

PROGETTO DI RICERCA “P.E.D.A.S.”:
(Potential Effects of Dredging Activities on SIC)
ANALISI DEI POTENZIALI EFFETTI PRODOTTI DALLE
ATTIVITA' DI DRAGAGGIO SU SPECIE E HABITAT
PRIORITARI PRESENTI NEI SIC IT6000005 E IT6000006

INDICE

1. INTRODUZIONE	5
2. OGGETTO E SCOPO	7
3. SCHEMA FUNZIONALE DELLO STUDIO	8
4. AREA DI STUDIO	10
4.1. Caratterizzazione geomorfologica	11
4.2. Caratterizzazione idrologica	12
4.3. Analisi del clima meteomarinò e studio del paraggio	13
4.4. Analisi del tempo di ritorno degli eventi estremi	20
4.5. Pesca nel compartimento marittimo di Civitavecchia	25
5. MATERIALI E METODI	28
5.1. Raccolta dati in-situ	28
5.1.1. Rilievo idrologico	28
5.1.1.1. Stima della portata liquida e solida degli apporti fluviali	30
5.1.1.2. Campionamento del sedimento dell'alveo fluviale	34
5.1.2. Rilievo correntometrico	35
5.1.3. Rilievo dei parametri fisici, chimici e biologici della colonna d'acqua	37
5.1.4. Stima del rateo di sedimentazione nei SIC	42
5.1.4.1. Stima della densità e biomassa fogliare delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	44
5.1.5. Analisi granulometriche e mineralogiche	45
5.2. Modelli matematici	46

5.2.1. Modello idrodinamico DELFT3D-FLOW	47
5.2.2. Modello di moto ondoso SWAN	50
5.2.3. Modello di dispersione del materiale in sospensione DELFT3D-WAQ	51
5.2.4. Set-up delle simulazioni	54
5.3. Indice sintetico per la stima degli impatti	57
6. RISULTATI	60
6.1. Analisi del trasporto fluviale	60
6.1.1. Morfologia degli alvei fluviali	60
6.1.2. Analisi sedimentologica dei campioni fluviali	62
6.1.3. Regime pluviometrico	64
6.1.4. Trasporto liquido e solido	66
6.2. Analisi del rateo di Sedimentazione nei SIC	97
6.2.1 Analisi granulometrica dei sedimenti all'interno delle praterie di Posidonia oceanica	107
6.3. Analisi della densità fogliare e fenologia delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	110
6.4. Analisi delle simulazioni numeriche	111
6.4.1. Analisi delle correnti marine	111
6.4.2. Analisi della propagazione del moto ondoso	122
6.4.3 Risultati delle simulazioni relative alla dispersione del sedimento	131
6.5. Stima dei degli impatti potenziali sui SIC	139
7. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI	145
BIBLIOGRAFIA	148



LISTA ALLEGATI

ALLEGATO A : Studio relativo alla “Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento delle centrali di Torrevaldaliga Nord e Sud in Presenza delle Nuove Banchine Enel e con Scarico TVS Esterno alla Darsena” (Rapporto CESI, 2002)

ALLEGATO B : Risultati del rilievo dei parametri fisici, chimici e biologici della colonna d'acqua

ALLEGATO C : Risultati delle simulazioni del campo idrodinamico

ALLEGATO D : Risultati delle simulazioni del moto ondoso

ALLEGATO E : Risultati delle simulazioni di dispersione di sedimento

1. INTRODUZIONE

Lo sfruttamento delle zone costiere del Mediterraneo ha avuto un rapido aumento durante la seconda metà del XX secolo; il numero di residenti e di turisti che occupano la costa è raddoppiata nel periodo che va dal 1970 al 2000 (Benoit and Corneau, 2005). L'aumento della popolazione e l'aumento del traffico marittimo, richiede sempre più frequenti interventi di riassetto logistico per l'adeguamento delle strutture portuali. Necessariamente ciò comporta l'esecuzione di attività di dragaggio volte all'approfondimento dei canali di navigazione e alla costruzione di nuove darsene e banchine di ormeggio. Per quanto necessarie, però, tali interventi possono provocare un notevole impatto sull'ambiente marino distruggendo e/o alterando irreversibilmente gli ecosistemi marini costieri. L'effetto potenziale delle attività di movimentazione dei sedimenti può essere sia diretto, come conseguenza del posizionamento dell'opera all'interno dell'area occupata dagli habitat e specie prioritarie, sia indiretto, dovuto all'aumento di torbidità, di sedimentazione e di contaminazione da sostanze organiche ed inorganiche, causata dalla dispersione del materiale fine dragato ai danni all'interno dei SIC dove si trovano le specie e gli habitat da proteggere. In quest'ultimo caso, l'impatto sugli ecosistemi marini può essere di maggiori dimensioni, in quanto va ad incidere su aree molto più estese di quelle direttamente interessate dai lavori.

Il Porto di Civitavecchia è uno dei più antichi porti del mar Mediterraneo, situato nella zona nord della città, rappresenta un importante crocevia per il traffico crocieristico e commerciale del nostro bacino. Gli ultimi assetti previsti dal nuovo Piano Regolatore Portuale, hanno permesso di ampliare il traffico commerciale raggiungendo le 2 milioni di tonnellate di merci di massa ricevute, circa 2400 accosti di navi e più di 3 milioni di passeggeri in transito tra croceristi e passeggeri di linea (dati 2013, <http://www.port-of-rome.org/>). L'adeguamento delle strutture portuali di Civitavecchia, ha indotto la movimentazione di una grande quantità di materiale nelle zone costiere con conseguente ripercussione sugli ecosistemi marini. In particolare, a nord e a sud dell'area portuale, sono presenti due Siti di Importanza Comunitari, IT6000005 ed IT6000006, in cui sono presenti habitat e specie considerate “prioritarie” dalla Direttiva Habitat 92/43/CEE. All'interno di tali SIC sono, infatti, presenti praterie di *Posidonia oceanica* e biocostruzioni coralligene (Allegato I – Direttiva Habitat codice *1120 e *1170 rispettivamente), nonché numerosi individui di *Pinna nobilis* (Allegato IV – Direttiva Habitat Codice *1028).

In letteratura sono presenti numerosi lavori in cui è stato affrontato il problema dell'impatto delle

attività antropiche sulle praterie di *Posidonia oceanica*. La *Posidonia oceanica* è una specie considerata indicatrice dello stato di qualità del corpo idrico che colonizza; ciò è dovuto alla sua sensibilità, in particolare, sia alle variazioni della torbidità della colonna d'acqua che sovrasta le praterie, sia alle variazioni dei ratei sedimentari. L'aumento della concentrazione dei materiali presenti in sospensione nella colonna d'acqua (quindi la diminuzione della trasparenza del mezzo acquatico), porta molto spesso ad una regressione del limite inferiore di questi ecosistemi, a causa della riduzione della disponibilità di radiazione luminosa utile per la fotosintesi. Gli studi eseguiti nel corso degli ultimi anni, hanno messo in evidenza la tolleranza della pianta a basse intensità di luce; in particolare è stato stimato che il quantitativo minimo di luce, richiesto ai fini della sopravvivenza della pianta si aggira tra il 7.8% ed il 16% della radiazione solare incidente (Drew, 1978; Duarte, 1991; Dalla Via et al., 1998; Ruiz e Romero, 2003). In presenza di una quantità di luce inferiore al limite richiesto, la pianta ha la capacità di sopravvivere per un periodo non superiore ai 24 mesi (Gordon et al., 1994). Un altro impatto causato dalle attività di dragaggio, è la variazione dei ratei di sedimentazione, con una conseguente diminuzione della densità dei fasci fogliari delle praterie nei punti di maggior accumulo del materiale presente in sospensione. Per la *Posidonia oceanica* tale variazione può essere fatale, portando al seppellimento e, di conseguenza, al soffocamento dei meristemi apicali della pianta, che non sono in grado in poco tempo di rispondere al disturbo aumentando la propria crescita verticale (otrotropa), o nel caso contrario allo scalzamento dei rizomi presenti nelle zone più sensibili della prateria. È stato stimato che in caso di tassi di sedimentazione superiori ai 5 cm/anno, la pianta non è in grado di reagire e molto spesso si assiste ad una significativa mortalità delle piante (Manzanera, et al., 1995). La movimentazione massiccia di sedimenti durante le attività di dragaggio, molto spesso, comporta anche una significativa variazione tessiturale dei materiali che si depositano nelle praterie ed una maggiore presenza di sostanza organica che si va a depositare insieme ai sedimenti più fini. Questo può determinare situazioni altamente anossiche nel sedimento che ricopre i rizomi e le radici delle piante, alterandone la capacità di assorbire i nutrienti (Manzanera et al., 1998).

Un altro ecosistema che gioca un ruolo ecologico fondamentale per l'ambiente marino costiero è rappresentato dalle biocostruzioni coralligene, ossia dall'insieme delle strutture organogene costruite da organismi, sia vegetali che animali. Tali strutture, formate principalmente da carbonato di calcio, generalmente forniscono un substrato di colonizzazione e di riparo utile per altri organismi. In Mediterraneo, la maggior parte dei biodepositi presenti sono costruiti da organismi incrostanti quali

alghe rosse, celenterati bentonici, policheti e briozoi (Laborel, 1987; Bianchi, 1997, 2002; Bianchi e Morri, 2004; Cocito e Ferdeghini, 2001). La presenza di organismi vegetali e animali in grado di costruire formazioni calcaree dipende dalla profondità in cui si trovano. Nelle zone più superficiali, in cui sussistono le condizioni per la presenza di organismi incrostanti, le biocostruzioni presenti sono principalmente costituite da alghe rosse (Corallinaceae) sciafile, mentre con l'aumentare della profondità diminuisce la componente vegetale a favore degli organismi animali. La variazione dei pattern sedimentari lungo le aree costiere, molto spesso dovuti alla risospensione di materiali di granulometria fine durante le attività di dragaggio, è una minaccia per la ricchezza e la biodiversità delle comunità bentoniche (Airoidi & Cinelli, 1997). La sedimentazione può agire attraverso diversi meccanismi; i sedimenti che si depositano sul fondo danneggiano, in particolar modo, gli organismi sessili, intasandone gli apparati di filtrazione ed inibendone la crescita ed i processi metabolici. Il sedimento risospeso dai dragaggi può aumentare la torbidità dell'acqua, compromettendo in tal modo la produzione delle alghe incrostanti che formano le biocostruzioni, e delle zooxantelle, microalghe simbiotici di alcuni organismi sessili (Irving & Connell, 2002).

La *Pinna nobilis* è un mollusco bivalve endemico del Mar Mediterraneo, il quale può raggiungere anche considerevoli dimensioni (altezza delle valve > 1 m). A causa dell'aumento delle attività antropiche e della pesca indiscriminata, questa specie è stata da tempo inserita nelle liste di protezione di molti paesi (Zavodnik et al. 1991; Richardson et al. 1999; Centoducati et al. 2007). Le attività di dragaggio incidono sulle popolazioni di *Pinna nobilis* a causa della distruzione diretta degli habitat in cui queste si accrescono, determinandone la scomparsa da numerosi siti lungo le coste. Tuttavia, in letteratura non sono presenti studi relativi agli effetti di un'eccessiva sedimentazione provocata dalle attività di dragaggio su questo bivalve.

