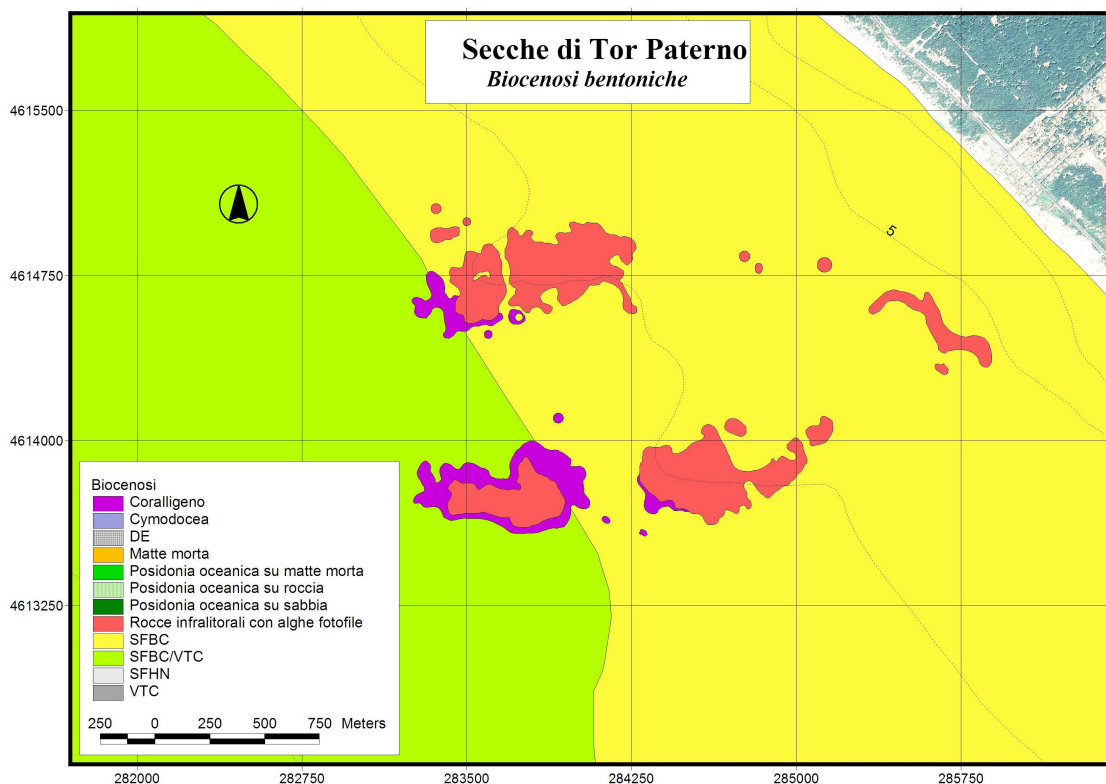


Fig.97 Mappa delle biocenosi nell'area delle Secche di Tor Paterno

Le biocenosi delle secche di Tor Paterno

La straordinaria biodiversità delle secche è favorita dall'eterogeneità ambientale dell'area che permette lo sviluppo di una zoocenosi ricca e diversificata rappresentata maggiormente dall'ittiofauna e dalle specie bentoniche sessili come gorgoniacei e spugne; la presenza di *P. oceanica* inoltre favorisce incrementa l'eterogeneità spaziale e dona energia al sistema. Ad oggi sono state identificate oltre 700 specie nell'area di cui un importante numero sono tutelate e protette.

Nome scientifico	Nome comune	Trattati o leggi che prevedono la protezione delle specie									
		Ail. II da ASPIM	Ail. III da ASPIM	BERNA Ail. 1	BERNA Ail.2	BERNA Ail.3	CITES Ail. A	CITES Ail. D	HABITAT Ail. 2	HABITAT Ail. 4	L. 157/92
Piante											
<i>Posidonia oceanica</i>	Posidonia	x		x							
Cnidari											
<i>Gerardia savaglia</i>	Falso corallo nero	x			x						
Molluschi											
<i>Erosaria spurca</i>	Ciprea	x			x						
<i>Luria lurida</i>		x			x						
<i>Schilderia achatidea</i>		x			x						
<i>Tonna galea</i>	Doglio	x			x						
<i>Charonia lampas</i>	Tritone	x			x						
<i>Mitra zonata</i>											
<i>Lithophaga lithophaga</i>	Dattero di mare	x			x					x	
<i>Pinna nobilis</i>	Pinna nobile o gnacchera	x								x	
Crostacei											
<i>Palinurus elephas</i>	Aragosta		x			x					
<i>Scyllarus arctus</i>	Cicala di mare		x			x					
Pesci											
<i>Hippocampus hippocampus</i>	Cavalluccio marino	x						x			
<i>Umbrina cirrosa</i>	Ombrina		x			x					

<i>Xiphias gladius</i>	Pesce spada		x								
Mammiferi											
<i>Tursiops truncatus</i>	Tursiope	x			x		x		x	x	x

Tab.19 Tabella delle specie protette riscontrate nelle Secche di Tor Paterno (Rapporto sullo stato dell'ambiente dell'Area Marina protetta "Secche di Tor Paterno", Ente Regionale per la Gestione del Sistema delle Aree Naturali Protette nel Comune di Roma).

La "Secca di Mezzo" è considerata l'area marina di maggior pregio naturalistico e circa un quinto dell'area marina protetta è interessato dalla presenza di substrati rocciosi del piano infralitorale e del piano circalitorale. La biocenosi dominante è il coralligeno, una biostruttura tipica del piano circalitorale alla quale si associa localmente, nelle aree più superficiali, la biocenosi delle praterie di *Posidonia oceanica*,

Si distinguono dunque:

- Mosaico di *Posidonia oceanica* su fondi duri o mobili o matte, roccia (prevalentemente pre-coralligeno e Coralligeno) e matte morta;
- Fondi rocciosi con Coralligeno spesso infangato; - Coralligeno con facies a *Paramuricea clavata*.
- Biocenosi delle alghe fotofile che si sviluppa nelle fasce più superficiali dell'infralitorale dove la radiazione luminosa è più intensa.

Una caratteristica peculiare delle Secche di Tor Paterno è l'associazione tra biosubstrati coralligeni e biocenosi tipiche del piano infralitorale che generalmente si osservano a profondità più limitate.

La *P. oceanica* inizia generalmente a diradarsi a partire dai 25 metri per dare spazio ai gorgoniacei coloniali come la *P. clavata* e l'*Eunicella* spp; oltre i 35 metri di profondità circa il substrato roccioso presenta accumuli di sedimento fine derivante dagli apporti fluviali del Fiume Tevere.

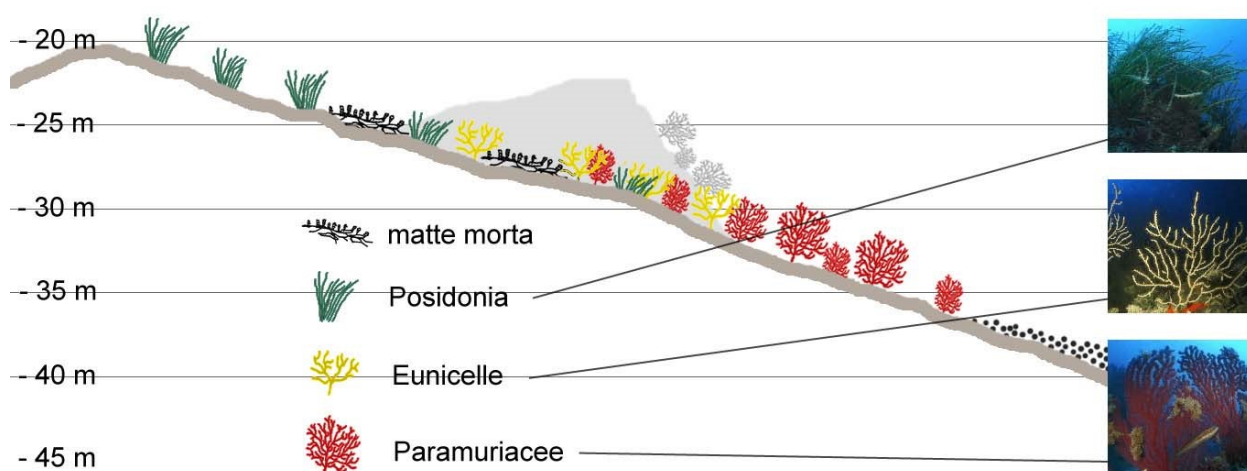


Fig.98 Rappresentazione schematica di una sezione della secca (Rapporto sullo stato dell'ambiente dell'Area Marina protetta "Secche di Tor Paterno", Ente Regionale per la Gestione del Sistema delle Aree Naturali Protette nel Comune di Roma).

Il **coralligeno** è sicuramente la biocenosi più rappresentativa delle Secche ed è considerata una bioformazione del circalitorale che si sviluppa in condizioni di scarsa illuminazione; il coralligeno si osserva generalmente a partire dal limite inferiore di compensazione della posidonia sulla base della trasparenza delle acque. Le secche di Tor Paterno, caratterizzate da acque relativamente torbide, mostrano formazioni pre-coralligene e coralligene a partire dai 18m -40.

Si riporta in seguito la lista delle specie più abbondanti in associazione con i substrati coralligeni delle secche:

SPECIE	INFORMAZIONI ECOLOGICHE
<i>Paramuricea clavata</i>	Nelle secche si osserva a partire dai 25m
<i>Eunicella</i> spp. (<i>E. cavolini</i> , <i>E. singularis</i>)	Gorgoniacei più superficiali che si osservano dai 15 m
<i>Savaglia Savaglia</i>	Noto come falso corallo nero prolifera sulle colonie di altri coralli.
<i>Alcyonium palmatum</i> e <i>A. acaule</i>	Gli alcionari sono comuni ed abbondanti sui substrati rocciosi e mobili.
<i>Cerianthus membranaceus</i>	Associato ai sedimenti mobili
<i>Sertella</i> spp.	Briozoo coloniale presente a partire dai 20m
<i>Pentapora fascialis</i>	Briozoo rilevato ad una profondità variabile tra i 20 e i 35 m.
<i>Clavelina</i> spp.	Comuni ed abbondanti sui substrati duri
<i>Parazoanthus axinellae</i>	Antozoo comune ed abbondante a partire dai 20m
<i>Flabelina</i> , <i>Peltodoris</i> e <i>Tritonia</i> <i>Felimare tricolor</i> <i>Janolus cristatus</i> <i>Thuridilla hopei</i>	Sono i generi più comuni di nudibranchi che si possono incontrare sulle secche
<i>Leptogorgia sarmentosa</i>	Gorgoniaceo che si osserva a partire dai 10m
<i>Peyssonelia</i> spp.	Alga rossa incrostante
<i>Sarcotragus fortidus</i> <i>Spongia lamella</i> <i>Cliona viridis</i>	Poriferi più abbondanti nelle secche

<i>Cladocora caespitosa</i>	Antozoo coloniale
<i>Luria lurida</i> <i>Litophaga litophaga</i> <i>Dendropoma petraeum</i> <i>Pinna rudis</i> <i>Spondilus gaederopus</i> <i>Tritonia nilshonderi</i> <i>Alvania settepassi</i> <i>Cerithiopsis nofronii</i> <i>Chrysallida moolenbeeki</i>	Molluschi più abbondanti sui substrati rocciosi delle secche
<i>Ophidiaster ophidianus</i> <i>Chaetaster longipes</i> <i>Astrospartus mediterraneus</i> <i>Centrostephanus longispinas</i>	Echinodermi censiti nelle secche
<i>Epinephelus marginatus</i> <i>Sciaenops ocellatus</i> <i>Micropogonias undulatus</i> <i>Gobius vittatus</i> <i>Epinephelus costae</i> <i>Murena helena</i> <i>Scorpaena porcus</i> <i>Scorpaena scrofa</i>	Ittiofauna
<i>Leptothamnium pruvotii</i>	Forma estese facies sui substrati rocciosi delle secche
<i>Madracis phaeensis</i>	Scleractinia coloniale
<i>Pinna nobilis</i>	Associata alle praterie di P. oceanica

<i>Palinurus elephas</i> <i>Schyllarides latus</i>	Crostacei decapodi
<i>Myliobatis aquila</i>	Aquila dimare
<i>Sabella spallanzanii</i>	Polichete tubicolo

Tab.20 Lista delle specie associate ad ambienti coralligeni delle secche di Tor Paterno secca (Rapporto sullo stato dell'ambiente dell'Area Marina protetta "Secche di Tor Paterno", Ente Regionale per la Gestione del Sistema delle Aree Naturali Protette nel Comune di Roma – Mappaggio, valutazione, monitoraggio di risorse marine per lo sviluppo del turismo subacqueo nell'Area Marina Protetta delle Secche di Tor Paterno.)