2. OGGETTO E SCOPO

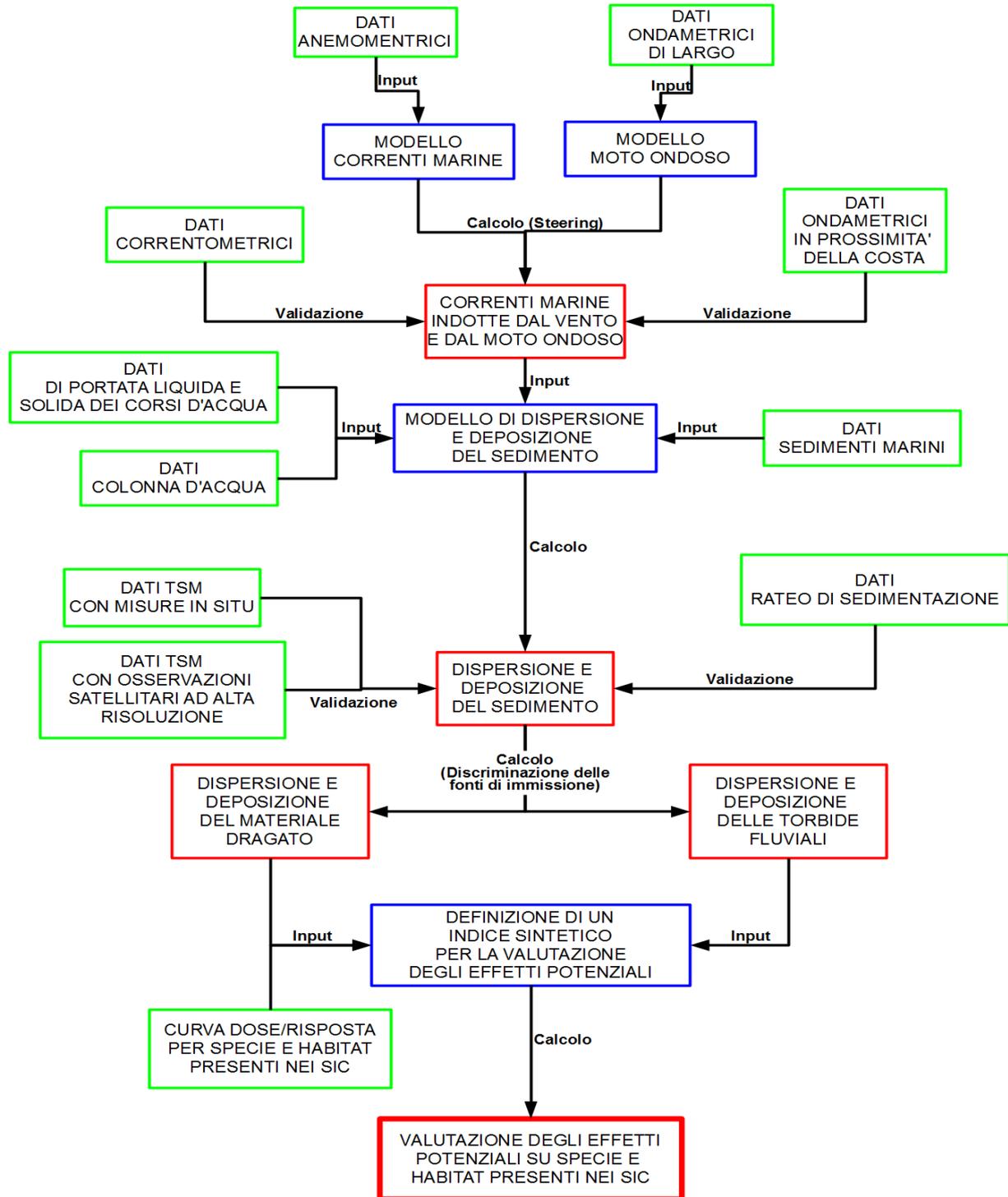
L'obiettivo del presente documento è quello di analizzare l'impatto potenziale delle attività di dragaggio sulle specie e habitat prioritari (Direttiva 92/43/CEE) che si trovano all'interno dei due SIC (Sito di Importanza Comunitaria) ubicati a nord (IT6000005, Fondali tra Punta S. Agostino e Mattonara) e a sud (IT6000006, Fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro) del porto di Civitavecchia. Lo scopo del presente lavoro è anche quello di discriminare le diverse fonti di immissione del sedimento in sospensione analizzando separatamente sia gli impatti prodotti dalle

operazioni di dragaggio, sia quelli connessi alle torbide fluviali che si verificano dopo intense precipitazioni. Nella fattispecie per attività di dragaggio si intendono quelle relative alla realizzazione delle opere marittime previste dal PRP (Piano Regolatore Portuale) del 2004 che comprende il Prolungamento dell'Antemurale Cristoforo Colombo, la Darsena Sevizi e Traghetti, la Darsena Energetica Grandi Masse e l'apertura del varco a sud.

Le attività di questo studio sono contenute nel progetto di ricerca P.E.D.A.S. (Potential Effects of Dredged Activities on SIC) che si propone di fornire una metodologia che permetta, attraverso un approccio multidisciplinare costituito da acquisizioni di dati in situ, da osservazioni satellitari e da simulazioni numeriche, di analizzare e prevedere gli effetti potenziali derivanti dalle attività di dragaggio sulle aree marine costiere ad elevato valore ecologico. I risultati di questo progetto potranno essere utilizzati per predisporre un idoneo piano di campionamento per monitorare le componenti abiotiche e biotiche dell'ecosistema marino nelle fasi ante, durante e post operam e per scegliere le opportune attività di mitigazione sia in prossimità della fonte, sia in corrispondenza delle specie ed habitat da salvaguardare.

3. SCHEMA FUNZIONALE DELLO STUDIO

Il progetto P.E.D.A.S (Potential Effects of Dredging Activities on SIC) è costituito da una serie di attività che hanno come obiettivo quello di analizzare e prevedere gli impatti potenziali prodotti dalle attività di dragaggio sulle principali specie ed habitat dell'ecosistema marino costiero. Nello schema 1 viene riportato il diagramma di flusso del progetto in cui viene mostrata la connessione tra i dati bibliografici, raccolti in situ o da satellite (rettangoli verdi) e modelli matematici (rettangoli blu) che sono utilizzati per calcolare le variabili di interesse (rettangoli rossi).



Schema 3.1 : diagramma di flusso dello studio.

4. AREA DI STUDIO

L'area di studio riguarda l'area vasta che si estende da Marina di Montalto, a nord, a Torre Flavia, a sud, e comprende i SIC IT6000005 e IT6000006 che si trovano rispettivamente nella zona di mare antistante i comuni di Civitavecchia e Santa Marinella (Fig. 4.1). La scelta di questa zona è stata effettuata sulla base dei risultati delle simulazioni numeriche di dispersione che dimostrano come la quantità di materiale dragato che oltrepassa i limiti nord e sud dell'area vasta sia molto bassa.

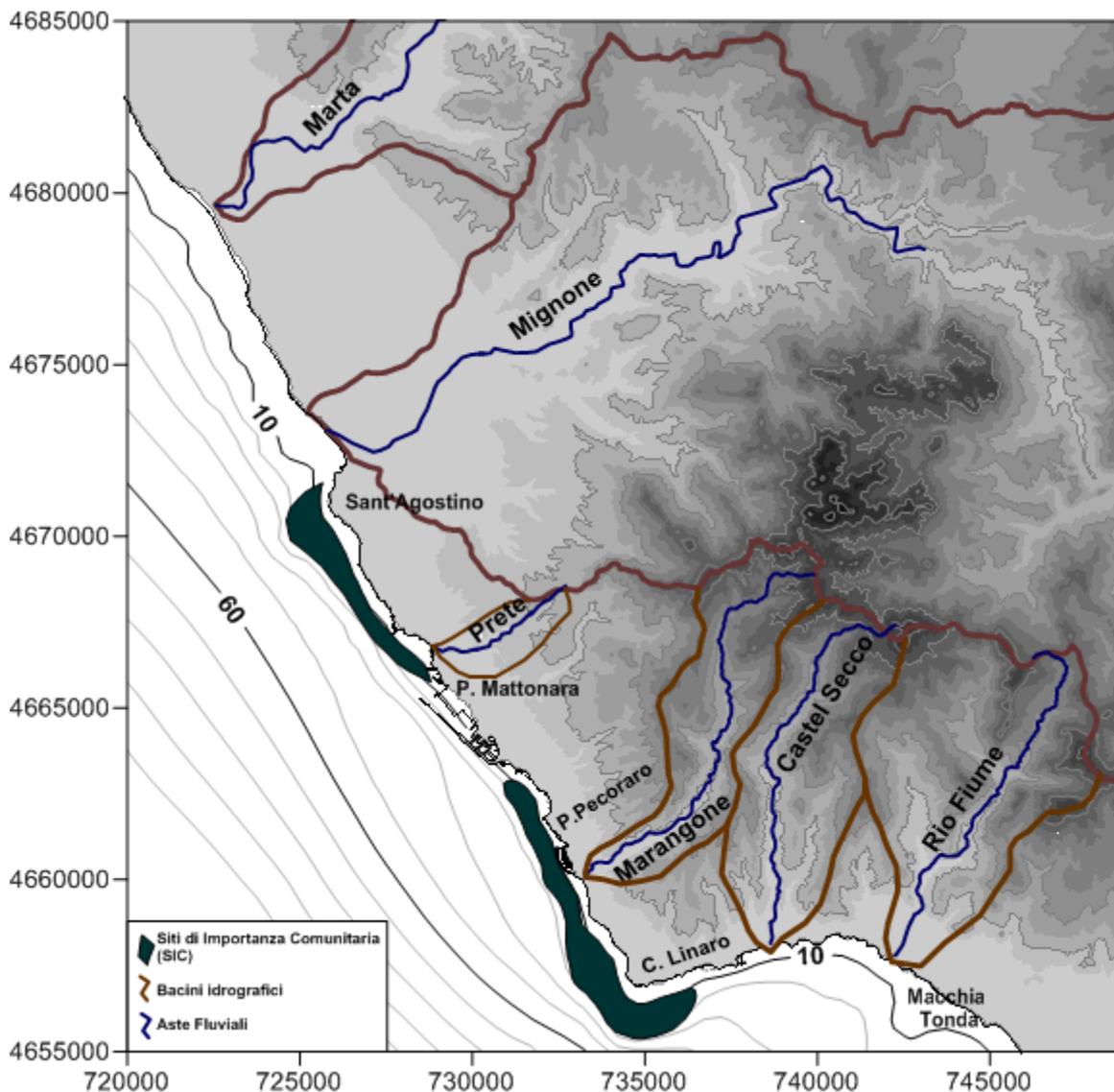


Fig. 4.1: Area vasta che si estende da Marina di Montalto a Torre Flavia all'interno della quale si trovano i SIC IT 6000005 e IT 6000006 (in verde).

Il SIC IT6000005 si estende da Punta Sant'Agostino sino a Punta Mattonara con una superficie di 435 ha e lunghezza complessiva di 5 km circa; il SIC IT6000006, situato più a sud, comprende i fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro con una superficie di circa 746 ha e lunghezza complessiva di 5 km. Entrambi i siti di interesse comunitario sono caratterizzati dalla presenza di praterie di *Posidonia Oceanica* (con una copertura rispettivamente di 417 ha e 746 ha) e la presenza delle specie prioritarie *Corallium rubrum* (codice 1001) e *Pinna Nobilis* (codice 1028). Da un punto di vista geomorfologico i SIC IT6000005 e IT6000006 sono compresi tra i vincoli lito-morfologici di due unità fisiografiche: Monte Argentario-Capo Linaro a nord e Capo Linaro-Palo a sud.

4.1 Caratterizzazione geomorfologica

La piattaforma continentale dell'unità fisiografica Monte Argentario-Capo Linaro ha una pendenza media di circa 0.5° , è ampia 30-40 km ed il margine verso mare si trova ad una profondità variabile tra i 120 m e i 150 m (Chiocci e La Monica, 1996). L'area costiera beneficia degli apporti alluvionali dei bacini idrografici dei fiumi Fiora, Marta e Mignone e subordinatamente degli apporti di alcuni corsi d'acqua minori, che solo localmente e durante le fasi di forte alluvionamento influenzano la sedimentazione marina (Angelucci et al., 1979; Carboni et al., 1980; Tortora 1989a; 1989b). L'area dei bacini drenanti verso la zona costiera è caratterizzata da diversi tipi lito-morfologici: circa il 30% è composta da “vulcani basici ed intermedi”, la cui distribuzione areale corrisponde ad una fascia orientata circa NW – SE; altri tipi lito-morfologici affioranti nell'area (5% - 12 % della superficie dei bacini considerati) sono: “colline inframontane, pedemontane o costiere marnose”, “rilievi colline e ripiani costituiti o coperti da tufi”, “i terrazzi marini ed alluvionali antichi” e “Pianure costiere e delta fluviali” (Brondi et al., 1988; Brondi et al, 2002). La fascia costiera risulta caratterizzata prevalentemente da sedimenti sabbiosi e sabbioso-pelitici con aumento della frazione limoso-argillosa verso largo controllata dai processi di dispersione dei limi fluviali (Tortora, 1989b). In particolare procedendo da nord verso sud si osservano inizialmente fondali poco acclivi associati ad un'ampia fascia costiera sabbiosa fino a Punta delle Morelle; in seguito si osserva un aumento della pendenza media della piattaforma continentale che risulta particolarmente accentuata nell'area compresa tra Sant'Agostino e Capo Linaro dove sono presenti affioramenti rocciosi e sedimenti grossolani (Chiocci e La Monica, 1996; La Monica e Raffi, 1996).