Le **biocenosi dei fondi mobili** hanno un'estensione predominante nelle Secche e rappresentano circa quattro quinti dell'AMP. Nel Rapporto sullo stato dell'ambiente dell'Area Marina protetta "Secche di Tor Paterno sono state censite oltre 200 specie macrozoobentoniche e il gruppo tassonomico dominante dal punto di vista della diversità è risultato essere quello dei policheti, con 112 specie, il 55% delle specie presenti. Seguono i molluschi, con 37 specie (il 19% di tutte le specie presenti), gli anfipodi con 18 specie (9%), i decapodi con 14 specie (7%), gli echinodermi con 12 specie (6%), gli isopodi con 4 specie (2%) e gli anisopodi con il 3 specie (2%). La zoocenosi è costituita principalmente è costituita da detritivori e da limivori e sono risultate abbondanti le specie fangofile.

Le cinque specie più abbondanti sono:

- *Lumbrineris latreilli* (Policheti).
- *Asclerocheliu intermedius* (Policheti).

- *Monticellina dorsobranchialis* (Policheti).
- *Turritella communis* (Molluschi).
- *Siphonocetes dellavallei* (Anfipodi).

Il popolamento localizzato sui margini a ridosso della secca è caratterizzato da un'abbondanza e da una diversità specifica maggiori (il 50% del popolamento analizzato) ed è risultato essere quello più strutturato. Probabilmente questa abbondanza è favorita dalla presenza di una fascia mista di transizione, alimentata dalle formazioni rocciose, in cui è presente sedimento grossolano di origine organica (gusci di conchiglie, scheletri vari, concrezioni calcaree, ecc.); Questo ecotono consente lo strutturarsi di una comunità più eterogenea costituita da specie tipiche di differenti biocenosi (SFBC, DC, DF e VTC).

La fauna macrozoobentonica associata alla *P. oceanica* è risultata essere rappresentata da circa 170 specie; la comunità è rappresentata maggiormente dai Molluschi (52 specie), dai Policheti (44 specie), dagli Anfipodi (30 specie), dai Decapodi (28 specie), dagli Echinodermi (7 specie), dagli Isopodi (6 specie) e dagli Anisopodi (1 specie).

Le specie quantitativamente dominanti (che da sole costituiscono il 37,5% della comunità macrozoobentonica sono (in ordine decrescente di abbondanza):

- *Bittium reticulatum* (Molluschi).
- *Gouldia minima* (Molluschi).
- *Thoralus cranchii* (Crostacei decapodi)
- *Hippolyte leptocerus* (Crostacei).



- *Echinocyamus pusillus* (Echinodermi).
- *Parvicardium ovale* (Molluschi).
- *Amphilopsis squamata* (Echinodermi).
- *Harmotoe antilopes* (Policheti).
- *Athanas nitescens* (Crostacei).

In generale la fauna macrozoobentonica associata alle praterie di *P. oceanica* delle Secche di Tor paterno è rappresentata da specie detritivore e limivore favorite dalla sostanza organica prodotta dalla pianta stessa e dagli apporti del Fiume Tevere.

3.5.4 Valutazione della qualità ambientale - AMBI index

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. Uno degli indici più usati in Europa negli ultimi anni è l’AMBI (ATZI’s Marine Biotic Index), Il



valore dell'm-AMBI varia tra 0 ed 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) richiesto dalla Direttiva 2000/60/CEE.

L' EcoQS dell'area di studio, ricavato attraverso AMBI index, è stata analizzata e stata analizzata e descritta nella Relazione ARPA del 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". Questo lavoro ha analizzato la qualità ambientale in 4 zone comprese nell'area di studio: Santa Marinella, Fregene, Pomezia e Anzio; i risultati di questo lavoro ci indicano che le aree analizzate presentano uno stato di qualità ambientale "Leggermente disturbato" e che nell'area antistante la città di Pomezia, sia a costa che a largo, l'ambiente risulta essere "Non disturbato".

Stations	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI	BI from Mean AMBI	Disturbance Classification
S.Marinella C	14.8	45.8	26.1	13.3	0	2.075	2	Slightly disturbed
S. Marinella L	22.6	48.6	23.3	5.4	0	1.731	2	Slightly disturbed
Ladispoli C	35.9	35.7	5	23.4	0	1.728	2	Slightly disturbed
Ladispoli L	28.6	26.7	34	9.4	1.3	1.934	2	Slightly disturbed
Pomezia C	3.5	90.1	4	2.4	0	1.588	2	Slightly disturbed
Pomezia L	17.6	25.9	16.5	34.1	5.9	2.346	2	Slightly disturbed
Anzio C	46.7	29.2	18.9	5.3	0	1.306	2	Slightly disturbed
Anzio L	20.6	37.2	32.2	8.3	1.7	1.996	2	Slightly disturbed

Tab.21 Valori dell'indice AMBI nelle stazioni analizzate (campagna autunnale).

Stations	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI	BI from Mean AMBI	Disturbance Classification
S.Marinella C	30.9	20.3	43.7	5.1	0	1.668	2	Slightly disturbed
S. Marinella L	30.5	32.6	31.7	5.2	0	1.702	2	Slightly disturbed
Ladispoli C	53.6	18.8	16.4	11.3	0	1.338	2	Slightly disturbed
Ladispoli L	30.7	21.3	29.7	15.8	2.5	2.046	2	Slightly disturbed
Pomezia C	54.2	23.1	11.5	11.1	0.2	1.196	1	Undisturbed
Pomezia L	18.1	38.4	26.8	15.9	0.8	2.147	2	Slightly disturbed
Anzio C	3.9	77.4	16.3	2.3	0	1.763	2	Slightly disturbed
Anzio L	23	37.2	8	29.2	7.1	2.424	2	Slightly disturbed

Tab.22 Valori dell'indice AMBI nelle stazioni analizzate (campagna estiva)

La somma delle percentuali dei gruppi di specie I e II, che comprendono le specie più sensibili, superi di gran lunga il valore del 50% in praticamente tutte le stazioni analizzate ed in entrambe le stagioni di campionamento: per quanto riguarda la campagna estiva, le percentuali più alte delle abbondanze del gruppo I sono state riscontrate nella stazione di nelle stazioni di Pomezia Costa e Largo; nella campagna autunnale le percentuali più elevate delle abbondanze del gruppo I sono state riscontrate nelle stazioni Santa Marinella.

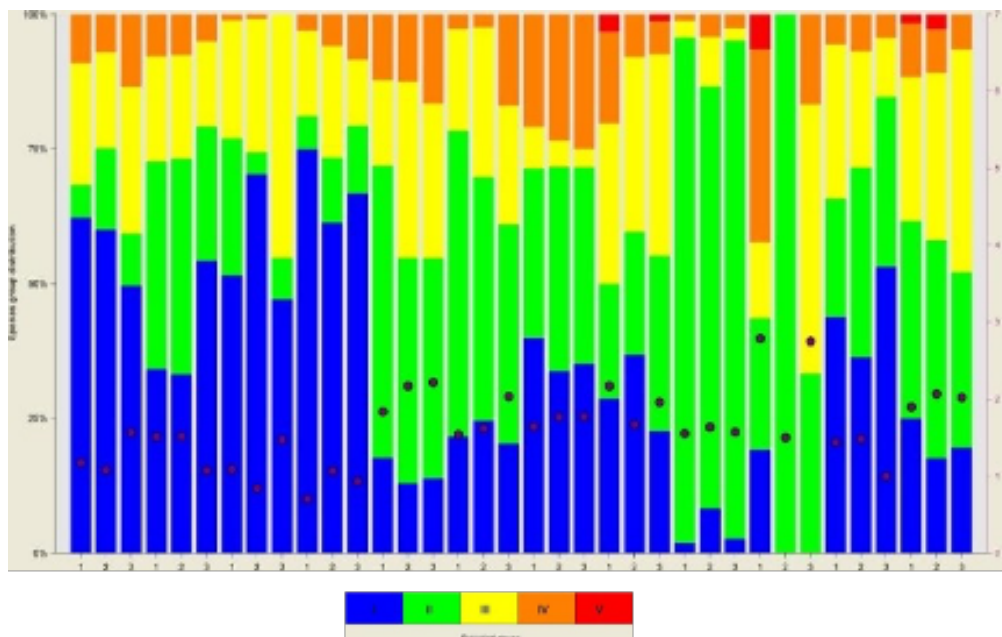


Fig. 99 Istogramma che mostra le percentuali di abbondanza per gruppo ecologico (campagna autunnale)

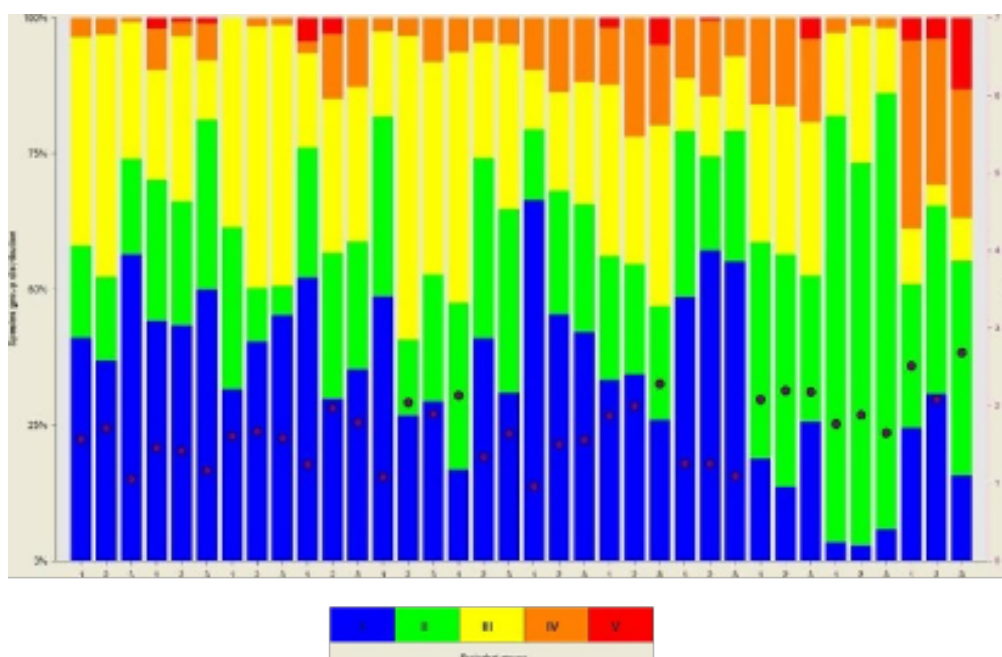


Fig.100 Istogramma che mostra le percentuali di abbondanza per gruppo ecologico (campagna estiva)



L'analisi dell'indice M-AMBI ha mostrato che nei mesi di Giugno e Luglio i valori del M-AMBI valutano "Alto" lo stato della qualità ambientale delle stazioni di Anzio Costa e Largo, Pomezia Largo, Fregene Largo, Santa Marinella Largo e Lido di Tarquinia Costa, mentre lo stato ambientale risulta "Buono" in tutte le altre stazioni. Per i mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre i valori del M-AMBI considerano tutte le stazioni in uno stato ambientale "Alto", tranne che nelle stazioni Pomezia Costa che mostra valori afferenti alla categoria "Buono".

Stations	AMB I	Diversity	Richness	X	Y	Z	M-AMBI	Status
Bad	6	0	0	0.21	4.31	4.08	0.00	Bad
High	0.9	5.1	72	-1.48	-1.56	-1.64	1.00	High
S.Marinella C	2.075	4.21	51	-0.04	-0.30	-0.20	0.76	Good
S.Marinella L	1.731	4.67	59	-0.55	-0.83	-0.75	0.85	High
Ladispoli C	1.728	3.38	38	0.17	0.37	0.43	0.68	Good
Ladispoli L	1.933	4.44	53	-0.23	-0.51	-0.38	0.79	High
Pomezia C	1.587	1.13	41	0.52	1.63	0.56	0.57	Good
Pomezia L	2.346	4.34	30	0.54	0.80	0.72	0.65	Good
Anzio C	1.306	4.48	63	-0.88	-0.91	-0.99	0.89	High
Anzio L	1.996	4.25	35	0.23	-0.02	0.43	0.70	Good

Tab.23 Risultati relativi all'indice M-AMBI per stazione, nella stagione autunnale

Stations	AMBI	Diversity	Richness	X	Y	Z	M-AMBI	Status
Bad	6	0	0	4.54	4.43	4.73	0.00	High
High	1.2	5.4	91	-1.38	-1.71	-1.32	1.00	High
S.Marinella C	1.668	4.39	91	-0.67	-1.31	-0.74	0.91	High
S.Marinella L	1.702	4.46	59	-0.22	-0.18	-0.25	0.79	High
Ladispoli C	1.338	4.97	57	-0.60	-0.35	0.61	0.84	High
Ladispoli L	2.046	5.40	65	-0.71	-0.52	-0.36	0.84	High
Pomezia C	1.196	5.07	79	-1.02	-1.21	-1.06	0.94	High
Pomezia L	2.147	4.77	64	-0.32	-0.29	-0.11	0.80	High
Anzio C	1.763	1.84	46	1.42	0.97	0.68	0.59	Good
Anzio L	2.424	3.93	29	0.75	1.25	0.82	0.60	Good

Tab.24 Risultati relativi all'indice M-AMBI per stazione, nella stagione autunnale

3.6 PESCA E COMUNITA' ITTICA

Il mare per l'Italia è di importanza vitale e culturale, infatti la nostra penisola si affaccia sul Mediterraneo centrale coprendo un'area di 301 270 km²; i mari italiani hanno donato prosperità e lavoro alle popolazioni costiere fin in dalla notte dei tempi e oggi il nostro territorio ospita circa 58 milioni di abitanti. La pesca, fonte di reddito e di cibo, è svolta lungo tutte le coste italiane, dalle acque superficiali fino ad oltre le 12 miglia, ed è caratterizzata da un'altissima eterogeneità: molteplici sono infatti le tecniche, gli attrezzi e le tipologie di imbarcazione utilizzate per la pesca nazionale e questa diversificazione trova la sua genesi nella storia dei nostri territori e nelle tradizioni locali. Sebbene la pesca fornisca un contributo limitato al PIL nazionale (poco più dello 0.5%) questo contributo varia molto nelle diverse regioni italiane e risulta più significativo al sud.

La pesca in Italia è caratterizzata da: predominanza di piccole barche relativamente vecchie, ampia dislocazione della flotta lungo la costa, distribuzione frammentaria dei punti di sbarco e vendita e una grande diffusione di tecniche di pesca di tipo polivalente. La flotta è altamente diversificata con un'ampia gamma di tipi di navi destinate a specie target, oltre il 70% della flotta nazionale è rappresentata da pescherecci di piccola scala (lunghezza inferiore a 12 metri) e pratica varie tipologie di pesca in base alle località (regioni) e alla stagionalità. Gli attrezzi maggiormente utilizzati nella piccola pesca sono passivi e sono gestiti da equipaggi di due o tre pescatori che generalmente pescano per periodi limitati (da 12 ore a massimo 3 giorni consecutivi in mare), tra essi troviamo: reti da circuizione, reti a strascico di diverse dimensioni, reti da traino (volanti), draghe (turbo soffiante per bivalvi) e tramagli.

La composizione specifica degli sbarchi della pesca nazionale è molto eterogenea e riflette sia le diverse tecniche e i diversi attrezzi in uso sia le caratteristiche e la biodiversità locale delle varie zone di pesca. Il valore degli sbarchi registrato 2017 è stato



di 0.97 miliardi di euro ed il contributo economico delle differenti specie target è stato molto diverso: i crostacei sono i maggiori contributori con il 28% (scampi, gamberi, stomatopodi e brachiuri) del valore totale seguiti dai cefalopodi con il 15% (polpo, moscardini, seppia, calamaro e totano), dall'acciuga con l'8%, dal coregone (*Coregonus laveretus*) (7%) e dai pesci piatti (sogliola, rombo, passera e suacia) (3%) (The 2019 Annual Economic Report on the EU Fishing Fleet (STECF 19-06)).

Dalla risoluzione 31/2007/2 della Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo (General Fishery Commission for the Mediterranean - GFCM), su indicazioni del Comitato Scientifico Consultivo (Scientific Advisory Committee - SAC) il Mar Mediterraneo è stato suddiviso in 30 sub-aree geografiche, denominate GSA (Geographic Sub Areas) e le coste laziali rientrano nel GSA 9. La GSA 9 si estende per 42.410 km² e comprende il Mar Ligure e il Mar Tirreno centro-settentrionale e rientra nella divisione FAO 37.1.3 (Sardegna); l'area totale interessa 1.245 km di costa e include la Liguria, la Toscana e il Lazio e dieci Compartimenti marittimi, più una parte di quello di Gaeta (NISEA, 2019).

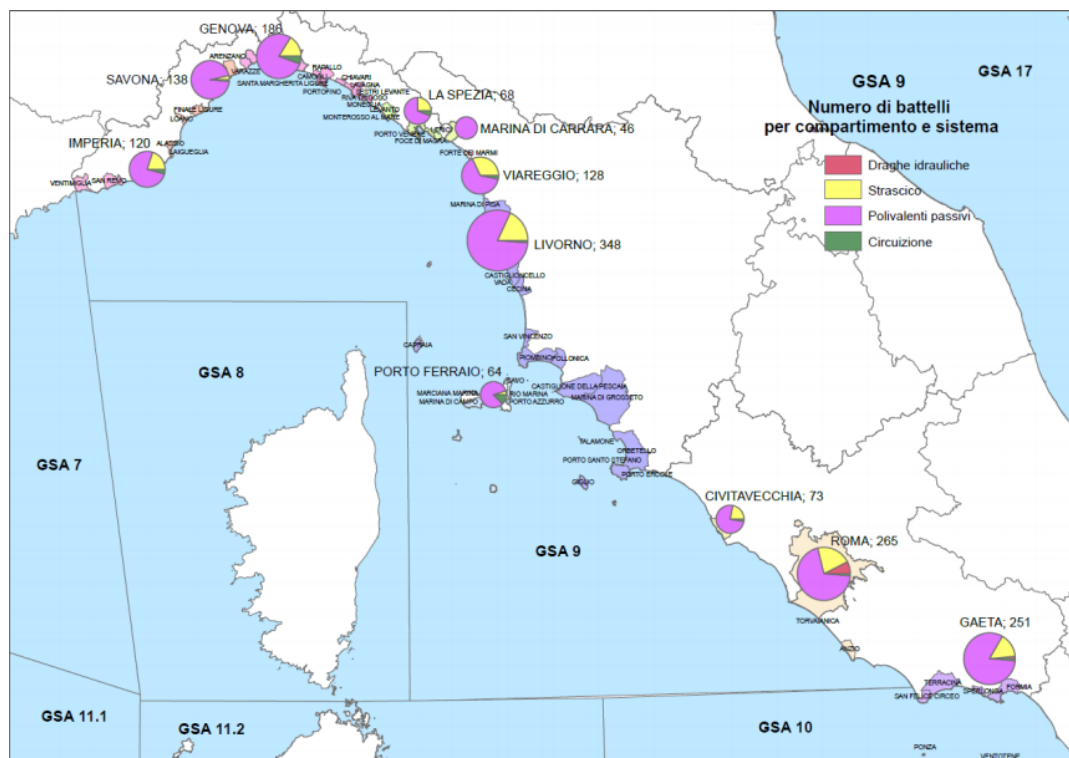


Fig 101 Mappa degli uffici di iscrizione della GSA 9 e caratterizzazione della flotta nei compartimenti (FONTE: elaborazione NISEA su Programma nazionale Raccolta dati).

Nel GES 9 le tipologie di pesca effettuate sono molteplici e la flotta è composta soprattutto da imbarcazioni da strascico e polivalenti passive.

Tecnica di pesca	Classe LFT	Numero battelli	Tonnellaggio (GT)	Potenza motore (kW)	LFT medio	Età media battello
Draghe	VL0612	4	29	492	11	37
	VL1218	20	208	2.110	12	30
Strascico	VL0612	22	127	1.629	10	37
	VL1218	138	2.908	21.515	15	33
	VL1824	124	6.834	34.018	21	36
	VL2440	9	818	4.325	26	31
Polivalenti passivi	VL0006	299	303	2.643	5	35
	VL0612	968	2.246	41.118	8	32
	VL1218	53	796	9.781	14	29
Circauzione	VL1218	29	531	4.497	15	28
	VL1824	9	415	2.425	21	32
	VL2440	8	603	3.009	26	38
Totale GSA 9		1.693	15.817	127.560	10	33

Tab. 25 Composizione della flotta della GSA 9, per tecnica di pesca e classi di lunghezza (Lunghezza Fuori Tutto, LFT; 2016) (FONTE: elaborazione NISEA su Programma nazionale Raccolta dati)

La quasi totalità delle imbarcazioni a strascico della GSA 9 effettua bordate di pesca di un giorno, ad eccezione di alcune flottiglie, in particolare quella di Porto Santo Stefano, ove è consuetudine fare uscite di pesca anche di due giorni e, più raramente di tre, specie nel periodo estivo e se diretti verso aree di pesca particolarmente distanti, come quelle localizzate a Nord dell'Isola d'Elba o verso la Sardegna settentrionale. Nel 2019, il quantitativo totale delle catture realizzate dallo strascico è stato di circa 8.000 tonnellate. La caratterizzazione qualitativa del pescato ha evidenziato l'elevata presenza di pesci (58%), seguiti da molluschi (27%) e crostacei (15%) e le specie più pescate sono state i naselli, le triglie di fango e i moscardini bianchi, ma hanno mostrato un'abbondanza importante anche scampi, gamberi rosa e gamberi rossi e viola (NISEA, 2019; Mipaaf, 2020)

Nel Lazio la flotta peschereccia marittima regionale è dislocata, dal punto di vista amministrativo, nei tre compartimenti marittimi di Civitavecchia, Roma e Gaeta e all'interno del settore costiero oggetto del nostro studio operano principalmente tre marinerie: la marineria di Civitavecchia, la marineria di Fiumicino e La Marineria di

Anzio. Nei mari del Lazio la categoria di pesca più rappresentativa è la pesca a strascico e le principali risorse demersali della piattaforma continentale sono il nasello (*Merluccius merluccius*), la triglia di fango (*Mullus barbatus*), i pagelli (in particolare *Pagellus erythrinus*) e, fra i Cefalopodi, i totani (ad es. *Todarodes sagittatus*, *Ilex coindetii*), le seppie (soprattutto *Sepia officinalis*), i polpi (in particolare *Octopus vulgaris*) e i moscardini (*Eledone spp.*) Il gambero rosa (*Parapenaeus longirostris*), lo scampo (*Nephrops norvegicus*) e i gamberi rossi (*Aristaeomorpha foliacea* ed *Aristeus antennatus*) sono le risorse più importanti della scarpata continentale e dei fondi batiali in cui si pratica la pesca profonda (Mipaaf 2020; Cataudella & Spagnolo, 2011).

3.6.1 La marineria e la pesca a Civitavecchia

Il Compartimento Marittimo di Civitavecchia, che si estende a settentrione fino alla foce del fiume Arrone e a sud fino ai ruderi di San Nicola e comprende le seguenti marinerie: Montalto di Castro, Tarquinia, Civitavecchia, Santa Marinella, Santa Severa e Ladispoli. All'interno dell'intero Compartimento Marittimo, i sistemi di pesca sono piuttosto eterogenei e circa 14 imbarcazioni si dedicano esclusivamente alla pesca a strascico. Si tratta di imbarcazioni con lunghezza fuori tutto (Lft) compresa tra i 14.98 e i 25.75 m e con stazza lorda (GT) tra 21 e 69 tonnellate. Analizzando le aree utilizzate per la pesca a strascico si possono chiaramente distinguere due attività di pesca, basate sullo sfruttamento di specie target diverse: la pesca ravvicinata, che opera sulla batimetrica tra i 50 e i 120 metri di profondità, e la pesca profonda, che esercita la propria attività tra i 240 e i 500 metri di profondità.

Quella di Civitavecchia è una pesca a strascico i cui pescherecci esercitano la loro attività nel tratto di mare prospiciente la costa civitavecchiese stessa, senza allontanarsene mai troppo. Lo sfruttamento della risorsa marina si basa sulla cattura di poche specie target, situazione simile si ha nel contesto nazionale. In particolare, vengono prevalentemente



sfruttate il Nasello (*M. merluccius*), la triglia di fango (*M. barbatus*), la spatola (*L. caudatus*), il gambero rosa (*P. longirostris*), lo scampo (*N. norvegicus*) e il moscardino (*Eledone spp.*). Si possono chiaramente distinguere due attività di pesca, basate sullo sfruttamento di specie target diverse: la pesca ravvicinata, che opera sulla batimetrica tra i 50 e i 120 metri di profondità, e la pesca profonda, che esercita la propria attività tra i 240 e i 500 metri di profondità. Tra queste due fasce batimetriche, vi è una zona in cui la pesca non viene praticata, poiché i rendimenti delle specie target principali, la maggior parte delle quali si concentra in fasce batimetriche relativamente strette, sarebbero minori e quindi economicamente poco convenienti. Specie target della pesca ravvicinata sono il Nasello, la Triglia di Fango, il Moscardino e il Gambero Rosa. Nella pesca profonda troviamo ancora il Nasello e il Gambero Rosa, specie euribate, assieme alla Spatola e allo Scampo, specie, soprattutto l'ultima, di acque profonde. Lo Scampo rappresenta la specie target principale della pesca profonda. Oltre i 500 metri di profondità la pesca non viene esercitata e questo giustificherebbe l'assenza dal mercato di due crostacei di elevato pregio: il gambero viola (*Aristeus antennatus*) e il gambero rosso (*Aristaeomorpha foliacea*); entrambe le specie, infatti, vengono generalmente pescate in quantitativi significativi dai 501 agli 800 metri di profondità. Solo pochissime specie euribate di interesse commerciale, come il Nasello e il Gambero Rosa, coprono un range batimetrico che va dalle acque meno profonde della pesca ravvicinata fino ai 500 metri di profondità. Di tutte le imbarcazioni a strascico presenti nel Porto di Civitavecchia, solo una pratica con assiduità la pesca profonda, mentre tutte le altre si dedicano alla pesca ravvicinata e, alcune di queste ultime, in determinati periodi dell'anno, intraprendono solo per brevi periodi la pesca profonda (Tiralongo, 2016).