Il trasporto litoraneo dei sedimenti appare orientato da Sud-Est verso Nord-Ovest (Anselmi et al., 1976; Berriolo G., Sirito G., 1985; Noli et al., 1996), ulteriormente avvalorato dall'andamento del tratto terminale delle aste dei fiumi Marta e Mignone e dei loro modesti apparati deltizi che risultano spostati verso NO.

L'unità fisiografica Capo Linaro-Capo d'Anzio, situata a sud, presenta, fino a Palo Laziale, una successione di promontori ed insenature caratterizzate da piccole spiagge ciottolose ed alimentate dai modesti corsi d'acqua che drenano i versanti meridionali dei Monti della Tolfa e che non forniscono significativi apporti di materiali terrigeni (La Monica e Raffi, 1996). I fondali sono caratterizzati dalla prevalenza di peliti sabbiose, il cui limite verso terra è legato alla distribuzione delle biocostruzioni. La mancanza di sedimenti a prevalente composizione sabbiosa è dovuta alla mancanza di apporti sedimentari dall'interno e all'azione di blocco delle biocostruzioni sui sedimenti in deriva litoranea da SE. La spiaggia sommersa risente dell'assetto morfologico del tratto emerso ed è caratterizzata dalla presenza di secche (Secche di Macchiatonda, Torre Flavia e Palo), che giungono fino alla profondità di 20m e sulle quali sono presenti praterie di *Posidonia oceanica*. Oltre i 20m, la morfologia dei fondali diventa omogenea e caratterizzata da un progressivo incremento delle pendenze.

4.2. Caratteristiche idrologiche

I corsi d'acqua presenti lungo l'area di studio possono essere suddivisi in 2 gruppi: i fiumi e i fossi. Le caratteristiche di questi corsi d'acqua sono strettamente dipendenti dalla morfologia dell'entroterra. L'area di studio comprende la porzioni di litorale alla base dei monti della Tolfa un complesso collinare-montuoso che raggiunge i 600 m slm. La porzione di litorale tra Civitavecchia e Santa Marinella è caratterizzata da coste di falesia e terrazzi in cui i rilievi del complesso montuoso suddetto si spingono fin sulla costa determinando un territorio ad elevata pendenza in cui si sviluppano corsi d'acqua di modesta lunghezza, rettilinei e con un regime impulsivo strettamente legato alle piogge. Questi corsi d'acqua sono infatti costituiti da un ambito fisiografico collinare montuoso a ridosso della costa e presentano un regime torrentizio con deflusso di base molto modesto che può addirittura interrompersi durante i periodi di scarsità di pioggia (es. estate) mentre in presenza di precipitazioni subiscono un repentino ingrossamento legato all'intensità dell'evento ed una capacità di erosione e trasporto molto elevata. Procedendo verso nord da Capo Sant'Agostino

la morfologia costiera assume un andamento meno acclive con morfotipi di costa di litorale dritto costituiti da sedimento sabbioso trasportato da fiumi intermedi con una struttura complessa suddivisibile in un ambito fisiografico montuoso-collinare ed uno di pianura. Tali corsi d'acqua sono caratterizzati da bacini idrografici di intermedia estensione ($> 400 \text{ km}^2$) con un reticolo idrografico complesso.

- Bacino del fiume Marta:

Il bacino idrografico del Marta ha un estensione di 1090 km^2 , l'omonima asta fluviale principale si origina come emissario del Lago di Bolsena, a circa 300 m slm, presenta diversi affluenti i cui principali sono il fosso Maschiolo, il fosso Pantacciano, il torrente Traponzo, il fosso Capecchio e il fosso Civitella. In particolare il torrente Traponzo l'affluente più importante, sottende il 60% della superficie totale del bacino.

- Bacino del fiume Mignone:

Il bacino idrografico del fiume Mignone ha un estensione di 496 km^2 , l'omonima asta fluviale principale nasce dai Monti Sabatini in località Chiavica, a circa 600 m slm, presenta diversi affluenti di cui i principali sono il fosso Lenta, il fosso Verginese, il fosso Vesca, Il torrente Canino, il rio Marciano, il torrente Ranchise, il Melledra ed il fosso Vite.

Le principali caratteristiche dei bacini idrografici dei corsi d'acqua analizzati sono riassunti in tabella 4.1.

Corso d'acqua	Area (km^2)	Lunghezza Asta principale (km)	Altezza media (m)	Pendenza (%)
Rio Fiume	43.68	12.4	263	4.24
Castelsecco	30.14	12.5	273	4.36
Marangone	24.82	14.2	256	3.6
F.so del Prete	5.39	4.7	60	2.55
F. Mignone	496	62	263	0.85
F. Marta	1090	54	152	0.56

Tab.4.1 : Caratteristiche bacini idrografici oggetto dello studio

4.3 Analisi del clima meteomarinario e studio del paraggio

Il regime sedimentario e l'esposizione rispetto agli eventi meteomarini del tratto di costa oggetto di studio cambia tra la parte a nord e quella a sud di Capo Linaro. Il tratto meridionale presenta

un'orientazione della perpendicolare alla linea di costa compresa tra SW e SSE, mentre quello settentrionale tra SW e NW. Questa condizione determina una differente situazione idrodinamica tra le due zone quando sono soggette ad uno stesso evento meteomarinico. Il promontorio di Capo Linaro si presenta quindi come il punto più esposto dell'area in esame e risulta rappresentativo per definire il settore di traversia a cui è esposto il tratto di costa oggetto di studio.

È stato definito sia un settore di traversia sia principale che secondario. Il settore di traversia principale si apre per un intervallo angolare che comprende tutte le direzioni tra 134° e 314° N ed è limitato a Sud dal delta del Tevere e a Nord dal promontorio di Monte Argentario. Il settore di traversia secondario invece ha un'ampiezza di 180° e comprende le direzioni tra 105° e 304° N ed è limitato a Sud da Torre Macchiatonda e a Nord dal promontorio di Ansedonia (Fig.4.2).



Fig. 4.2 : analisi del settore di traversia nel tratto di costa oggetto di studio

I dataset utilizzati per l'analisi delle condizioni meteomarine che interessano il tratto di costa Marina di Montalto-Torre flavia provengono dalle rilevazioni dirette di tre ondometri (RON e ENEL) e un anemometro (RMN) (Fig. 4.3). L'intervallo temporale preso in considerazione va dal 1994 al 2011 ed è stato definito considerando la disponibilità delle rilevazioni effettuate. All'interno di questo intervallo manca l'arco temporale 2007-2008 e quello 2002-2003 in quanto le boe ondometriche in questi periodi non ha effettuato rilevazioni. La Rete Ondometrica Nazionale gestita dall'ISPRA dal 1989 ha posizionato 14 boe in varie zone delle coste italiane. La stazione di Capo Linaro posta sui 100 m di profondità (Lat 42°00'00" N Long 11°46'36.1" E) è attiva dal 2004 e consiste in una boa direzionale TRIAXYS, fabbricata dalla ditta canadese Axys Technologies Inc. I dati sono stati acquisiti per periodi di 30 minuti ogni 3 ore (fino al 2006) e per periodi di 20 minuti ogni 30 minuti dal 2006 ad oggi. Dalla registrazione dello spettro d'onda sono ottenuti i seguenti principali parametri statistici che descrivono il moto ondoso:

- ⤴ Hm0 (metri) altezza d'onda significativa;
- ⤴ Tp (secondi) periodo di picco;
- ⤴ Tm (secondi) periodo medio;
- ⤴ Dm (gradi N) direzione media di propagazione.

L'ENEL ha posizionato due boe ondometriche entrambe poste a largo di Torre Valdaliga a circa 30 m e 50 m di profondità. La prima con coordinate Lat 42° 07' 00" N e Long 11° 43' 48" E è stata in funzione dal 1994 al 1997 e la seconda posizionata a Lat 42° 07' 30" N e a Long 11° 44' 30" E ha prodotto dati dal 1998 al 2001.

I dati di vento sono stati acquisiti dalla Rete Mareografica Nazionale che è composta da 26 nuove stazioni di misura uniformemente distribuite sul territorio nazionale ed ubicate prevalentemente all'interno delle strutture portuali. La centralina di Civitavecchia situato all'interno del porto (Lat 42°5'37.19" N Long 11°47'22.85" E) è gestito dall'ISPRA. e fornisce dati meteorologici tra cui la velocità e direzione del vento.

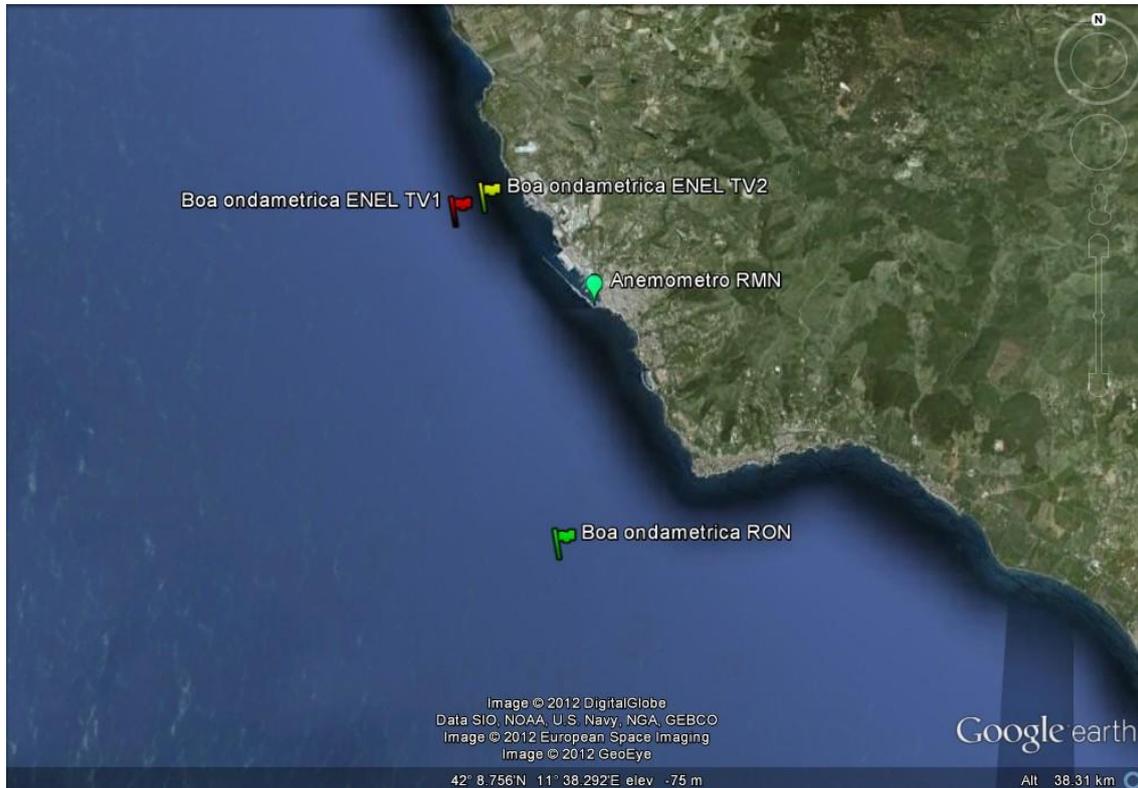


Fig. 4.3 : posizione delle boe ondamiche e della centralina meteo all'interno dell'area di studio

Considerando la massima distanza (circa 13 km) tra le tre boe ondamiche prese in considerazione in questo studio, si può ritenere che queste siano interessate dalle stesse condizioni meteomarine e quindi i dati acquisiti possono essere confrontabili tra loro, ad eccezione per gli eventi provenienti dal secondo quadrante. Infatti, la posizione degli ondometri dell'ENEL risulta riparata rispetto agli eventi provenienti da SE, fino a 136° per la boa ENEL TV1 e fino a 141° per la boa ENEL TV2 come osservabile in Fig.4.



Fig. 4.4 : zona d'ombra delle boe ondometriche di ENEL rispetto agli eventi provenienti dal secondo quadrante

L'ondametro della RON è collocato invece in una posizione ottimale in quanto riesce a registrare tutti gli eventi che ricadono all'interno del settore di traversia della zona di studio.