3.6.2 La marineria e la pesca di Fiumicino

La flotta peschereccia di Fiumicino, che è opera nel territorio da ormai decenni, è considerata la più importante della regione Lazio e una delle più rappresentative del Tirreno Centrale. Essa è rappresentata da 35 motonavi che operano strascico demersale e da circa 10 turbo-soffianti adibite alla cattura dei molluschi bivalvi; inoltre sono presenti oltre 60 unità di piccola pesca che usano attrezzi fissi come reti posta e palangari. La piccola pesca, categoria che racchiude, a Fiumicino, tutte le imbarcazioni che non praticano la pesca a strascico, si esercita con imbarcazioni di piccole dimensioni (lunghezza inferiore ai 12 m) e limitate motorizzazioni (raramente superiori ai 100 HP). Generalmente a bordo di ciascuna unità si trova un solo imbarcato. Le imbarcazioni da strascico sono caratterizzate da lunghezza fuori tutto (Lft) compresa tra i 12 e i 30 m, stazza lorda (GT) totale di circa 2.054 e una potenza (KW) totale di circa 10.507 (PO-FEAMP 2014-2020, MODELLO STRATEGIE DI SVILUPPO LOCALE DI TIPO PARTECIPATIVO- FLAG “LAZIO MARE CENTRO” Elaborazione su dati MiPAAF - Archivio Licenze Pesca 2007- 2015). Il tratto di costa in cui opera questa flotta va da Capo Circeo a Capo Dinaro (80 miglia, 160 Km circa); lo strascico viene effettuato soprattutto su substrati sabbiosi, misti e fangosi ma alcune imbarcazioni si spostano fino alle secche di Palo e alla Secca della Vaccina (settore costiero compreso tra Santa Severa e Ladispoli), localizzate a Nord del Porto e in aree limitrofe alle secche di Tor Paterno (sud). La pesca in queste aree più eterogenee ha lo scopo di insediare specie associate a substrati misti con presenza di rocce (Sparidi, Carangidi ecc.). I substrati mobili antistanti la Foce del Tevere, alimentati regolarmente dagli apporti continentali, godono di un’altissima abbondanza di molluschi bivalvi e da sempre questi fondali sono stati sfruttati per la raccolta di numerose specie tramite l’utilizzo di rastrelli e turbo-soffianti; tra le specie più apprezzate troviamo: il lupino (*Chamalea galina*), il cannolicchio (*Solen marginatus*) e le telline. Per quanto riguarda le specie associate allo strascico le più



pescate sono sicuramente le triglie (*Mullus spp.*), il merluzzo (*M. merluccius*), la spigola (*D. labrax*), le seppie (*S. officinalis*), i calamari (*Loligo sp* e *I. coindietii*) e la spannocchia (*S. mantis*) ma numerosi sono anche le specie secondarie catturate in base alla stagionalità come palamite, orate, pesce azzurro, lampughe ecc.

3.6.3 La marineria e la pesca di Anzio

Il porto di Anzio dispone di 400 posti barca e detiene il primato nei porti del Lazio per il numero di imbarcazioni dedicate alla piccola pesca (61, pari al 19% regionale). In totale operano nel settore costiero di Anzio circa 120 imbarcazioni da pesca di cui 25 sono adibite alla pesca a strascico. Per quanto riguarda le caratteristiche delle paranze, esse sono caratterizzate da una lunghezza fuori tutto (Lft) compresa tra i 12 e i 26 metri e una stazza lorda (GT) totale di circa 1.809 e una potenza (KW) di circa 12.001 (PO-FEAMP 2014-202, MODELLO STRATEGIE DI SVILUPPO LOCALE DI TIPO PARTECIPATIVO- FLAG “LAZIO MARE CENTRO” Elaborazione su dati MiPAAF - Archivio Licenze Pesca 2007- 2015). La pesca a strascico nel settore costiero di Anzio viene effettuata con uscite giornaliere di circa 12-14 ore e le imbarcazioni effettuano le azioni di pesca anche in aree distanti come: Ostia, Sabaudia, Terracina e Monte Circeo; come nel caso di Civitavecchia si possono distinguere due diverse tipologie di pesca a strascico: la pesca costiera, effettuata tra le batimetriche dei 50 m e dei 150 m e la pesca di largo, che viene effettuata fino alla profondità di 600 m (15 miglia dalla costa). L’alta eterogeneità dei fondali favorisce la presenza di un’ittiofauna ricca e diversificata che favorisce la cattura di specie associate ai substrati duri e misti come l’orata (*Sparus aurata*), i saraghi (*Diplodus spp.*) e il dentice (*Dentex dentex*). Per quanto concerne le specie più commercializzate possiamo citare: il capelano (*Trisopterus minutus*), gli scorfani (*Scorphaena spp.*), le mazzancolle (*Penaeus keratulus*), le triglie (*Mullus spp.*), il sughero (*Trachurus trachurus*), la rana pescatrice (*Lophius piscatoris*) il polpo (*O.*



vulgaris), il merluzzo (*M. merluccius*), i pagelli (*Pagellus spp.*) e i moscardini (*Eledone spp.*).

I dati specifici di cattura (specie target e variazioni quali quantitative) e le analisi degli andamenti annuali del pescato locale per le tre marinerie oggetto di studio saranno inseriti nella relazione della FASE 1.

3.7 MODELLISTICA NUMERICA

3.7.1 Considerazioni generali

I modelli matematici sono degli strumenti essenziali nelle fasi di progettazione e gestione di un intervento. In particolare, dove si riscontrano criticità a livello ambientale, possono supportare le scelte progettuali e le modalità tecnico-operative, minimizzando così l'impatto antropico nei diversi ambienti quali: aree litoranee, bacini semichiusi, aree a largo, di transizione, fiumi, laghi, aree di “*nursery*” o aree marine protette, ecc.

Come riportato in diversi manuali e studi scientifici (ISPRA, 2017), per stabilire le principali criticità ambientali dettate dagli interventi antropici, in primo luogo bisognerà effettuare una fase preliminare, con l'obiettivo di prevedere i possibili danni legati alle modifiche dell'ambiente. Qualora la fase conoscitiva preliminare evidenziasse la possibile insorgenza di specifiche criticità ambientali si passerà alla fase modellistica preliminare, nella quale, attraverso l'utilizzo di modelli semplificati, si potrà stimare l'area interessata dalle alterazioni antropiche e quindi scegliere le migliori modalità tecnico-operative. Nel caso in cui la fase modellistica preliminare metta in evidenza criticità ambientali si passerà ad una fase modellistica più dettagliata che ha come obiettivo quello di fornire una accuratezza maggiore del fenomeno antropico.

I modelli impiegati in questo campo vengono suddivisi in due moduli: modelli matematici utilizzabili per la simulazione idrodinamica e modelli matematici per la simulazione del trasporto e della deposizione dei sedimenti.

3.7.2 Modelli matematici per la simulazione del campo idrodinamico

Il modello idrodinamico è il primo elemento della catena modellistica ed include i modelli di circolazione e di propagazione del moto ondoso.

Quando si crea un modello bisogna per prima cosa aver presente il dominio o l'area di interesse che deve comprendere l'oggetto di possibili criticità ambientali (PIANC, 2010). Quest'area si deve collocare centralmente rispetto al dominio di calcolo poiché, a ridosso del bordo, le condizioni del modello potrebbero non essere veritiere.

Un altro aspetto essenziale è dato dalla discretizzazione, cioè il passaggio da equazioni continue ad equazioni discrete. La discretizzazione dei termini delle equazioni utilizzate dal modello dovrà avere con una risoluzione adeguata a riprodurre al meglio i processi fisici all'interno del dominio di calcolo. Infine, bisognerà tener presente la morfologia dell'area e l'eventuale presenza di apporti idrici (fiumi, scarichi) che condizionano la dinamica ed il trasporto di sedimenti attraverso le portate liquide e solide.

I modelli idrodinamici possono essere applicati in diversi ambienti, come le aree litorali e di transizione, i bacini semi-chiusi e le aree di largo.

Nelle aree litorali e di transizione, le principali forzanti che influiscono sulla dinamica di circolazione sono il vento, il moto ondoso, le oscillazioni di marea e gli eventuali apporti idrici. Queste aree sono caratterizzate da una dimensione verticale nettamente inferiore alla dimensione orizzontale e, sebbene l'utilizzo di modelli 2DH (bidimensionali) sgravi molto il calcolo computazionale, in presenza di apporti idrici o della forzante vento non si possono trascurare i movimenti verticali che comportano l'utilizzo di modelli 3D o Q3D (tridimensionali o quasi tridimensionali). Importanti in queste aree sono i dati raccolti in situ nell'arco di una sequenza temporale (5-10 anni), che servono per stimare le principali forzanti. Poiché, il più delle volte, la sequenza temporale non si estende nel continuo, a causa di possibili danni alle apparecchiature, la ricostruzione storica delle



condizioni meteo-marine può essere supportata da un approccio modellistico matematico chiamato “*wind/wave hindcast*”.

Nei bacini semichiusi o aree portuali la principale forzante che influisce sulla dinamica di circolazione è la combinazione tra vento locale e oscillazione di marea strettamente correlati all'estensione del bacino (Jouon *et al.*, 2006). Infatti, se il bacino è piccolo e la profondità non elevata (inferiore a 5 m) l'effetto della marea è trascurabile ed è consigliabile l'uso di un modello 2DH, mentre se il bacino è ampio e con profondità superiori a 5 m si opta per modelli 3D o Q3D.

Nelle aree di largo i processi fisici agiscono su scale spaziali e temporali molto ampie e sono principalmente influenzate dalla circolazione a grande scala. Le principali forzanti che influiscono sulla dinamica di circolazione sono: il vento, la circolazione termalina di larga scala, dovuta ai gradienti di temperatura e salinità, l'effetto della rotazione terrestre (la forza di Coriolis), le maree (Guarnieri *et al.*, 2013) e gli effetti di eventuali apporti fluviali. Per ottenere l'accuratezza desiderata si procederà con l'operazione di “*nesting*”, cioè l'annidamento di un modello “padre”, a più bassa risoluzione, con uno o più modelli “figli” a più alta risoluzione. I modelli annidati saranno quindi forzati dalle condizioni del modello “padre”.

3.7.2.1 Modelli di circolazione

Per circolazione in fluidodinamica si intende il valore di circuitazione di una velocità lungo un percorso chiuso (Eq. 1).

$$\oint_{l(t)} v \cdot dx \quad (\text{Eq. 1})$$

dove $l(t)$ è il moto delle particelle che seguono una linea chiusa in un certo istante. Per una corretta simulazione dei livelli e delle correnti, non solo bisogna studiare le forzanti presenti nell'area d'interesse (vedi paragrafo precedente), ma anche quelle presenti nell'area circostante. Per snellire il calcolo computazionale le forzanti avranno una accuratezza variabile a seconda della vicinanza o meno all'area. Le forzanti vicine alla zona di interesse dipenderanno strettamente dal luogo di studio, mentre le forzanti a larga scala considereranno la parte perimetrale del dominio (es. correnti di largo, correnti indotte dalle maree e moti propri a scala di bacino).

È importante sottolineare che la forzante corrente superficiale indotta dall'azione del vento può essere riprodotta attraverso i modelli idrodinamici, in cui i dati di vento sono raccolti in situ e mediati attraverso analisi statistiche, o presi da modelli numerici meteorologici (CMEMS, ECMWF). L'azione del vento è rappresentata come uno sforzo di taglio che agisce su una superficie libera come propone Garratt nel 1977 (Eq. 2).

$$\tau_0 = \rho C_G \hat{V}^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

dove C_G è il coefficiente di resistenza geostrofica.

Inoltre, il modello deve tener conto dell'influenza di tutti i processi fisici idrodinamici con i contorni rigidi (fondo, linea di costa, opere di difesa ecc.).

In termini computazionali tutte queste forzanti si traducono in un modello numerico composto da un sistema di equazioni, che, in base alle scale spaziali e temporali di applicazione, dovranno prima essere semplificate.

I risultati dei modelli di circolazione si ottengono risolvendo sistemi di equazioni differenziali, composte dall'equazione di continuità (Eq. 3) e dalle equazioni di Navier-Stokes (Eq. 4).

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0 \quad (\text{Eq.3})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} u - 2\Omega \sin \theta v + 2\Omega \cos \theta w &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{A_H}{\rho} + \nu\right) \nabla_h^2 u + \left(\frac{A_V}{\rho} + \nu\right) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} v + 2\Omega \sin \theta u &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{A_H}{\rho} + \nu\right) \nabla_h^2 v + \left(\frac{A_V}{\rho} + \nu\right) \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} w - 2\Omega \cos \theta u &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \left(\frac{A_H}{\rho} + \nu\right) \nabla_h^2 w + \left(\frac{A_V}{\rho} + \nu\right) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 4})$$

dove $\vec{u}$ è il campo di velocità tridimensionale $\vec{u} = (u, v, w)$; p indica la pressione; ρ la densità dell'acqua di mare; $2\Omega \sin \theta$ è il parametro di Coriolis con θ che indica la latitudine e Ω la velocità di rotazione della Terra; A_H e A_V i coefficienti di viscosità turbolenta; ν viscosità cinematica.

Vista l'impossibilità di risolvere questo sistema di equazioni in maniera analitica, se non con semplificazioni (per esempio utilizzando l'approssimazione di Boussinesq) si dovrà ricorrere a metodi numerici per la risoluzione. Uno di questi metodi utilizza la tecnica detta DNS (*“Direct Numerical Simulation”*) che risolve numericamente le equazioni ma non può essere usata per simulare in maniera estensiva casi reali. Infatti, attraverso la tecnica DNS si possono fare previsioni solo per brevi periodi di tempo (millesimi di secondo) con risoluzione spaziali molto piccole (centesimo di millimetro) (ISPRA, 2017). Solitamente, le previsioni richiedono scale spaziali e temporali più grandi di quelle calcolate dalla tecnica DNS, quindi sono state diverse tecniche di analisi numerica, come il metodo RANS (*“Reynolds Averaged Navier Stokes”*) e il metodo LES (*“Large Eddy Simulation”*). Il primo media il tempo del campo di moto del fluido, in modo tale da



seguire gli effetti dal punto di vista macroscopico, senza risolvere gli effetti della turbolenza a scale spaziali piccole che vengono riprodotte con opportune parametrizzazioni. Il metodo LES trasforma le equazioni differenziali in modo tale da poter mediare lo spazio parametrizzando i fenomeni che avvengono a scale spaziali più piccole della “*mesh*” considerata. Le tecniche RANS o LES possono essere applicate a modelli tridimensionali e tra questi i più usati sono: NEMO, MOHID, ADCIRC, MIKE3 (Luettich *et al.*, 1992; Madec *et al.*, 1998; Neves, 2013; DHI, 2017c).

Le tecniche RANS o LES pur semplificando le equazioni trattate con la tecnica DNS, risultano di difficile applicazione a scale spaziali e temporali ampie in quanto richiedono un elevato carico computazionale.

Per una semplificazione ulteriore molti modelli non tengono conto delle disomogeneità lungo l'asse z, se non quelle assegnate a priori da formulazioni empiriche (es. equazione idrostatica). Questa semplificazione è chiamata “approssimazione delle acque basse” che non rende possibile analizzare variazioni lungo l'asse verticale, escludendo quindi gli effetti di stratificazione. Si avvalgono di queste approssimazioni i modelli 2DH che sono usati in ambienti marino-costieri (aree litoranee e di transizione) nelle quali la dimensione orizzontale è nettamente minore alla dimensione verticale. Seppure i costi computazionali siano minori, questi modelli risultano poco affidabili in aree con presenza di foci o con forte vento. Nel primo caso non si può sottovalutare la stratificazione data dall'ingresso di acque a densità e salinità differenti. Nel secondo non si può sottostimare l'azione del vento sulla superficie del mare che può portare a variazione della corrente in funzione della profondità. Quindi si è soliti adottare modelli non strettamente tridimensionali, chiamati 3D o Q3D. Questi modelli considerano l'effetto della stratificazione nel calcolo delle velocità verticali.

I modelli più usati sono: SHORECIRC, DELFT3D-FLOW, MIKE21, SHYFEM, POM, ROMS (Blumberg & Mellor, 1987; Svendsen *et al.*, 2004; Shchepetkin & McWilliams, 2005; Neves, 2013, Deltares, 2014 (correggi con 2020), DHI, 2017c, Umgiesser, 2017).

Il modello idrodinamico implementato sarà SHYFEM (*“Shallow water HYdrodynamics Finite Element Model”*) (Umgiesser *et al.*, 2017) (cambia) 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, nel 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:

$$\frac{\partial U_l}{\partial t} = u_l \frac{\partial U_l}{\partial x} + v_l \frac{\partial U_l}{\partial y} - f V_l = -g h_l \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g h_l}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-H_l}^{\zeta} \rho' dz - \frac{h_l}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} \left(\tau_x^{top(l)} + \tau_x^{bottom(l)} \right) + A_H \left(\frac{\partial^2 U_l}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_l}{\partial y^2} \right) \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\frac{\partial V_l}{\partial t} + u_l \frac{\partial V_l}{\partial x} + v_l \frac{\partial V_l}{\partial y} + f U_l = -g h_l \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g h_l}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H_l}^{\zeta} \rho' dz - \frac{h_l}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0} \left(\tau_y^{top(l)} + \tau_y^{bottom(l)} \right) + A_H \left(\frac{\partial^2 V_l}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_l}{\partial y^2} \right) \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \sum_l \frac{\partial U_l}{\partial x} + \sum_l \frac{\partial V_l}{\partial y} = 0 \quad (\text{Eq. 7})$$

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.

$$\tau_x^{top(l)} = c_D \rho_a w_x \sqrt{w_x^2 + w_y^2} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\tau_y^{top(l)} = c_D \rho_a w_y \sqrt{w_x^2 + w_y^2} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\tau_x^{bottom(l)} = c_B \rho_0 u_L \sqrt{u_L^2 + v_L^2} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\tau_y^{bottom(l)} = c_B \rho_0 v_L \sqrt{u_L^2 + v_L^2} \quad (\text{Eq. 11})$$

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):

$$\frac{\partial S_l}{\partial t} + \frac{\partial u_l S_l}{\partial x} + \frac{\partial v_l S_l}{\partial y} + \frac{\partial w_l S_l}{\partial z} = v_h \left(\frac{\partial^2 S_l}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S_l}{\partial y^2} \right) + v_{v,l} \frac{\partial^2 S_l}{\partial z^2} + F \quad (\text{Eq. 12})$$

dove:

S_l = concentrazione nello strato l ,



ν_h e $\nu_{v,l}$ = coefficienti di diffusione orizzontale e verticale (calcolati dal modello “k-ε” 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 12 e gli scambi di calore con l’atmosfera sono contenuti nel termine sorgente $\varphi = \frac{Q}{C}$ (Zampato *et al.*, 1998). C è la capacità termica del volume V di fluido considerato con:

$$C = c\rho V \quad (\text{Eq. 13})$$

$c = 4183 \left[\frac{J}{kg K} \right]$ calore specifico e $\rho = 1000.52 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ densità dell’acqua. Q è il flusso di calore per unità di tempo in $\frac{W}{m^2}$ scambiato tra l’atmosfera e mare attraverso la superficie marina, che si può scindere nella somma di quattro termini:

$$Q = Q_s + Q_b + Q_e + Q_h \quad (\text{Eq. 14})$$

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.

3.7.2.2 Modelli per la simulazione delle onde

Il moto ondoso e le correnti si influenzano scambiandosi energia a vicenda creando una interazione chiamata onda-corrente. Sebbene in situazioni di largo questa interazione è pressoché trascurabile, in altre aree come quelle litoranee o di transizione è fondamentale (Smith *et al.*, 2008).

Anche per riprodurre il moto ondoso bisogna ricorrere a semplificazioni, per snellire il carico computazionale. Un approccio, anche se meno dettagliato, può essere quello di simulare la propagazione delle onde risolvendo numericamente le equazioni di conservazione dell’energia. Questi modelli si basano “su una equazione per l’evoluzione dello spettro di energia” (ISPRA, 2017), che si traduce con l’immaginare la superficie del mare come “una sovrapposizione di onde monocromatiche caratterizzate da una specifica



direzione di provenienza e frequenza”(ISPRA, 2017). Infatti, lo spettro energetico fornisce, per ogni direzione e frequenza, il contenuto energetico associato (ISPRA, 2017). I parametri derivabili della distribuzione in frequenza dell’energia associata descrivono statisticamente il campo d’onda in un determinato spazio e tempo. Questi parametri sono: l’altezza d’onda significativa, la direzione media di provenienza e il periodo di picco. I modelli più usati sono: WAM, SWAN, MIKE 21 SW, STWAVE, WAVEWATCH III (es. WAMDI Group, 1988, Booij *et al.*, 1999, Smith *et al.*, 2001, Tolman, 2009, DHI, 2017a).

Nei modelli sopra citati però, si perde dell’informazione sulla fase dell’onda, cioè sulla posizione istantanea della superficie libera (ISPRA, 2017), che può risultare di notevole importanza in ambienti in cui si presentano ostacoli. In aree con strutture di difesa o porti, è preferibile avere una maggiore accuratezza poiché si devono riprodurre anche effetti legati alla diffrazione e alla riflessione delle onde. Quindi è consigliato l’uso di modelli che simulino ogni singola onda dal momento dell’ingresso nel dominio al momento di uscita o di frangimento. Questi ultimi modelli, basati su formulazioni di tipo Boussinesq o su formulazioni non idrostatiche di tipo onda-flusso (ISPRA, 2017) sono: FUNWAVE, SMS, SWASH, MIKE 21 BW, DHI (Kirby *et al.*, 1998, Demirbilek *et al.*, 2005, Zijlema *et al.*, 2011, DHI, 2017b).

Modello di moto ondoso Wave Watch III

Per riprodurre il moto ondoso verso costa verrà utilizzato il modello “*Wave Watch III*” (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 Cycle 4 (Günther *et al.*, 1992). WWIII differisce dai suoi predecessori in diversi punti come: le equazioni generali, la struttura del modello, i metodi numerici e le parametrizzazioni fisiche. Inoltre, WWIII 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 phasespectral 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 ("*surfzone*"), 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.

3.7.3 Modelli matematici per la simulazione del trasporto di sedimenti (dispersione, diffusione e deposizione)

I modelli per simulare i fenomeni di trasporto (dispersione, diffusione e deposizione) dei sedimenti, dipendono strettamente dal modello idrodinamico; infatti, l’*“output”* del modello idrodinamico è considerato come *“input”* per il modello di trasporto. Come per le simulazioni idrodinamiche anche l’uso di questi modelli può richiedere un approccio numerico o analitico, con una minore o maggiore accuratezza. Solitamente l’approccio al modello è graduale: dopo una prima semplificazione delle formule usate per sottolineare le principali criticità, si passa ad una fase di dettaglio in cui si cerca di riprodurre in modo più veritiero la dinamica nelle aree in cui sono state eventuali problematiche nel corso della prima fase.

I modelli che presentano meno carico computazionale sono quelli che usano soluzioni analitiche di equazioni semplificate ed hanno come risultato soluzioni esatte. Questi modelli di trasporto e deposizione di sedimenti hanno come obiettivo quello di evidenziare l’area interessata da particolari fenomeni di erosione e sedimentazione. Di solito viene considerato trascurabile la dinamica lungo l’asse verticale, semplificano la velocità ambientale e considerano costanti i coefficienti di diffusione e la velocità di deposizione. Seppur molto semplificati questi modelli riescono a descrivere in modo preliminare l’evoluzione spazio-temporale di alcuni fenomeni legati al trasporto di sedimento come il pennacchio di torbida.

I modelli numerici a differenza di quelli semplificati con soluzione analitica, hanno come risultato soluzioni approssimate. A seconda dell’approccio risolutivo considerato si dividono in metodi Lagrangiani e metodi Euleriani. Nei primi ci si basa su una formulazione che segue l’evoluzione spaziale e temporale della posizione di ogni singola

particella, a cui è associata una data concentrazione, mentre con il secondo, si calcolata la concentrazione del sedimento sospeso in ogni punto del dominio di calcolo (ISPRA, 2017).

Esistono altri approcci oltre a quelli sopradescritti, come per esempio i “*random walk models*”, modelli in cui la turbolenza è considerata aleatoria; formulazione ibride tra metodi lagrangiani ed euleriani (Zheng & Bennett, 2002). Per migliorare l’accuratezza dei modelli di trasporto dei sedimenti si possono considerare le diverse classi granulometriche. In quest’ultimo caso però il tempo di computazione è considerevolmente maggiore in quanto è necessario risolvere le equazioni separatamente per ogni singola classe granulometrica.