Di seguito sono riportati i climi ondosi relativi agli anni di rilevamento delle tre stazioni di misura (Fig. 4.5, 4.6 e 4.7)

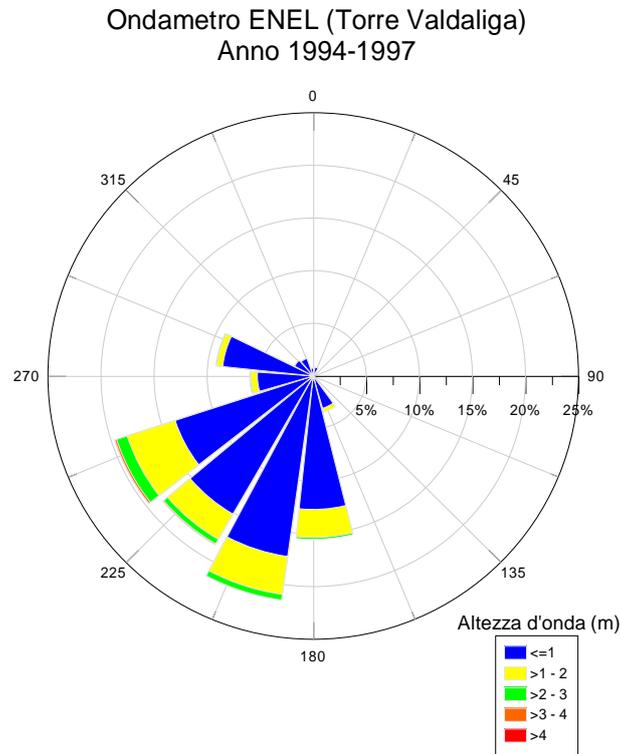


Fig. 4.5 : clima d'onda relativo all'ondametro di Torre Valdaliga (ENEL) nel periodo 1994-1997

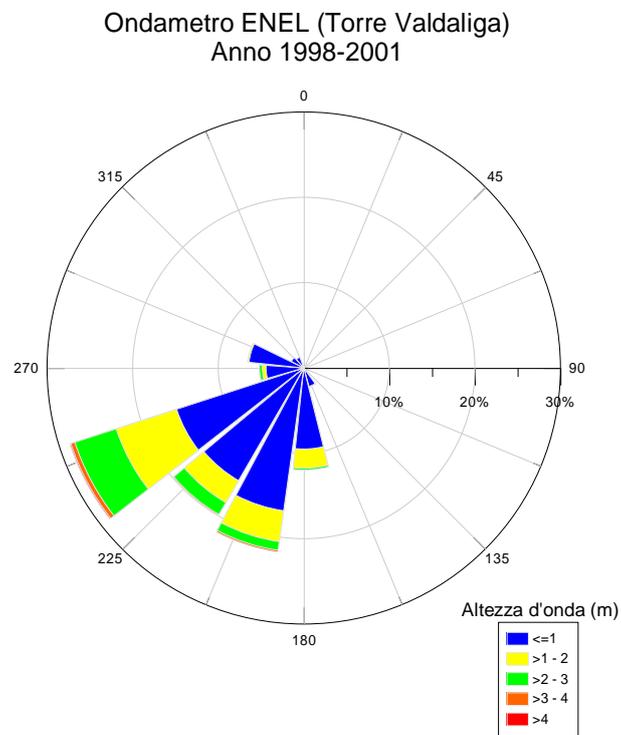


Fig. 4.6 : clima d'onda relativo all'ondametro di Torre Valdaliga (ENEL) nel periodo 1998-2001

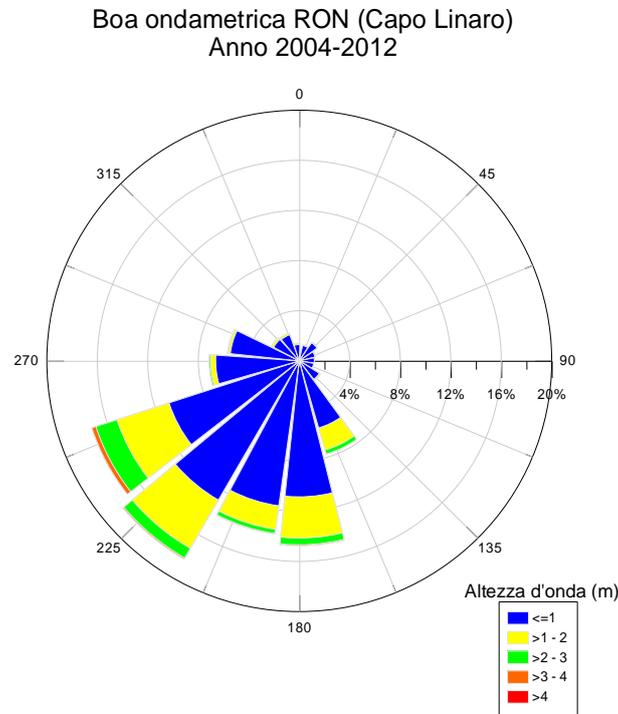


Fig. 4.7 : clima d'onda relativo all'ondametro di Capo Linaro (RON) nel periodo 2004-2012

La prima analisi effettuata ha visto la costruzione di climi ondosi considerando l'intero arco temporale in cui lo strumento ondometrico ha effettuato le rilevazioni in modo da poter effettuare una prima visione d'insieme dei fenomeni che hanno interessato la porzione di mare dove è situato lo strumento. Durante l'arco temporale che va dal 1994 al 1997 gli eventi meteomarini provengono principalmente dalle direzioni comprese tra S e WSW ed in particolare gli eventi regnanti hanno una direzione SSW mentre quello dominante proviene da WSW.

Tra il 1998 e il 2001 gli eventi con maggiore frequenza sono concentrati in un settore angolare più ristretto compreso tra SSW e WSW. In particolare il moto ondoso prevalente è concentrato all'interno del settore di direzione SW. All'interno dell'arco temporale esteso dal 2004 al 2012 si osserva come gli eventi meteomarini provengano preferenzialmente da S e WSW. Si può osservare inoltre che mentre il moto ondoso regnante proviene da SW quello dominante ha una direzione WSW.

L'anemometro RMN di Civitavecchia utilizzato per l'analisi dei dati ha prodotto rilevazioni lungo l'arco temporale compreso tra il 1998 e il 2011. La rappresentazione è avvenuta mediante la

costruzione di un clima di vento di seguito riportato (Fig. 4.8).

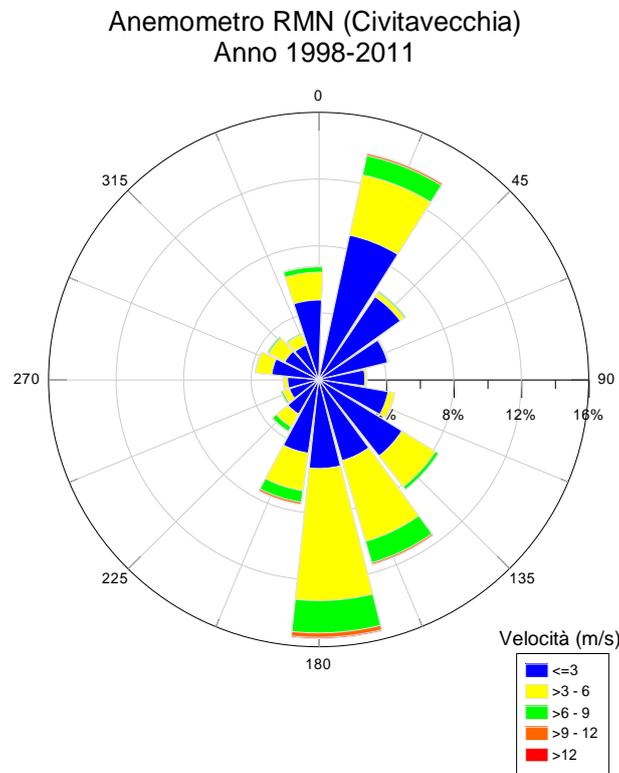


Fig. 4.8 : rosa dei venti relativa all'anemometro di Civitavecchia (RMN) nel periodo 1998-2011

Dal grafico si osserva come gli eventi prevalenti provengono da Mezzogiorno ed hanno un'intensità maggiore di 12 m/s. Venti di elevata intensità sono stati registrati anche per le direzioni SSW, SSE e NNE a cui è associata anche un'alta frequenza.

4.4 Analisi del tempo di ritorno degli eventi estremi

Il calcolo del tempo di ritorno degli eventi estremi viene effettuato attraverso un approccio probabilistico. I dati utilizzati per il calcolo del tempo di ritorno degli eventi estremi fanno riferimento all'ondametro della Rete Ondametrica Nazionale (RON) posto a largo di Capo Linaro e ai dati relativi alle boe dell'ENEL di Torrevaldaliga trasposti geograficamente sul punto della boa della RON. Le registrazioni effettuate si estendono dal 1994 al 2001, e dal 2004 al 2012.

L'analisi è stata eseguendo i seguenti steps:

1. suddivisione del dataset in settori di provenienza;
2. selezione delle altezze d'onda significative da sottoporre all'analisi statistica;
3. scelta della distribuzione di probabilità;
4. calcolo del tempo di ritorno.

Clima ondoso a Capo Linaro
Ondametro direzionale RON + Dati ENEL trasposti
(Civitavecchia, RM)
1994 - 2012

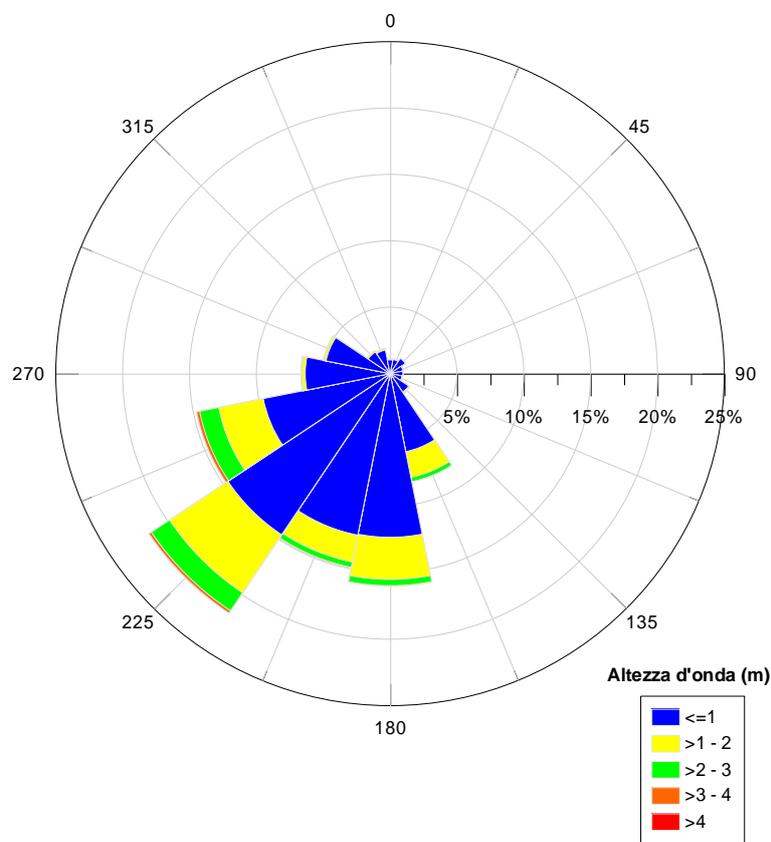


Fig. 4.9 : clima d'onda ottenuto dai dati registrati dall'ondametro di Capo Linaro (RON) e da quelli trasposti delle boe ENEL.

I settori di provenienza sono stati scelti in funzione del settore di traversia di Capo Linaro e della frequenza ed intensità delle mareggiate. In particolare gli intervalli angolari presi in considerazione sono stati: 157 °- 202 °N, 202 °- 270 °N, 270 °- 360 °N. Per la selezione degli eventi da sottoporre all'analisi statistica è stato utilizzato il metodo POT (Peak Over Threshold). I valori soglia attribuiti ai diversi settori direzionali scelti sono: 3m per il settore angolare compreso tra 157 ° e 202 °N, 3.3

m per la direzione compresa tra 202 °N e 270 °N, 1.10 m per la direzione da 270 ° a 360 °N. Successivamente le serie tronche di dati sono state riferite alle classiche leggi di distribuzione probabilistiche, al fine di determinare il valore di altezza d'onda significativa associato ad un prefissato tempo di ritorno o la probabilità di non superamento durante la vita delle opere. Le leggi adottate di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento sono quella di Weibull (4.1) e quella di Gumbel (4.2).

$$P(X < x) = 1 - e^{-[(x-B)/A]^\alpha} \quad (4.1)$$

$$P(X < x) = \exp[-\exp[-(x-b)/a]] \quad (4.2)$$

dove X è la variabile aleatoria, x è il valore di non superamento e α , A, B, a, b sono i parametri delle distribuzioni. Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione (4.3):

$$Tr(X < x) = 1 / (1 - P(X < x)) \quad (4.3)$$

Di seguito sono riportate le rette di regressione relative alle diverse distribuzioni di probabilità ottenute per il settore direzionale compreso tra 202-270 °N (Fig. 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14).