Nei modelli più semplificati il sedimento viene considerato come un tracciante passivo, cioè che non modifica l’idrodinamica dell’acqua. Questo approccio risulta affidabile se il sedimento non ha alte concentrazioni. In caso contrario sarebbe meglio utilizzare modelli più accurati, cioè che tengano conto della diversa densità dell’acqua. Ipotizzando diverse classi granulometriche il valore di densità in un punto della miscela è: (Eq. 14)

$$\rho_{miscela} = \rho_{acqua} + \sum_{n=1}^{ntot} c_{(n)} \left(1 - \frac{\rho_{acqua}}{\rho_{s(n)}} \right)$$

in cui $c_{(n)}$ è la concentrazione locale della n-esima frazione di sedimento e $\rho_{s(n)}$ la sua densità. Poiché questa formula altera il valore di densità dell’acqua bisogna risolverla prima di applicare il modello idrodinamico. I modelli idrodinamici che contengono già moduli specifici per la simulazione del trasporto dei sedimenti sono: il MOHID 2003, il DHI 2017c/d, DELFT3D-MOR, SEDTRANS, XBeach.

I sedimenti si dividono in due classi fondamentali, i sedimenti di tipo non coesivo e di tipo coesivo. I sedimenti di tipo coesivo sono caratterizzati da una coesione di tipo chimico-fisico tra le particelle (esempio l’argilla), mentre i sedimenti non coesi non hanno

questo tipo di interazione e rispondono a dinamiche di erosione e sedimentazione diverse. Per avere una stima di quanto solido coeso e non coeso è presente in una determinata area è essenziale effettuare un campionamento del fondale. Questo prelievo in situ servirà per stabilire il tipo e la granulometria del sedimento. Infatti, per esempio, operazioni antropiche (esempio dragaggio) che risospendono una grande quantità di sedimenti argillosi potrebbero generare danni irreversibili agli ecosistemi marini. Tali operazioni comportano una elevata concentrazione di solido in sospensione nella colonna d'acqua con conseguente attenuazione della luce e risospensione di alcuni inquinanti associati ai sedimenti fini.

Per stabilire la stima della velocità di deposizione vi sono innumerevoli formule in bibliografia (Özer, 1994; Ahrens, 2000; Ranieri, 2002; Jiménez *et al.*, 2003, Ferguson & Church 2004, Je & Chang, 2004; Mehta & McAnally, 2008) che tengono conto della deposizione di sedimenti coesi e non coesi.

Per una prima approssimazione e solo per i sedimenti non coesi, solitamente si fa ricorso alla formulazione proposta da Stokes che considera il flusso in regime viscoso e le particelle solide assimilabili a sfere impermeabili e incompressibili. La formula della velocità di deposizione delle particelle di sedimento è:

$$w_{sM} = \frac{(s_{eM} - 1)gd_M^2}{18\nu} \quad (\text{Eq. 15})$$

dove w_{sM} è la velocità di sedimentazione delle particelle di sedimento; s_{eM} è la densità effettiva delle particelle di sedimento che si calcola come: $s_{eM} = \frac{\rho_{eM}}{\rho}$ dove ρ_{eM} è la densità effettiva delle particelle di sedimento e ρ è la densità dell'acqua di mare; g è l'accelerazione di gravità, d_M è il diametro medio delle particelle di sedimento; ν è la viscosità cinematica del fluido.

La formula proposta da Stokes per la velocità di sedimentazione delle particelle fini è uguale all'equazione 15 a parte il pedice μ che sostituisce la M .

Una più accurata espressione per i sedimenti di tipo coesi e non-coesi è quella elaborata da Soulsby *et al*, nel 2013 che stima la velocità di sedimentazione delle particelle con diametro maggiore di 160 μm (Eq. 16) e con diametro minore di 160 μm (Eq. 17) con le seguenti espressioni:

$$w_{sM} = B_M(\bar{s}_{e\mu} - 1) \left(\frac{\varepsilon \bar{d}_\mu^4}{\nu^3} \right)^{0.166} g c^{2.672k} \left(\frac{\nu}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left[- \left(\frac{u_{*sM}}{u_* \xi^{\frac{1}{2}}} \right)^N \right] \quad (\text{Eq. 16})$$

$$w_{s\mu} = B_\mu(s - 1) \left(\frac{\varepsilon d_1^4}{\nu^3} \right)^{0.39} g \left(\frac{\nu}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left[- \left(\frac{u_{*s\mu}}{u_* \xi^{\frac{1}{2}}} \right)^n \right] \quad (\text{Eq. 17})$$

dove w_{sM} e $w_{s\mu}$ indicano rispettivamente le velocità di deposizione delle particelle con diametro maggiore di 160 μm e con diametro minore di 160 μm ; B_M , k , u_{*sM} , N , B_μ , $u_{*s\mu}$ e n sono coefficienti ottimizzabili; d_1 rappresenta il diametro (nozionale) delle particelle primarie; $\xi = \frac{1-z}{h}$ dove z è la coordinata verticale rispetto alla posizione del fondo e h è l'altezza della colonna d'acqua; u_* è la velocità di taglio. Una volta stabilita la velocità di sedimentazione si possono calcolare i tassi di deposizione del sedimento non coeso che sono: per l'equazione 16:

$$D = w_s C \quad (\text{Eq. 18})$$

mentre per l'equazione 17:

$$D = w_s C \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_c} \right) \quad (\text{Eq. 19})$$

dove con C si intende la concentrazione del sedimento al fondo, con τ_b lo sforzo di attrito al fondo e con τ_c lo sforzo di attrito critico per la deposizione.

La risospensione dovuta all'erosione dei sedimenti del fondale dipende fortemente dalle caratteristiche di coesività dell'ammasso (Valipour *et al.*, 2017). Infatti, per i sedimenti non coesi i fattori che influenzano l'azione di risospensione sono la dimensione e la densità delle particelle. Mentre per i sedimenti coesi, a seconda della loro composizione mineralogica e dalla forza chimica di coesione possono essere schematizzati in due gruppi. Il primo è quello formato da sedimenti coesi che tendono ad aggregarsi in flocculi dopo la risospensione. Il secondo è formato da quei sedimenti che dopo la risospensione tendono a rimanere sospesi creando una miscela fangosa (Winterwerp & van Kasteren, 2004).

Un altro aspetto da considerare è il consolidamento, che nei sedimenti non-coesi avviene più rapidamente con erodibilità costante alle diverse profondità, mentre i sedimenti coesi tendono a consolidarsi in modo più lento, causa il drenaggio dell'acqua, con erodibilità variabile nel tempo e nello spazio a seconda delle diverse profondità.

La risospensione da parte dei sedimenti coesivi è studiata soprattutto in acque poco profonde dove sono presenti la combinazione di onde e correnti unidirezionali o lentamente variabili, come le maree.

Oltre ai fattori fisici, alle onde, alle correnti e al tipo di sedimento considerato, coeso o non-coeso, ci possono essere altri aspetti che possono destabilizzare/stabilizzare i sedimenti come quelli biologici, il pH, la quantità di materiale organico presente nei



sedimenti, la composizione mineralogica del sedimento (Winterwerp & van Kasteren, 2004, Grabowski *et al.*, 2011).

3.7.3.1 Modelli negli studi di morfodinamica

La morfodinamica è lo studio dell'interazione e del movimento della topografia marina a seguito di processi fisici, come onde, maree, vento, correnti, fiumi. Questa evoluzione continua, che appare più evidente in aree costiere, è causata da un processo naturale, ma può essere modificata dall'azione dell'uomo, che modificando il territorio (per esempio costruendo difese per il litorale, dragaggi, costruzione di antimurali, ricostruzioni morfologiche in aree di transizione) può influenzare la naturale morfodinamica dell'ambiente. L'uso di diversi tipi di modelli (3D, Q3D, 2DH, 1D) serve a prevedere i cambiamenti temporali e spaziali della morfologia del fondale (Hanson & Kraus, 1989, Stive *et al.*, 2002, Moksness *et al.*, 2009).

Le fasi principali di uno studio modellistico per l'analisi della morfodinamica costiera sono: la caratterizzazione delle condizioni meteo marine, la modellizzazione bidimensionale di dettaglio e la modellizzazione dell'evoluzione a lungo termine della linea di riva (Mangor *et al.*, 2017).

Le condizioni meteo marine, prese dalla ricostruzione storica dei dati, verranno usate dal modello per ricostruire la propagazione del moto ondoso da largo verso costa. Solitamente, si fa uso di una modellistica bidimensionale, per semplicità computazionali, che tiene conto delle trasformazioni subite dall'onda che si propaga verso costa (come gli effetti di “*shoaling*”, di diffrazione e di rifrazione, gli effetti di frangimento, del “*whitecapping*”, e dell'attrito con il fondo).

La seconda fase consiste nella modellizzazione bidimensionale di dettaglio, che prevede l'uso di modelli di propagazione del moto ondoso, di modelli idrodinamici, di trasporto e

di sedimentazione. Essa è essenziale per stabilire le variazioni batimetriche nel breve termine ed i possibili impatti che questi cambiamenti hanno sui diversi ecosistemi locali. La terza fase consiste nell'evoluzione a lungo termine della linea di costa. Questo stadio è una implementazione del modello bidimensionale che permette, usando dovute semplificazioni di estendere il dominio del tempo. In questo caso si consiglia un modello ibrido 1D/2DH a fronte di un maggior carico computazionale.

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 12. Alla superficie e al fondo le condizioni di contorno dell'equazione 12 per i sedimenti sono:

$$+v_{v,top} \frac{\partial S_{top}}{\partial z} + w_s S_{top} = FS \quad (\text{Eq. 20})$$

dove z = superficie del primo livello,

$$-v_{v,bottom} \frac{\partial S_{bottom}}{\partial z} + w_s S_{bottom} = ED \quad (\text{Eq. 21})$$

dove z = fondo dell'ultimo livello,



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 Grant e Madsen, del 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.

Modello morfologico X-BEACH

XBeach è un modello 2DH ("*depth averaged*"), in grado di simulare il comportamento di una spiaggia soggetta ad eventi intensi di mareggiata, includendo i fenomeni di erosione della duna, inondazione e formazione di brecce. Il campo di utilizzo di tale modello morfologico è circoscritto in particolare alla scala temporale degli eventi di mareggiata,

che in pochi giorni possono causare ingenti fenomeni erosivi della spiaggia. Il suo utilizzo è quindi limitato a scale spaziali relativamente piccole e ad intervalli temporali di breve/medio periodo (giorni/mesi). Il modello è in grado di risolvere coppie di equazioni orizzontali 2D legate ai fenomeni di propagazione dell'onda, di flusso, di trasporto sedimentario e di variazione del fondale, imponendo condizioni al contorno di onde variabili (spettrali) e di flusso. XBeach tiene conto della variazione temporale dell'altezza d'onda e quindi è in grado di risolvere il moto legato alle “*long-wave*”, generato da tale variazione. Il moto dell'azione ondosa per le onde corte viene modellato mediante l'equazione:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial c_x A}{\partial x} + \frac{\partial c_y A}{\partial y} + \frac{\partial c_\theta A}{\partial \theta} = - \frac{D_w + D_f + D_v}{\sigma} \quad (\text{Eq. 22})$$

Dove A è l'azione ondosa, c_x , c_y e c_θ sono le velocità di propagazione nello spazio orizzontale e nello spazio direzionale, D_v è la dissipazione legata alla vegetazione e σ la frequenza dell'onda. La formulazione per il calcolo della dissipazione legata al frangimento dell'onda, D_w , può essere scelta tra cinque diverse formulazioni implementate all'interno del software, mentre la dissipazione legata al fondale D_f è calcolata mediante l'equazione:

$$D_f = \frac{2}{3} \rho f_w \left(\frac{\pi H_{rms}}{T_{m01} \sin kh} \right) \quad (\text{Eq. 23})$$

dove ρ è la densità dell'acqua, f_w è il coefficiente di attrito al fondo e H_{rms} è l'altezza d'onda quadratica media. Nella formula, T_{m01} rappresenta il periodo medio dell'onda definito dai momenti di ordine zero e uno dello spettro, k è il numero d'onda e h è la profondità.

XBeach considera l'energia delle onde come mediata sulla loro lunghezza e quindi non è in grado di simulare la forma dell'onda. Tuttavia, quando le onde si propagano dal largo verso riva la loro forma si modifica gradualmente a causa della combinazione dei processi di “*shoaling*”, frangimento e non-linearità. All'interno del modello l'effetto dell'asimmetria e della distorsione dell'onda viene considerato all'interno della equazione di avvezione-diffusione mediante il calcolo della velocità.

La formulazione per il trasporto sedimentario è quella definita da Soulsby-van Rijn (Soulsby, 1997; van Rijn, 1985) mentre la concentrazione di equilibrio è calcolata come segue:

$$c_{eq} = \max \left(\min \left(c_{eq,b}, \frac{1}{2} C_{max} \right) + \min \left(c_{eq,s}, \frac{1}{2} C_{max} \right), 0 \right) \quad (\text{Eq. 24})$$

Il sistema di coordinate su cui si basa il modello è caratterizzato dall'asse delle ascisse con orientamento verso la costa e l'asse delle ordinate orientato lungo riva. Il modello utilizza una griglia di calcolo sfalsata, nella quale alcune variabili vengono definite al centro delle celle e altre sulle loro interfacce. XBeach permette di utilizzare una griglia con distanze tra i punti variabili in entrambe le direzioni. Il modello può essere utilizzato in modalità idrostatica e non idrostatica; nel primo caso, la variazione dell'ampiezza delle onde corte viene risolta in maniera separata dalle onde lunghe, dalle correnti e dalle variazioni morfologiche mentre nel secondo caso, tali processi vengono risolti includendo l'azione delle onde corte, a discapito del maggiore costo computazionale. Inoltre, XBeach può essere utilizzato in modalità mono-dimensionale (1D) e bidimensionale (2D). Nel primo caso il dominio spaziale è limitato al singolo transetto perpendicolare a riva, mentre nel secondo è possibile eseguire simulazioni su aree costiere più estese. La scelta tra le due diverse modalità dipende, in particolare, dallo scopo dell'analisi, in riferimento ai fenomeni da studiare e al compromesso che si vuole raggiungere tra il costo



computazionale del modello e la precisione richiesta nei risultati. Per maggiori dettagli sulle formulazioni del modello XBeach, si faccia riferimento a Roelvink *et al.*, 2010.

Modello di dispersione del sedimento dragato PTM

Il PTM (*“Particle Tracking Module”*) è un modello lagrangiano di trasporto sviluppato dal CIRP (*“Coastal Inlets Research Program”*) e dal DOER (*“Dredging Operations and Environmental Research Program”*) ad opera della *“U.S. Army Engineer Research and Development Center”*.

L'approccio lagrangiano implica la modellazione attraverso la discretizzazione del sedimento in un numero finito di particelle che seguono il trasporto indotto dal campo idrodinamico di base. L'approccio lagrangiano è particolarmente indicato per la simulazione del trasporto a partire da una sorgente definita; ogni particella, nel modello, rappresenta una determinata massa di sedimento (e non una determinata particella o granulometria di sedimento).

Il campo del flusso idrodinamico rappresenta la condizione di *“input”* fondamentale per il PTM e, nel caso del presente lavoro, gli scenari precedentemente esposti sono stati utilizzati come condizione di flusso per la simulazione del trasporto in funzione dell'individuazione di due classi granulometriche indicative del tipo di sedimento sversato.

Il PTM è in grado di girare utilizzando un sistema di coordinate cartesiane.

Le capacità del PTM includono:

- campo idrodinamico di *“input”* (attraverso l'interpolazione delle condizioni del flusso con la posizione di una data particella);
- mobilità (determinazione della mobilità di una data particella nelle condizioni idrodinamiche definite);



- traiettorie (determinazione della traiettoria di una determinata particella assumendo ininfluenza l'inerzia della particella stessa).

Tali risultati possono essere ottenuti scegliendo tra tre differenti tipi di approcci: 2D, Q3D e 3D.

La rappresentazione 2D fornisce una valutazione preliminare del moto e del trasporto di una determinata particella applicabile quando non c'è interazione sedimentaria significativa tra la natura del fondale e le particelle prodotte dalla sorgente definita.

La rappresentazione Q3D si fonda sull'unione nell'utilizzo di funzioni empiriche del trasporto di particolato e l'applicazione delle funzioni relative ai fenomeni di avvezione, precipitazione e dispersione per riprodurre alcuni dei fenomeni fondamentali del caso del trasporto in forma tridimensionale. Vengono presi in considerazione alcune caratteristiche di tipo stocastico nel trasporto di particelle; i movimenti orizzontali delle particelle sono determinati a partire dall'elevazione delle stesse rispetto al fondo, in considerazione di fenomeni di mescolamento, deposizione e reimmissione. La posizione verticale delle particelle nel Q3D viene utilizzata per la determinazione dell'evoluzione dei moti orizzontali tenendo conto di fattori quali la velocità di caduta in funzione della granulometria e della dispersione.

4. BIBLIOGRAFIA

Agnesi S., Proietti R., La Valle P., Maggi C., Paganelli D., Nicoletti L., 2012. Cartografia tematica dei fondali marini laziali. Compendio degli studi condotti nel decennio 1999-2009 per la caratterizzazione ambientale dei fondali marini antistanti la costa laziale per il dragaggio di depositi sabbiosi ai fini del ripascimento. Rapporti 170/2012 (ISPRA), 47 pp.

Ahrens J. P., A fall-velocity equation, Journal of Waterway, port, coastal, and ocean engineering, 2000, pp. 99–102.

Anselmi B., Benvegnù F., Brondi A., Ferretti O. (1979). Studi sui parametri geologici rilevanti ai fini della determinazione della contaminazione ambientale del territorio nazionale. Comitato Nazionale Energia Nucleare, RT/PROT(79)14.

Ardizzone, G. D., Belluscio, A., & Criscoli, A. (2018). Atlante degli Habitat dei fondali marini del Lazio. Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma, Sapienza Università Editrice, Roma.

Argenti L., Tomassetti P., Chimenz C. 1992. Contributo alla conoscenza dei Crostacei Decapodi del Tirreno centrale (Lazio). Biologia Marina, suppl. al Notiziario S.I.B.M., 1: 299–300.

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.

Bellotti P., Chiocci F.L, Milli S., Tortora P. (1993). Variabilità nel tempo della distribuzione granulometrica sui fondali del delta del Tevere. Bollettino della Società Geologica Italiana, 112, 143-155.



Bellotti P., Tortora P. (1985). Il delta del Tevere: lineamenti batimetrici, morfologici e tessiturali della conoide sommersa e delle aree limitrofe. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 104, 65-80.

Bencivenga M., Di Loreto E., Liperi L. (1995). Il regime idrologico del Tevere, con particolare riguardo alle piene nella città di Roma. In: *La geologia di Roma. Il centro Storico. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 50, 125-172.

Bersani P., Amici R. (1993). Il trasporto solido del fiume Tevere. *Idrotecnica*, 3.

Bersani P., Bencivenga M. (2001). Le piene del Tevere a Roma dal V secolo a.C. all'anno 2000. *Tevere*, VIII, 22.

Bersani P., Bersani A. (2008). Le piene del Tevere e Roma dal 1921 al 2007: afflussi e stima del coefficiente di deflusso di piena.

Bersani P., Piotti A. (1994). Correlazioni tra portata liquida e trasporto solido del fiume Tevere a Roma. *Idrotecnica*, 2.

Boni C., Petitta M., Preziosi E., Sereni M. (1996). *Idrogeologia. Il Mare del Lazio*. Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Regione Lazio Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità.

Blumberg A. F., Mellor G. L., A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, *American Geophysical Union*, 1987.

Booij N., Ris R. C., Holthuijsen L. H., A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, 1999, pp. 7649–7666.

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. 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.

Branca, M. E., Calderoni, G., & Petrone, V. (1996). Geochimica dei sedimenti. Il Mare del Lazio, Università degli Studi di Roma "La Sapienza, 109-135.

Brondi A., Di Maio A., Marcelli M. (2008). Principi logici per il monitoraggio dell'ambiente costiero. Geologia dell'Ambiente 2 pp.19-35

Burchard H., Petersen O., Models of turbulence in the marine environment — a comparative study of two-equation turbulence models, Elsevier Science B.V, Journal of Marine Systems 21, 1999, pp. 29–53.

Cataudella, S.; Spagnolo, M. Lo Stato della Pesca e Dell'acquacoltura Nei Mari Italiani; Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali: Rome, Italy, 2011; p. 877.

Chimenz C. 1993. Benthic populations of Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). Sipuncula. Nova Thalassja, 10: 45–5f.

Chimenz C., Nicoletti L. 1994. Briozoi della costa laziale. Biol. Mar. Medit., 1 (f): 353–354.

Chimenz C., Contessini A. 1986. Benthic populations of Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). Mollusca. – Descriptive analysis. Nova Thalassja, 8: 21–35.

Chiocci F.L., La Monica G.B. (1996) - Analisi sismostratigrafica della piattaforma continentale. In: Il Mare del Lazio: Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti ed apporti continentali. Università degli Studi di Roma "La Sapienza" – Regione Lazio, Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità.



Cironi R. L., Taramelli E. 2005. Biodiversity and zonation patterns of crustacean peracarids and decapods of coastal soft-bottom assemblages (Central Thrrhenian Sea, Italy). *Vjeu et Mjljeu*, 55: 143–161.

Cognetti Varriale A.M., Zunarelli Vandini R. 1979. Polychaetes of littoral sandy bottoms along the north Lazio coast. *Boll. Zool.*, 46: 77–86.

Contessini A., Chimenz C., Oliverio M. 1989. Contributo alla conoscenza della fauna malacologia di Civitavecchia. *Atti I° Giornata di Studi Malacologici C.I.S.M.A. Roma*, novembre f988: 155–f74.

Della Seta G., Minervini R., Mussino R., Castagnolo L., Focardi S., Renzoni A. 1977. Primi risultati dello studio sui popolamenti bentonici dei fondi mobili dragabili alla foce del Tevere. *Atti IX Congresso Soc. It. Biol. Mar.*, Ischia: 215– 227.

Deltares, Delft3D-FLOW Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments - User Manual – Version: 3.15, Deltares, 2020.

Demirbilek Z., Zundel A., Nwogu O., BOUSS-2D Wave Model in SMS: 2. Tutorial with examples, U.S. Army Corps of Engineers, 2005.

DHI, 2017a, MIKE 21 Spectral Wave Module - Scientific Documentation, DHI Software Licence Agreement, 2017.

DHI, 2017b, MIKE 21 Boussinesq Wave Module - Scientific documentation, DHI Software Licence Agreement, 2017.

DHI, 2017c, MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module - Scientific documentation, DHI Software Licence Agreement, 2017.

Falciai, L., & Spadini, V. 1985. Gli Anfipodi del Piano Infralitorale del Tirreno Centro-Settentrionale. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem*, 145-163.

Falciai L., Castagnolo L., Focardi S., Gambi M.C., Spadini V., Zampi M., Della Seta G., Minervini M. 1983. Organismi bentonici dei fondi mobili davanti alla foce del Tevere. L'esperimento Tevere. Influenza di un fiume sull'ecosistema marino prospiciente la sua foce. Quad. Ist. Ric. Acque, 66: 217–232.

Ferguson, R. I., Church M., A simple universal equation for grain settling velocity, Journal of sedimentary Research, Vol. 74, 2004, pp. 933–937.

Ferretti O., Niccolai I., Nike Bianchi C., Tucci S., Morri C., Veniale F. 1989. An environmental investigation of a marine coastal area: Gulf of Gaeta (Tyrrhenian Sea). Hydrobiologia, 176/177: 171–187.

Focardi S., Fresi E., Gambi M.C. 1982. Analisi della distribuzione degli Echinodermi nei fondi mobili di due aree del tirreno: un'applicazione di tecniche multidimensionali. Naturalita Siciliano, S. IV, VI (suppl.), 3: 531–540.

Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Research, 27(1), 3–26.

Foster T., Corcoran E., Erftemeijer P., Fletcher C., Peirs K., Dolmans C., Smith A., Yamamoto H., PIANC 'Setting the Course' Report n° 108 – 2010, Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2010.

Franceschini G., Chimenz Gusso C. 1996. Echinodermi delle coste laziali. Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova, 60–61: 191–200.

Gambi M.C., Giangrande A. 1986. Distribution of soft-bottom polychaetes in two coastal areas of the Tyrrhenian Sea (Italy): structural analysis. Estuar. Coast. Shelf Sci., 13: 847–862.

Garratt J. R., Review of Drag Coefficients over Oceans and Continents, Monthly Weather Review, Vol. 105, 1977, pp. 915–929.

Grabowski R. C., Droppo I. G., Wharton G., Erodibility of cohesive sediment: the importance of sediment properties, *Earth-Science Reviews*, Vol. 105, 2011, pp. 101–120.

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

Guarnieri A., Pinardi N., Oddo P., Bortoluzzi G., Ravaioli M., Impact of tides in a baroclinic circulation model of the Adriatic Sea, *American Geophysical Union.*, 2013, pp. 166–183.

Günther H., Hasselmann S., Janssen P. A. E. M., The WAM Model cycle 4 Report No. 4, Modellberatungsgruppe, 1992, pp. 109.

Hanson H., Kraus N. C., GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change, Report 1 Technical Reference, Coastal Engineering Research Center, 1989.

Iadanza C., Napolitano F. (2006). Sediment transport time series in the Tiber River. *Physics and Chemistry of the Earth* 31, 1212–1227.

ICRAM (2002) - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi lungo

la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: Fase A – Caratterizzazione della piattaforma continentale laziale (Sintesi dei dati di letteratura scientifica e tecnica esistenti). ICRAM per la Regione Lazio.

Je C. H., Chang S., Simple approach to estimate flocculent settling velocity in a dilute suspension *Environmental Geology*, 45, 2004, pp. 1002–1009.

Jiménez J. A., Ole S. M., A simple formula to estimate settling velocity of natural sediments, *Journal of Waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 2003, pp. 70–78.