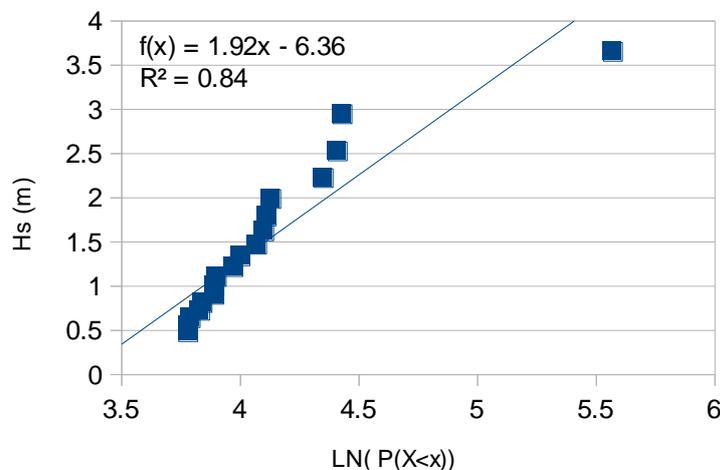


Fig. 4.10 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Gumbel

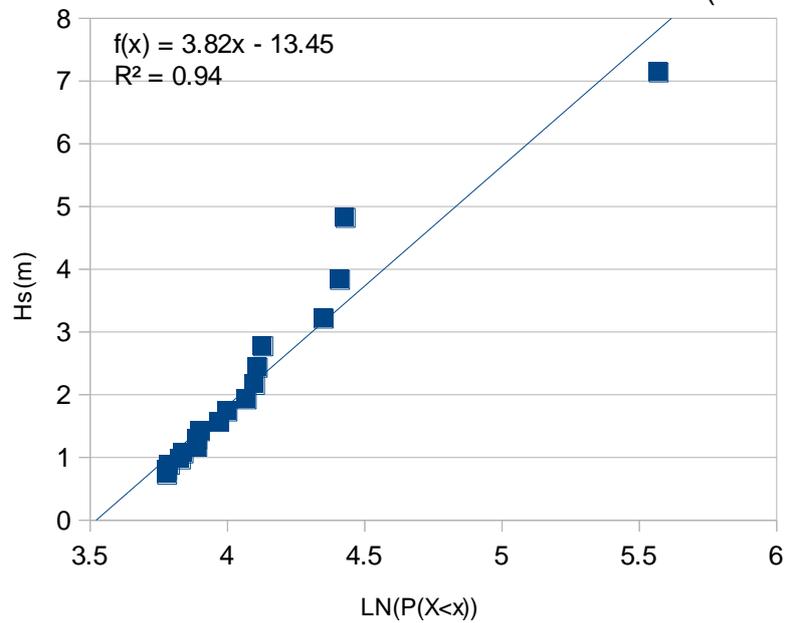


Fig. 4.11 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Weibull ($k=0.75$)

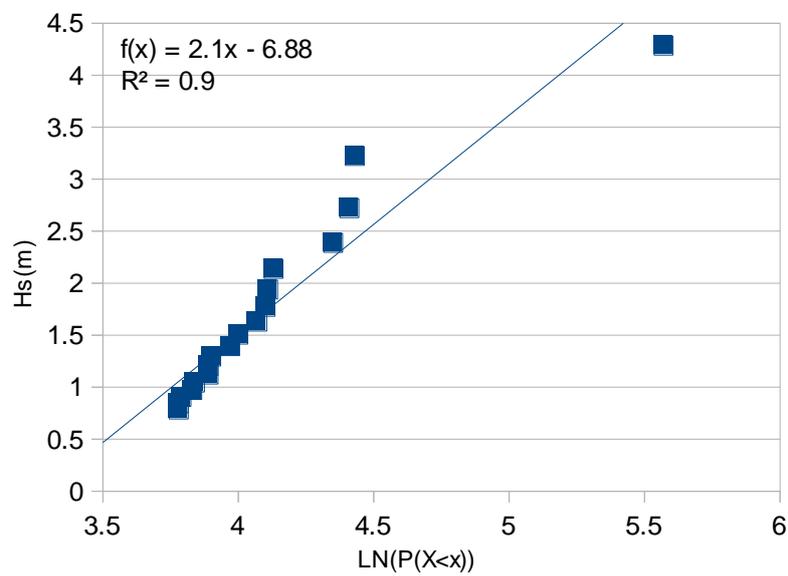


Fig. 4.12 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Weibull ($k=1$)

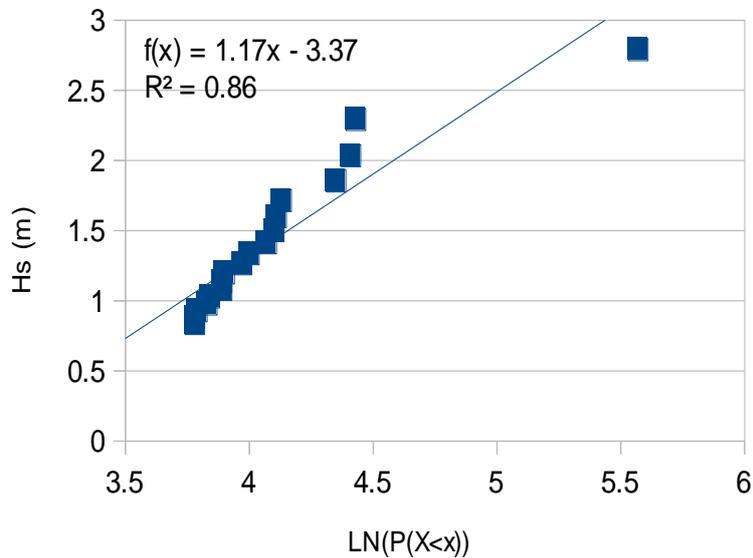


Fig. 4.13 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Weibull ($k=1.4$)

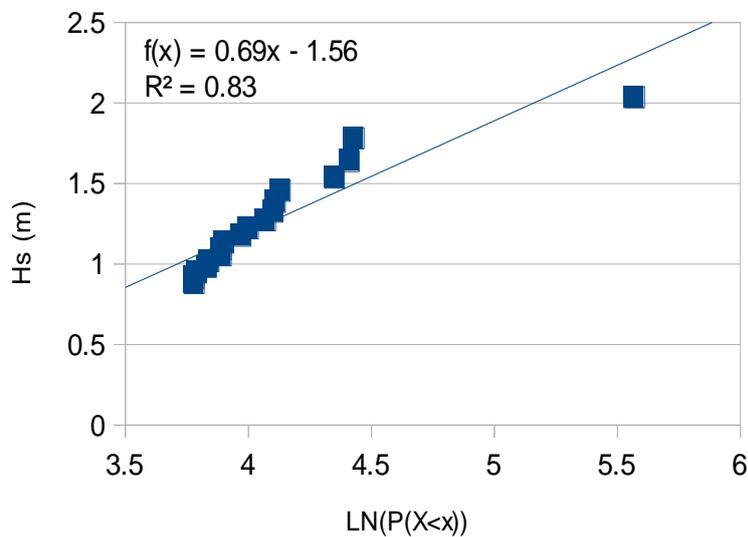


Fig. 4.14 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Weibull ($k=2$)

In questo caso la distribuzione che meglio si adatta al dataset è la distribuzione di Weibull con coefficiente 0.75. Lo stesso metodo è stato applicato per gli altri settori direzionali ottenendo i seguenti risultati relativi al tempo di ritorno e la probabilità di non superamento riportati in Tab.4.2

Tempo di ritorno/Direzione	152 °-202 °		202 °-270 °		270 °- 360 °	
2	4.17	0.84	4.17	0.84	1.5	0.55
5	5	0.90	5	0.90	2	0.81
10	5.65	0.93	5.65	0.93	2.5	0.90
20	6.28	0.95	6.28	0.95	3.2	0.95

Tab. 4.2 : risultati relativi all'altezza d'onda significativa associata ad un prefissato tempo di ritorno per gli intervalli di direzioni 152-2002, 202-270 e 270-360.

4.5. Pesca nel compartimento marittimo di Civitavecchia

La flotta peschereccia di Civitavecchia, dal punto di vista amministrativo, fa parte di uno dei tre compartimenti marittimi regionali dislocati nella costa laziale. Attualmente risultano attive 13 imbarcazioni, aventi una lunghezza fuori tutto, mediamente, di circa 20 metri. La tipologia di pesca ricade essenzialmente in quella che viene definita pesca a strascico, dove le specie catturate sono, in genere e comunque sempre prevalentemente, bentoniche e demersali. All'interno della marineria, tuttavia, in base alla specie bersaglio principali, e quindi in base alla quota batimetrica e all'area in cui viene esercitata l'attività di pesca, possiamo distinguere, sulla base di indagini dirette e interviste ai pescatori, una suddivisione in "pesca superficiale" e "pesca profonda". Nel primo caso, che è anche quello decisamente più diffuso, la pesca viene effettuata a pochissime miglia dalla costa, a quote batimetriche generalmente comprese tra i 70 e i 120 metri. Le principali specie bersaglio, tutte di elevato valore commerciale, sono, sia in termini di numero di individui che di biomassa, il Nasello (*Merluccius merluccius*), la Triglia di Fango (*Mullus barbatus*), il Moscardino (*Eledone spp.*) e il Gambero Rosa (*Parapaenaeus longirostris*). Altre specie catturate in abbondanza risultano essere l'acciuga (*Engraulis encrasicolus*), il Merluzzetto (*Trisopterus minutus*), Totani (generi *Todarodes*, *Illex* e *Todaropsis*), Calamari (*Loligo vulgaris*) e, in minor misura, ma con elevato valore commerciale, la rana pescatrice (*Lophius spp.*). Nella tipologia di pesca a strascico che abbiamo definito "profonda", invece, la specie bersaglio è essenzialmente rappresentata da

un'unica specie, lo Scampo (*Nephrops norvegicus*). Tale tipologia di pesca viene esercitata a quote batimetriche nettamente superiori rispetto alla pesca costiera, comprendendo, in genere, la fascia di profondità compresa tra i 250 e i 500 metri. Come distanza dalla costa, spesso tali imbarcazioni operano anche oltre le 20 miglia nautiche. È opportuno comunque sottolineare che i pescherecci che si dedicano a quest'ultima tipologia di pesca sono in numero molto esiguo e in taluni periodi è addirittura un'unica imbarcazione a esercitare la pesca mirata agli scampi. In definitiva, per quanto riguarda le aree battute dalla pesca a strascico di Civitavecchia, possiamo dire che queste comprendono una distanza di pesca che va da 2-3 miglia fino a oltre 20 miglia dalla costa, mentre il range batimetrico è compreso tra i 70 e i 500 metri. Il tratto di mare normalmente battuto e interessato dalle attività di pesca ricade nel tratto prospiciente la costa compreso tra Santa Marinella e Tarquinia. Il pescato totale medio giornaliero, espresso in kg, è di 87.76 kg per quanto riguarda la "pesca superficiale" e di 101.72 kg per la "pesca profonda". Esaminando alcuni dati sulla marineria e sulla pesca a partire dagli anni 2010 - 2011, non si riscontrano significative differenze per quanto riguarda la situazione della pesca e lo sfruttamento delle risorse alieutiche (ad eccezione di un decremento più o meno significativo avvenuto nell'anno 2012). Mentre, per quanto riguarda la composizione della flotta peschereccia locale, è stata registrata una diminuzione del numero delle imbarcazioni attive operanti con lo strascico: si è infatti passati da 19 imbarcazioni attive del 2010 alle attuali 13 nell'anno 2015. Inoltre, dai dati raccolti negli ultimi anni e da interviste dirette ai pescatori non si sono registrati particolari e/o significativi effetti negativi per la pesca collegati alle operazioni di dragaggio di fine 2012 – inizio 2013, che avrebbero potuto impattare negativamente soprattutto su quelle specie che all'interno delle praterie di *Posidonia oceanica* trovano aree di rifugio o di nursery, nonché siti abituali od occasionali utilizzati per l'alimentazione e/o la riproduzione.

Specie	%
<i>Nephrops norvegicus</i>	5,37
<i>Todarodes sagittatus</i>	5,19
<i>Sepiola sp.</i>	1,79
<i>Parapaenaeus longirostris</i>	30,80
<i>Lepidopus caudatus</i>	2,86
<i>Micromesistius poutassou</i>	1,43
<i>Phycis blennoides</i>	0,81
<i>Galeus melastomus</i>	1,61
<i>Conger conger</i>	0,90
<i>Lophius spp.</i>	1,97
<i>Merluccius merluccius</i>	7,70
<i>Eledone spp.</i>	13,34
<i>Squilla mantis</i>	3,49
<i>Trisopterus minutus</i>	3,31
<i>Mullus barbatus</i>	3,85
<i>Argentina sphyraena</i>	0,54
<i>Engraulis encrasicolus</i>	0,72
<i>Pagellus erythrinus</i>	0,18
<i>Trachurus trachurus</i>	0,45
<i>Pagellus acarne</i>	0,18
<i>Loligo vulgaris</i>	3,76
<i>Sepia officinalis</i>	0,18
<i>Octopus vulgaris</i>	2,06
<i>Callistoctopus macropus</i>	0,90
<i>Chelidonichthys lucerna</i>	0,54
<i>Mazzama</i>	6,09

Tab. 4.3 : Parte commercializzata del pescato: valori percentuali per specie, riferiti alla biomassa totale, relativi al periodo 2014-2015.

5. MATERIALI E METODI

5.1. Raccolta dati in-situ

In questo capitolo verranno descritti i metodi utilizzati per la raccolta e l'analisi dei dati relativi alle campagne di misura previsti dal progetto P.E.D.A.S. che comprendono:

- ♣ rilievo idrologico (Par. 5.1.1);
- ♣ rilievo dei parametri fisici, chimici e biologici della colonna d'acqua (Par. 5.1.3);
- ♣ rilievo correntometrico (Par. 5.1.2);
- ♣ analisi sedimentologiche e mineralogiche dei sedimenti fluviali e di quelli presenti nei SIC (Par. 5.1.5);
- ♣ stima del rateo di sedimentazione nei SIC (Par. 5.1.4);
- ♣ stima della produttività e della biomassa di *Posidonia oceanica* (Par. 5.1.6).

5.1.1. Rilievo idrologico

I rilievi idrologici sono stati necessari per la ricostruzione del trasporto liquido e solido dei principali corsi d'acqua presenti lungo l'area di studio. (Fig.5.1):

- ♣ Fiume Marta (Tarquinia),
- ♣ Fiume Mignone (Tarquinia),
- ♣ Fosso del Prete (Civitavecchia),
- ♣ Fosso Marangone (Civitavecchia),
- ♣ Fosso di Castel Secco (Santa Marinella),
- ♣ Rio Fiume (Santa Marinella).

Tali corsi d'acqua Mignone e e Marta sono presenti stazioni fisse di rilevamento dell'Istituto Idrografico della Regione Lazio, per i corsi d'acqua minori non sono presenti informazioni derivanti da rilievi *in situ*. La ricostruzione del trasporto solido fluviale è di fondamentale importanza per definire il carico solido immesso a mare dai fiumi che influenza la torbidità dell'acqua, il bilancio sedimentario delle spiagge e il rateo di sedimentazione della piattaforma continentale fino ad una profondità che dipende dalla dimensione del bacino idrografico drenato e dalle caratteristiche litologiche dei rilievi erosi.

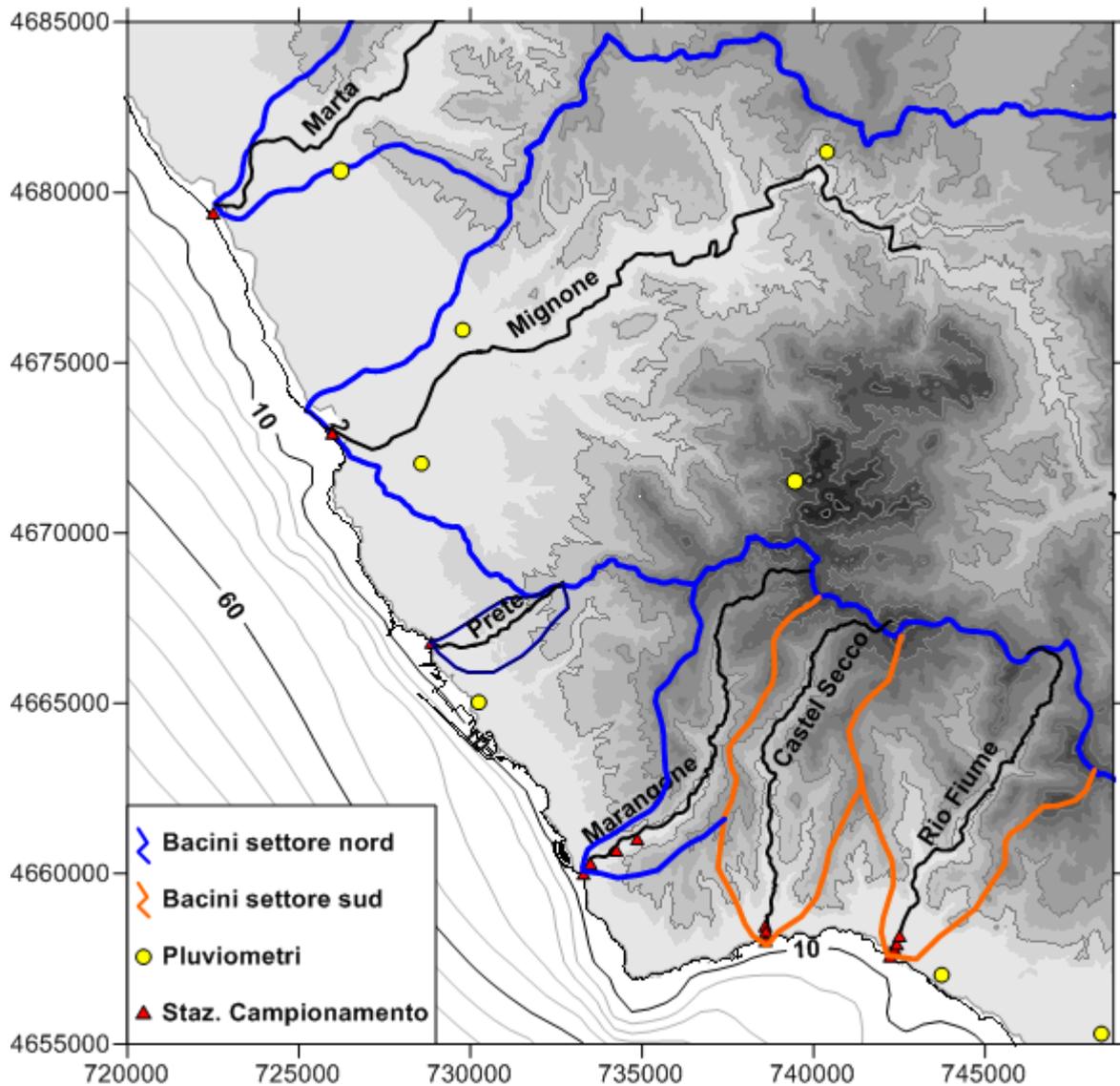


Fig. 5.1: Area di studio i cui sono riportati i corsi d'acqua analizzati, i relativi bacini idrografici, le stazioni di campionamento e i pluviometri.

La stima del trasporto solido verrà effettuata attraverso metodi indiretti che saranno supportati da campagne di misura in situ utili alla determinazione delle principali caratteristiche dei corsi d'acqua analizzati. Il criterio di scelta dei corsi d'acqua si è basato sul trasporto solido fluviale e sul potenziale impatto sui SIC IT6000005 e IT6000006 che si estendono fino ad una profondità di circa 40 m. Sono stati presi in considerazione i principali corsi d'acqua presenti lungo l'area di studio. Dall'analisi sono stati esclusi il fiume Tevere a sud e il fiume Fiora a nord in quanto, anche se

presentano una elevata portata liquida e solida, sono stati considerati elementi che non influenzano il regime sedimentario dei SIC (circa 60 km). Inoltre è stato dimostrato che il materiale fine del Tevere deposita nella parte a largo della zona di indagine (su fondali maggiori di 50 m) (Brondi et al., 2008), mentre il trasporto dei sedimenti del Fiora avviene principalmente verso nord, allontanandosi dall'area di studio (Noli et al., 1996).

Le misure in situ saranno svolte nel corso di una campagna di misura per analizzare:

- (a) sezione trasversale in diverse stazioni del tratto fluviale precedente allo sbocco in mare (2 km);
- (b) la velocità della corrente fluviale;
- (c) la granulometria e mineralogia del sedimento di fondo;
- (d) la concentrazione del materiale presente in sospensione.

In particolare per ogni corso d'acqua verranno effettuate 4 stazioni ad una distanza di 500 m in cui verrà misurata la profondità e la larghezza del perimetro bagnato. In due stazioni (prima e ultima) verranno svolte misure di corrente, prelievi sedimentologici e di acqua. Le stazioni saranno marcate con GPS per la restituzione cartografica. Gli altri dati fisiografici come pendenza, superficie del bacino idrografico e lunghezza dell'asta fluviale principale saranno ricavate cartograficamente mediante l'utilizzo dei dati DEM (Digital Elevation Model) dell'INGV e SINAnet dell'ISPRA.

I risultati delle misure effettuate nel corso di una campagna saranno utilizzati come dati di input delle equazioni empiriche (es. van Rijn) per la determinazione del trasporto solido di fondo e sospensione. Inoltre dai campioni di sedimento verrà prelevata un'aliquota per l'analisi mineralogica utile a discriminare la fonte dei sedimenti ritrovati a mare. Al fine di ottenere una stima statisticamente valida verranno considerati tutti i dati pluviometrici di tutte le stazioni idrografiche (Servizio Idrografico della Regione Lazio) presenti lungo i bacini analizzati per tutto l'arco temporale disponibile. Al fine di verificare la validità dei risultati ottenuti questi verranno confrontati con i risultati delle campagne pregresse presenti in bibliografia.

5.1.1.1. Stima della portata liquida e solida degli apporti fluviali

Come detto in precedenza la stima degli apporti liquidi e solidi è stata effettuata mediante un approccio indiretto utilizzando formule empiriche supportata dai dati acquisiti nelle campagne di misura.

Inizialmente è necessario stimare il tempo di corrivazione (T_c), definito come il tempo di deflusso

dell'evento meteorologico (hr), applicando la formulazione di Giandotti:

$$T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.51L}{0.8H^{0.5}} \quad (5.1)$$

dove: A = area del bacino idrografico (km)

L = lunghezza asta fluviale principale (km)

H = altezza media del bacino idrografico (m)

Successivamente sulla base dei dati pluviometrici registrati dalle centraline idrografiche, presenti nei bacini idrografici analizzati è stata stimata la portata massima attesa in moto permanente attraverso la formulazione di Turazza:

$$Q = \frac{mm AC}{T_c 3.6} \quad (5.2)$$

dove: Q = portata liquida (m³/s)

mm = mm di pioggia

C = coefficiente di afflusso

Il parametro C dipende dalla natura del territorio racchiuso nel bacino idrografico analizzato i cui valori sono presentati in tabella 5.1.

Copertura del suolo	C
Area completamente cementata	0.9 – 0.95
Area intensamente urbanizzata	0.7 – 0.8
Area urbana con poche zone verdi	0.6 – 0.7
Area urbana con ampie zone verdi	0.5 – 0.6
Aree coltivate	0.2 – 0.5
Pascoli	0.15 – 0.45
Parchi e boschi	0.05 – 0.4

Tab. 5.1.: Valori relativi al coefficiente C di natura del suolo

Prendendo in considerazione la morfologia delle sezioni misurate dell'alveo è stata stimata la

perdita di carico totale determinata dalla relazione:

$$J = \frac{Q^2}{C_z^2 \Omega^2 g R} \quad (5.3)$$

dove: C_z = Coefficiente di Chezy

Ω = area della sezione liquida (m^2)

g = gravità (m/s)

R = raggio idraulico (m), che si determina dal rapporto tra la sezione ed il perimetro bagnato

Il coefficiente di Chezy (C_z) è stimato attraverso la relazione:

$$C_z = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (5.4)$$

dove n è il coefficiente di Manning che rappresenta il coefficiente di scabrezza determinato dalla natura dell'alveo.