Jouon A., Douillet P., Ouillon S., Fraunié P., Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model, Elsevier Ltd., 2006, pp. 1395–1415.

Kirby J. T., Wei G., Chen Q., Kennedy A. B., Dalrymple R. A., FUNWAVE 1.0. Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model Documentation and User's Manual, Report CACR-98-06, Center for Applied Coastal Research, Department of Civil and Environmental Engineering, 1998.

La Monica, G. B., & Raffi, R. (1996). Morfologia e sedimentologia della spiaggia e della piattaforma continentale interna. Il Mare del Lazio. Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Regione Lazio Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità, 62-105.

La Porta B., Lattanzi L., La Valle P., Panfili M., Targusi M., Nicoletti L. 2006. Studio del popolamento a policheti di fondi mobile del Tirreno centrale. Biol. Mar. Medit., 13 (2): 188–189.

La Porta B., Targusi M., Lattanzi L., La Valle P., Paganelli D., Nicoletti L. 2009. Relict sand dredging for beach nourishment in the central Tyrrhenian Sea (Italy): effects on benthic assemblages. Marine Ecology, 30 (Suppl. f): 97–104.

La Porta, B. 2011. Polychaetes species diversity applying monitoring data for spatial distribution, ecology update, environmental assessment. Phd thesis, University of Naples "Federico II" Ph.D. School "Earth Science" Science and Engineering of the Sea.

Lisi I., Feola A., Bruschi A., Di Risio M., Pedroncini A., Pasquali D., Romano E., La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere. Manuali e Linee Guida ISPRA, 169/2017, 2017.

Loia M., La Valle P., Lattanzi L., La Porta B., Targusi M., Nicoletti L. 2009. Effetti del dragaggio di sabbie relitte sul popolamento a policheti in un'area al largo di Anzio (Tirreno centrale). Biol. Mar. Medit., 16(1): 276–277.



Luetich R.A., Westerink J.J., Scheffner, N.W., ADCIRC: An advanced three-dimensional circulation model for shelves, coasts, and estuaries, Report 1: Theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL, Technical Report DRP-92-6, 1992.

Madec G., Delecluse P., Imbard M., Levy C., OPA 8.1 Ocean General Circulation Model Reference Manual, IPSL, 1998.

Mancini, M., Piazzolla, D., Marcelli, M., (2018) “Circoscrizione portuale di Civitavecchia”; Addendum n.2 del 02.08.2011 (prot. AP9349 del 03.08.18). Caratterizzazione delle biocenosi bentoniche di fondo mobile del litorale di Civitavecchia – Anno 2017-2018. REL-305-MON-0718-AP, 12/07/18 (REV. 1.0) – DEB

Mangor K., Kaergaard K. H., Drønen N. K., Kristensen S. E., Shoreline Management Guidelines, DHI, Hørsholm, Denmark, 2017, pp. 450.

MARE DEL LAZIO, Il. Il mare del Lazio. Oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti e apporti continentali, 1996.

MAREMED Project (MARitime REGions cooperation for the MEDiterranean). ATLANTE della Dinamica Costiera, 2013.

Margaritora G. (1993) – Il Tevere urbano. Accademia Nazionale dei Lincei. Tavola rotonda su: Rischi nei grandi bacini fluviali italiani, Roma.

Mehta A. J., McAnally W. H., Fine-grained sediment transport, ASCE Manual No. 110, Sedimentation Engineering, 2008, pp. 253–306.

Mipaf, 2020. La pesca e la biodiversità

(<https://www.politicheagricole.it/flex/files/2/0/7/D.8743529b56b33db7f7e6/cap2.pdf>)

Minervini, R., Giannotta, M., & Falciai, L. 1982. A preliminary report on the decapod crustaceans in the estuarine area of the Tiber. Quad Lab Tecnol Pesca, 3(2-5), 305-318.



Moksness E., Dahl E., Støttrup J., Integrated Coastal Zone Management, Wiley-Blackwell, 2009, pp. 376.

Montuori, P., Aurino, S., Garzonio, F., Nardone, A., & Triassi, M. (2016a). Estimation of heavy metal loads from Tiber River to the Tyrrhenian Sea and environmental quality assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(23), 23694-23713.

Montuori, P., Aurino, S., Garzonio, F., Sarnacchiaro, P., Nardone, A., & Triassi, M. (2016b). Distribution, sources and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediments from Tiber River and estuary, Italy. *Science of the Total Environment*, 566, 1254-1267.

Montuori, P., Aurino, S., Garzonio, F., & Triassi, M. (2016c). Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in Tiber River and Estuary: Occurrence, distribution and ecological risk. *Science of the Total Environment*, 571, 1001-1016.

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

Neves R., Ocean modelling for coastal management – Case studies with MOHID, M. Mateus & R. Neves, 2013, pp. 1–11.

Nicoletti L., Fanelli E., Lattanzi L., La Valle P., Gabellini M., Chimenz Gusso C. 2003. Contribution to the knowledge of coastal detritic bottoms off Anzio (Central Tyrrhenian Sea). *Biol. Mar. Medit.*, 10 (2): 589–592.

Nicoletti L., Chimenz C. 1995. Bryozoan assemblages and relation with environmental factors: an example from the Latium coast (Italy). *Oebalia*, 21: 93–102.

NISEA 2018, Progetto “BLUFUSH” a cura di Malvarosa, L., Scarcella, G. e Paolucci, C.



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.

Özer A., Simple equations to express settling column data, *J. Environ. Eng.* 120, 1994, pp. 677–682.

Paganelli, D., Nonnis, O., Finoia, M. G., & Gabellini, M. (2013). The role of sediment characterization in environmental studies to assess the effect of relict sand dredging for beach nourishment: the example of offshore sand deposits in Lazio (Tyrrhenian Sea). *Journal of Coastal Research*, (65), 1015-1020.

Piazzolla, D., Scanu, S., Frattarelli, F. M., Mancini, E., Tiralongo, F., Brundo, M. V., ... & Marcelli, M. (2015). Trace-metal enrichment and pollution in coastal sediments in the Northern Tyrrhenian Sea, Italy. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 69(4), 470-481.

PO-FEAMP 2014-202, MODELLO STRATEGIE DI SVILUPPO LOCALE DI TIPO PARTECIPATIVO- FLAG “LAZIO MARE CENTRO” Elaborazione su dati MiPAAF - Archivio Licenze Pesca 2007- 2015.

Ranieri G., A standard method for measuring the average fall velocity of sands. In: *Proceedings of the Hydraulic Measurements and Experimental Methods Conference*, Estes Park CO, EWRIASCE, 2002.

Richter, O., Söndgerath, D., Suhling, F., & Braune, E. (2005). Impact of climate change on population dynamics and temporal patterns of benthic assemblages of rivers. In *International Congress on Modelling and Simulation* (pp. 531-537). Nedlands, Australia: The University of Western Australia.

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

Scanu, S., Piazzolla, D., Frattarelli, F. M., Mancini, E., Tiralongo, F., Brundo, M. V., ... & Marcelli, M. (2016). Mercury enrichment in sediments of the coastal area of northern Latium, Italy. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 96(5), 630-637.

Scipione M.B., Lattanzi L., Tomassetti P., Chimenz-Gusso C., Maggiore F., Mariniello Cironi R. L., Taramelli E. 2005. Biodiversity and zonation patterns of crustacean peracarids and decapods of coastal soft-bottom assemblages (Central Thrrhenian Sea, Italy). *Vieu et Milieu*, 55: 143–161.

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.

Shchepetkin A. F., McWilliams J. C., The regional ocean modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following coordinates ocean model, Elsevier Ltd., 2005, pp. 347–404.

Shepard, F. P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of sedimentary Research*, 24(3), 151-158.

Silenzi S., Devoti S., La Monica G.B., Mancini M., Montagna P., Parlagreco L., Cicero A.M. (2006) – Sintesi delle conoscenze relative all’evoluzione geologica-morfologica dell’area costiera di Castelporziano (scala regionale e locale) durante il Quaternario recente. In: “Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo”, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei Quaranta, Scritti e Documenti 37, II serie, 949-984.



Smith J. M., Sherlock A. R., Resio D. T., STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model, User's Manual for STWAVE Version 3.0, U.S. Army Corps of Engineers, 2001.

Soulsby R. L., Manning A. J., Spearman J. E Whitehouse R. J. S., Settling velocity and mass settling flux of flocculated estuarine sediments, *Journal of Marine Geology*, Vol. 339, 2013, pp. 1–12.

Soulsby R., *Dynamics of marine sands: a manual for practical applications*, ThomasTelford, London, 1997, pp. 249.

Stive M. J. F., Aarninkhof S. G. J., Hamm L., Hanson H., Larson M., Wijnberg K. M., Nicholls R. J., Capobianco M., Variability of shore and shoreline evolution, *Coastal Engineering*, Vol. 47, 2002, pp. 211–235.

Svendsen I. A., Haas K., Zhao Q., Quasi-3D Nearshore Circulation Model SHORECIRC: Version 2.0, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, 2004.

Taramelli E., Chimenz C. 1990. Effects of thermal pollution on the benthic population at Torvaldaliga (Civitavecchia, Rome). MAP Technical Reports Series n. 40: 63–82.

Taramelli E., Venanzangeli L. 1990. Benthic population in Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). *Crustacea Amphipoda. Oebalia*, XVI, N.S.: 49–67.

Targusi M., Agnesi S., Giorgi I., La Porta B., Lattanzi L., La Valle P., Paganelli D., Tunesi L., Nicoletti L. 2007. Fondi detritici della futura AMP dell'Isola d'Elba: hotspots di biodiversità. *Biol. Mar. Medit.*, 14(2): 122–123.

Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera (2016) - Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici.

The 2019 Annual Economic Report on the EU Fishing Fleet (STECF 19-06).



Tiralongo, F., 2016. Sfruttamento della risorsa biologica associata alla pesca a strascico nell'area di Civitavecchia e impatto sulle comunità demersali e bentoniche, tesi di Dottotato, Università della Tuscia, Viterbo.

Tolman H. L., User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14, U. S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, National Centers for Environmental Prediction, 2009.

Tomassetti P., Bacci T., Celia Magno M., Devoti S., Gennaro P., Leoni G., Manzueto L., Marusso V., Mercatali I., Montagna P., Parlagreco L., Persia E., Pierfranceschi G., Porrello S., Romano E., Russo S., Silenzi S., Tinelli A., Tornambè A., Trabucco B., Vani D. Venti F., Cicero A.M. 2006. Ecodiversità e distribuzione spazio-temporale delle comunità macrobentoniche di fondo molle dell'area marina della Tenuta di Castelporziano. In: Accademia delle Scienze detta dei XL "Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo" in collaborazione con il Segretariato generale della Presidenza della Repubblica Italiana, Seconda Serie, Roma 2006: 1047–1089.

Tomassetti P., Chimenz Gusso C. 1998. Distribuzione dei Crostacei Tanaidacei nella zona costiera del Mar Tirreno laziale. Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova: 62–63.

Umgiesser G., SHYFEM – Finite Element Model for Coastal Seas – User Manual – Version 7.5.40, The SHYFEM Group, 2017.

Valipour R., Boegman L., Bouffard D., Rao Y. R., Sediment resuspension mechanisms and their contributions to high-turbidity events in a large lake: Sediment resuspension mechanisms and their contributions, Limnology and Oceanography, Vol. 62, 2017, pp. 1045–1065.



van Rijn L. C., Sediment transport, part III: bed forms and alluvial roughness, *Journal of Hydraulic Engineering*, 110, 1985, pp. 1733-1754.

WAMDI Group., The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model, *American Meteorological Society*, Vol. 18, 1988, pp. 1775–1810.

Winterwerp J. C., van Kesteren W. G. M., Introduction to the Physics of Cohesive Sediment in the Marine Environment, *Elsevier Developments in Sedimentology*, 56, 2004, pp. 1-466.

Zampato, L., Umgiesser, G., Peron, F., Simulazioni di scambio termico all'interfaccia acqua-aria nella Laguna di Venezia. 53 Congresso Nazionale ATI, Firenze. SG Editoriali, Padova, 1998, pp. 205–216.

Zheng C., Bennett G. D., *Applied Contaminant Transport Modeling*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 2002, pp. 440.

Zijlema M., Stelling G., Smit P., Simulating nearshore wave transformation with non-hydrostatic wave-flow modelling, *Environmental Fluid Mechanics Section Faculty of Civil Engineering and Geosciences*, 2011.

Zijlema M., Stelling G., Smit P., SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters, *Coastal Engineering* 58, 2011, pp. 992–1012.

Zurlini G., Bedulli D. 1983. Associazioni macrobentoniche del golfo di Gaeta e loro relazione con i fattori ambientali. In: *Un esempio di analisi ecologica del sistema marino-costiero da Capo Circeo all'Isola d'Ischia*. ENEA-CREA – Serie Simposi: 185–207

<http://www.arpalazio.gov.it/ambiente/acqua/dati.htm?display=balneazione#>

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