Al fine di stimare nel modo più corretto il valore di n si è fatto riferimento alla seguente relazione:

$$n = n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 * m_5 \quad (5.5)$$

in n_0 considera il materiale dell'alveo, n_1 la forma della sezione, n_2 grado di uniformità longitudinale, n_3 effetto delle ostruzioni, n_4 vegetazione, m_5 grado di sinuosità.

I valori applicabili sono riportati in tabella 5.2.

Caratteristiche del corso d'acqua		Coefficiente
Materiale alveo (n0)	sabbie e limi	0.02
	ghiaia e sabbie	0.024
	ciottoli e sabbie	0.028
	roccia	0.025
Forma della sezione Trasversale (n1)	regolare	0
	abbastanza regolare	0.005
	moderatamente regolare	0.01
	molto irregolare	0.02
Grado di uniformità Longitudinale (n2)	variazioni graduali	0
	saltuarie strettoie e varici	0.005
	frequenti cambi di sezione	0.01 – 0.015
Effetto delle ostruzioni (n3)	trascurabile	0.01 – 0.015
	poco importante	0.01 – 0.015
	apprezzabile	0.02 – 0.03
	forte	0.04 – 0.06
Vegetazione (n4)	scarsa	0.005 – 0.01
	media	0.01 – 0.025
	importante	0.025 – 0.05
	molto importante	0.05 – 0.1
Grado di sinuosità (m5)	scarso	1
	apprezzabile	1.15
	notevole	1.3

Tab.5.2.: Valori per la stima del coefficiente di Manning rispetto alle diverse caratteristiche del corso d'acqua

Mediante la relazione che lega la portata liquida e la velocità è stata determinata la velocità del flusso utile alla stima del trasporto solido in sospensione ottenuto applicando la formulazione di Van Rijn:

$$Q_s = 0.012 V h (V - V_{cr} / [(s - 1) g D_{50}]^{0.5})^{2.4} D_{50} / h D^{-0.6} \quad (5.6)$$

dove: Q_s = Trasporto solido in sospensione (m^3/s)

V = velocità della corrente (m/s)

V_{cr} = velocità critica (m/s)

s = rapporto tra la densità del materiale e densità dell'acqua

h = profondità del corso d'acqua

La velocità critica (V_{cr}) e D sono stimati attraverso le seguenti relazioni:

$$V_{cr} = 0.19 D50^{0.1} \log(4h/D90) \quad \text{se } 0.1\text{mm} < D50 < 0.5\text{mm} \quad (5.7)$$

$$V_{cr} = 8.5 D50^{0.6} \log(4h/D90) \quad \text{se } 0.5\text{mm} < D50 < 2\text{mm} \quad (5.8)$$

$$D = [g(s-1)/v^2]^{0.33} \cdot D50 \quad (5.9)$$

dove ν = coefficiente di viscosità cinematica.

Utilizzando la serie storica temporale delle piogge fornite dal Servizio Idrografico della Regione Lazio è stato possibile stimare il trasporto liquido e solido medio utilizzato come dato di input dei modelli numerici.

Il procedimento sopra esposto è stato applicato per i corsi d'acqua minori come il Fosso del Prete, Marangone, Castelsecco e Rio Fiume ($5 \text{ Km}^2 < \text{Area del bacino idrografico} < 43 \text{ Km}^2$) mentre per quanto riguarda i fiumi Mignone e Marta, che presentano bacini idrografici di maggiore estensione ($< 100 \text{ Km}^2$) il trasporto solido è stato stimato a partire dalla serie storica della portata liquida dal 2004 ad oggi resa disponibile dal Servizio Idrografico della Regione Lazio.

I dati ottenuti dalle formulazioni empiriche sono stati confrontati con i risultati ottenuti in studi pregressi.

5.1.1.2 Campionamento del sedimento dell'alveo fluviale

Al fine di discriminare in modo puntuale il contributo della natura dei sedimenti immessi a mare dai corsi d'acqua presenti nell'area oggetto di studio, sono stati prelevati, in prossimità dei 6 corsi d'acqua (Fig.5.1), campioni di sedimento superficiale relativi all'alveo fluviale in 3 punti (sponda dx, , centro, sponda sx) sia sulla prima (foce) che sull'ultima sezione (monte), per un totale di 6 campioni per ogni corso d'acqua. I diversi campioni relativi ad ogni fiume sono stati poi omogeneizzati tra loro al fine di ottenere un unico campione rappresentativo di ogni singolo corso d'acqua, su cui è stata eseguita sia l'analisi granulometrica che mineralogica.

5.1.2. Rilievo correntometrico

La caratterizzazione correntometrica della colonna d'acqua è stata effettuata attraverso 4 campagne di misura, 2 nell'area sud, in corrispondenza del SIC IT6000006 tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro e 2 nell'area nord, in corrispondenza del SIC IT6000005 tra Punta S. Agostino e la Mattonara. In ogni area sono state effettuate 10 stazioni di misura nei punti riportati nelle tabelle 5.3 e 5.4.

Stazione	Longitudine	Latitudine	Profondità stazione (m)
SM01	11.7948	42.0818	14.0
SM02	11.7988	42.0773	10.6
SM03	11.8034	42.0691	11.4
SM04	11.7991	42.0628	33.8
SM05	11.8104	42.0564	12.0
SM06	11.8147	42.0447	17.4
SM07	11.8194	42.0345	8.9
SM08	11.8169	42.0253	34.6
SM09	11.8319	42.0212	10.4
SM10	11.8499	42.0218	9.8

Tab.5.3 : Tabella di misura SIC IT6000006 (Fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro)

Stazione	Longitudine	Latitudine	Profondità stazione (m)
NM01	11.7240	42.1582	7.6
NM02	11.7163	42.1503	38.3
NM03	11.7280	42.1497	12.1
NM04	11.7342	42.1413	12.6
NM05	11.7317	42.1345	39.3
NM06	11.7408	42.1335	9.2
NM07	11.7467	42.1265	23.4
NM08	11.7442	42.1211	37.4
NM09	11.7538	42.1159	14
NM10	11.7597	42.1143	12.1

Tab.5.4 : Tabella di misura SIC IT6000005 (Fondali tra Punta S.Agostino e Mattonara)

In corrispondenza di ciascuna stazione sono state effettuate misure attraverso un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) triassiale, che permette di effettuare acquisizioni in continuo della velocità e dalla direzione della corrente lungo la colonna d'acqua. In ogni stazione sono stati effettuati rilievi della durata compresa tra 20 e 30 minuti. Lo strumento è stato installato su un supporto galleggiante autonomo, permettendone l'utilizzo su diverse tipologie di imbarcazione (Fig. 5.2) ed è stato configurato in funzione della batimetria di ciascuna stazione, al fine di descrivere dettagliatamente il regime correntometrico in colonna d'acqua.



Fig. 5.2: Sontek ADCP 500 kHz

5.1.3. Rilievo dei parametri fisici, chimici e biologici della colonna d'acqua

La caratterizzazione chimico-fisico-biologica della colonna d'acqua è stata effettuata attraverso 4 campagne di misura, 2 nell'area sud, in corrispondenza del SIC IT6000006 tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro e 2 nell'area nord, in corrispondenza del SIC IT6000005 tra Punta S. Agostino e la Mattonara. In ogni area sono state effettuate 10 stazioni di misura le cui coordinate sono riportate nelle tabelle 5.5 e 5.6.

Stazione	Longitudine	Latitudine	Profondità stazione (m)
NM01	11.7240	42.1582	7.6
NM02	11.7163	42.1503	38.3
NM03	11.7280	42.1497	12.1
NM04	11.7342	42.1413	12.6
NM05	11.7317	42.1345	39.3
NM06	11.7408	42.1335	9.2
NM07	11.7467	42.1265	23.4
NM08	11.7442	42.1211	37.4
NM09	11.7538	42.1159	14
NM10	11.7597	42.1143	12.1

Tab.5.5: Tabella di campionamento SIC IT6000005 (Fondali tra Punta S. Agostino e Mattonara)

Stazione	Longitudine	Latitudine	Profondità stazione (m)
SM01	11.7948	42.0818	14.0
SM02	11.7988	42.0773	10.6
SM03	11.8034	42.0691	11.4
SM04	11.7991	42.0628	33.8
SM05	11.8104	42.0564	12.0
SM06	11.8147	42.0447	17.4
SM07	11.8194	42.0345	8.9
SM08	11.8169	42.0253	34.6
SM09	11.8319	42.0212	10.4
SM10	11.8499	42.0218	9.8

Tab.5.6: Tabella di campionamento SIC IT6000006 (Fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro)

In corrispondenza di ciascuna stazione sono stati effettuati profili verticali con sonda multiparametrica (Fig. 5.3) per la misura in continuo lungo la colonna d'acqua di temperatura, conducibilità (salinità, densità) e fluorescenza della clorofilla *a*.



Fig. 5.3: Sonda multiparametrica utilizzata nel campionamento

Inoltre, sono stati effettuati campionamenti di acqua per l'analisi della concentrazione di solido sospeso, della clorofilla *a*, di azoto inorganico disciolto e di fosforo totale. I valori azoto inorganico disciolto e di fosforo totale, insieme alle misure di ossigeno disciolto e di clorofilla *a*, sono stati utilizzati per calcolare l'indice TRIX.

L'indice di stato trofico TRIX è individuato dal D.Lgs. 152/99 e s.m.i. per definire lo stato di qualità delle acque marino costiere. Il suo valore numerico è dato da una combinazione di quattro variabili (Ossigeno disciolto, Clorofilla *a*, Fosforo totale e Azoto inorganico disciolto), indicative delle principali componenti che caratterizzano la produzione primaria degli ecosistemi marini (nutrienti e biomassa fitoplanctonica), ed è stato messo a punto per esprimere le condizioni di trofia e del livello di produttività delle aree costiere. I valori di TRIX sono raggruppati in 4 fasce, alle quali corrispondono 4 diverse classi di qualità rispetto alle condizioni di trofia e, quindi, allo stato ambientale dell'ambiente marino costiero (Scala Trofica). In questo modo è possibile misurare i livelli trofici in termini rigorosamente quantitativi, nonché confrontare differenti sistemi costieri.

La formula matematica per calcolare l'indice trofico è la seguente:

$$TRIX = [\log_{10}(chla \cdot DO\% \cdot N \cdot P) - (1.5)] / 1.2 \quad (5.10)$$

dove $Chl a$ è il valore di Clorofilla a in mg/m^3 , $DO\%$ è la percentuale di ossigeno disciolto espresso come variazione in valore assoluto dalla saturazione, N è l'azoto solubile ($N-NO_3$, $N-NO_2$, $N-NH_3$) in $\mu g/l$ e P è il fosforo totale.

Numericamente il valore dell'indice TRIX può variare da 0 a 10, andando dalla oligotrofia (0; acque scarsamente produttive tipiche del mare aperto) alla ipereutrofia (10; acque fortemente produttive tipiche di aree costiere eutrofizzate).

TRIX	Stato ambientale	Condizioni
2 – 4	ELEVATO	Buona trasparenza delle acque Assenza di anomale colorazioni delle acque Assenza di sottosaturazione di ossigeno disciolto nelle acque bentiche
4 – 5	BUONO	Occasionali intorbidimenti delle acque Occasionali anomale colorazioni delle acque Occasionali ipossie nelle acque bentiche
5 – 6	MEDIOCRE	Scarsa la trasparenza delle acque Anomale colorazioni delle acque Ipossie ed occasionali anossie delle acque bentiche Stati di sofferenza a livello di ecosistema bentonico
6 – 8	SCADENTE	Elevata torbidità delle acque Diffuse e persistenti anomalie nella colorazione delle acque Diffuse e persistenti ipossie/anossie nelle acque bentiche Morte di organismi bentonici; alterazione/semplificazione delle comunità bentoniche Danni economici nei settori del turismo, pesca ed acquacoltura

Fig. 5.4.: Classificazione dello stato ambientale secondo l'indice TRIX



Fig. 5.5: Prelievo campioni superficiali



Fig. 5.6: Prelievo campioni profondi con bottiglia Niskin

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

analisi (Lorenzen 1967, IRSA CNR).

Sono state inoltre utilizzati dati satellitari (MODIS Aqua) dell'area di studio (quando disponibili, a causa della copertura nuvolosa), per analizzare la clorofilla *a* e il solido sospeso, nel periodo compreso tra il 15.02.2015 ed il 15.04.2015. I dati processati sono stati rappresentati mediante software Ocean Data View come isosuperfici della distribuzione delle due variabili in oggetto. Sono stati quindi selezionati tre punti all'interno di ciascuna area, 3 punti nell'area Nord (NM02, NM05, NM08), e 3 punti nell'area Sud (SM01, SM08, SM10), ed è stato rappresentato l'andamento temporale nelle concentrazioni di clorofilla *a* e solido sospeso ottenute dalle immagini satellitari.

5.1.4. Stima del rateo di sedimentazione nei SIC

Al fine di stimare il rateo di deposizione dei sedimenti all'interno dei SIC d'interesse, sono state realizzate 18 trappole per sedimento, successivamente installate in 6 stazioni fisse (3 in ogni SIC).

Per ogni stazione di campionamento sono state utilizzate tre trappole di sedimento ubicate al margine esterno, al centro e al margine interno (A,B,C) delle praterie di *Posidonia oceanica* (Tab.5.7)

	Stazione	x	y
Prateria Nord	Pos 04 A	725389	4669662
	Pos 04 B		
	Pos 04 C		
	Pos 21 A	727128	4667398
	Pos 21 B		
	Pos 21 C		
Pos 05 A	726485	4668356	
Prateria Sud	Pos 12 A	735369	4656671
	Pos 12 B		
	Pos 9 A	733528	4657917
	Pos 9 B		
	Pos 7 A	731956	4661293
	Pos 7 B		
Pos 7 C			

Tab.5.7 : Coordinate delle stazioni di campionamento.

Per la realizzazione delle trappole sono stati scelti dei cilindri in plexiglass con rapporto d'aspetto pari a 6.3 (54 mm di diametro) seguendo le raccomandazioni di Hardgrave and Burns (1979) e Blomquist and Hakanson (1981). Le trappole sono state posizionate all'interno dei rispettivi SIC mediante l'utilizzo di aste in ferro di lunghezza complessiva di 1.3 m, appositamente collocate sul

substrato da sommozzatori qualificati. Una volta posizionate le aste, ciascuna trappola per sedimento è stata ancorata ad esse ad una distanza massima di 40 cm dal fondo.

Inoltre, ogni trappola per sedimento è stata dotata di un piccolo galleggiante, collegato all'asta di supporto mediante una scotta (1 m di lunghezza), al fine di facilitare l'identificazione delle singole installazioni da parte degli operatori subacquei nel momento del recupero.

Le trappole di sedimento sono state installate il 19 Febbraio 2015 (SIC Sud) e il 26 Febbraio 2015 (SIC Nord). Il recupero è stato effettuato dopo 40 giorni per le stazioni relative al SIC meridionale e dopo 46 giorni per il SIC settentrionale. Va sottolineato che non sono state recuperate le trappole POS05B e POS05C per l'area settentrionale e le trappole POS12C, POS9C per l'area meridionale (Fig. 5.7).

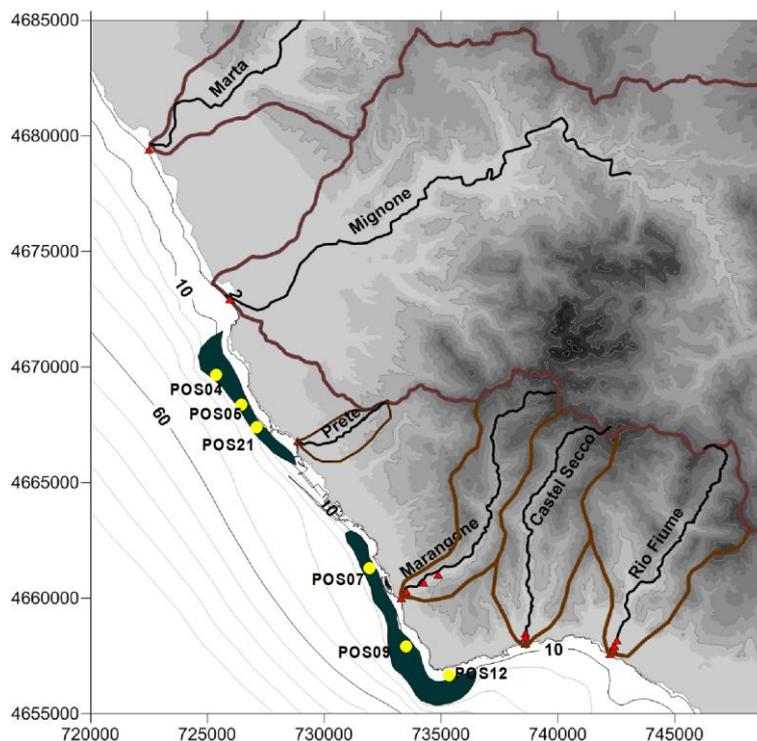


Fig.5.7: Ubicazione delle stazioni di campionamento all'interno delle due praterie di *P. oceanica* considerate

Al momento del recupero, le singole trappole per sedimento sono state sigillate utilizzando tappi ermetici in polietilene, rimosse dal substrato, riportate in superficie e trasportate in laboratorio.

Una volta in laboratorio, il contenuto di ogni singolo cilindro è stato analizzato seguendo un procedimento simile a quello descritto da Gacia et al. (1999).

Il metodo analitico prevede che il contenuto di ogni cilindro venga filtrato mediante l'utilizzo di filtri 25 mm GF/F al fine della stima del peso secco dopo aver asciugato i filtri in stufa a 60°C per 24h. Nel presente studio, a causa del cospicuo contenuto di ogni cilindro, il procedimento di filtrazione è stato sostituito con la diretta stima del peso secco del campione di sedimento a seguito di asciugatura diretta in stufa.

Il peso secco relativo al contenuto di ogni trappola del sedimento è stato quindi utilizzato per ricavare il valore di rateo deposizionale di sedimento nell'area, espresso in g/m²/d.

Il calcolo della massa per unità di superficie è stato eseguito utilizzando la seguente equazione:

$$R_d = (M \times K) / t \quad (5.11)$$

Dove R_d è il rateo sedimentario giornaliero [g/m²/d], M è il peso secco del sedimento prelevato dalla trappola, K è il rapporto tra 1 e la superficie di apertura della trappola e t è il tempo di campionamento espresso in giorni. La stima del rateo annuale pelitico è stata effettuata moltiplicando il relativo valore per 365.

In corrispondenza di ogni stazione in cui sono state disposte le trappole sedimentologiche (Fig.5.7) per la stima del rateo deposizionale è stato prelevato un campione superficiale di sedimento. Una volta prelevato ogni campione è stato analizzato secondo la procedura descritta nel paragrafo 5.15.

5.1.4.1. Stima della densità e biomassa fogliare delle praterie di *Posidonia oceanica*

In concomitanza delle operazioni di installazione delle trappole per sedimento, in ogni stazione è stata effettuata la conta dei fasci fogliari al fine della stima della densità fogliare delle praterie di *Posidonia oceanica*. Inoltre, è stato effettuato il campionamento di alcuni fasci fogliari sui quali sono state effettuate analisi fenologiche al fine di indagare i principali descrittori della pianta e la biomassa fogliare prodotta dalle praterie che si trovano nei due SIC.

Per la misura della densità assoluta dei fasci fogliari (per m²), utile per la caratterizzazione spaziale della prateria, vengono effettuate 3 conte *in situ* all'interno di un quadrato 40x40 cm.

Per l'analisi dei parametri funzionali della pianta, sono state eseguite le analisi fenologiche su 2 campioni per ciascuna delle 6 stazioni fisse di monitoraggio. Seguendo la classificazione proposta

da Giraud (1977) per *Posidonia oceanica* e applicata anche alle altre fanerogame del Mediterraneo, si riconoscono 3 ranghi fogliari:

- foglie giovanili di lunghezza inferiore a 5 cm, senza base;
- foglie intermedie di lunghezza superiore a 5 cm, senza base;
- foglie adulte di lunghezza superiore a 5 cm, con base;

La struttura dei fasci è caratterizzata dalla disposizione distica e alterna delle foglie, con quelle più giovani al centro e quelle più vecchie all'esterno. Il punto in cui termina la base e inizia il lembo, prende il nome di ligula.

Dalle analisi fenologiche sono stati ricavati i seguenti parametri: numero medio di foglie per fascio fogliare, numero medio di foglie per rango fogliare, lunghezza e larghezza media per ciascun rango fogliare, LAI (leaf area index), coefficiente *a* (percentuale apici erosi per fascio fogliare) e lunghezza relativa della base e del lembo fogliare delle foglie adulte.

Per il calcolo della biomassa fogliare, i comparti fogliari dei singoli campioni sono stati avvolti in carta stagnola ed asciugati in stufa a 60°C per 72 h; successivamente i campioni asciutti sono stati pesati; le misure di biomassa si esprimono come peso secco in grammi.

5.1.5. Analisi sedimentologiche e mineralogiche

Lo strato superficiale di ogni campione di sedimento è stato omogeneizzato e riposto in contenitori di polietilene. Una volta trasportati in laboratorio, ciascun campione è stato vagliato ad umido in due frazioni granulometriche, utilizzando un setaccio da 63 μm . Le due frazioni granulometriche, dopo la disgregazione, sono state sottoposte a ripetuti lavaggi con acqua distillata. Successivamente, il campione è stato quindi asciugato in stufa a 40°C per 48 h. La frazione sabbiosa, compresa tra 2000 μm e 63 μm , è stata vagliata mediante setacciatura meccanica utilizzando setacci della serie ASTM con intervalli di 1 ϕ ($\Phi = -\log_2$ della larghezza della maglia espressa in mm). Il sedimento trattenuto in ogni setaccio è stato successivamente pesato ed è stato calcolato il peso dell'intera frazione granulometrica. Infine, è stata determinata la percentuale delle tre principali frazioni granulometriche: ghiaia (> 2 mm), sabbia e frazione fine (< 63 μm).

Al fine di discriminare in modo puntuale il contributo sedimentario dei fiumi e torrenti presenti nell'area oggetto di studio, è stata eseguita l'analisi mineralogico-petrografica su campioni di sedimento prelevati nell'area antistante le foci.

Le analisi mineralogiche-petrografiche sono state eseguite mediante osservazione di sezione sottile, in conformità con la normativa UNI EN 12407:2007.

Per la preparazione delle sezioni sottili il sedimento viene trattato con balsamo del Canada per ottenere un blocco unico e solido. Il campione viene poi tagliato con una taglierina a lama diamantata e levigato con una lappatrice lubrificata con acqua e carborundum di silicio fino a raggiungere uno spessore di circa 0,03 mm. La sezione ha una misura di circa 45x30 mm.

Il campione ottenuto viene successivamente essiccato e scaldato per poi essere incollato sugli appositi vetrini e ricoperto da un vetrino di protezione.

I campioni vengono infine controllati al microscopio ottico per verificarne lo spessore e la planarità. Le sezioni sottili vengono successivamente esaminate mediante osservazione al microscopio a luce polarizzata.

Quando si analizza una sezione sottile ponendola tra due filtri polarizzanti, opportunamente orientati, è possibile riconoscere i minerali presenti in base alle loro proprietà ottiche. Questo tipo di analisi consente la determinazione qualitativa dei minerali presenti nel singolo campione.

5.2. Modelli matematici

In questo studio l'analisi della dispersione del materiale in sospensione nella colonna d'acqua e del tasso di deposizione vengono stimati attraverso il DELFT3D. Il DELFT3D è un sistema di modelli ampiamente utilizzato per simulare il trasporto di particelle conservative (sedimento, talee di piante marine, etc) e non conservative (fitoplancton, batteri patogeni, etc.). E' costituito dal modulo DELFT3D-FLOW (Lesser et al., 2004) che riproduce il campo idrodinamico indotto dal vento, dal modello di moto ondoso SWAN (Booij et al., 1999) che simula la propagazione dell'onda verso costa e dal modulo DELFT3D-WAQ (Van Gils et al., 1993; Los et al., 2004) che descrive i processi associati a diverse tipologie di sostanze nell'ambiente marino. Attraverso l'interazione tra i tre moduli viene calcolata la dispersione del sedimento nell'area studio che è condizionata dalle correnti marine e del moto ondoso, nonché dai processi di sedimentazione e risospensione legati alla tipologia del materiale.

5.2.1. Modello idrodinamico DELFT3D-FLOW

Il modello idrodinamico che verrà utilizzato per effettuare le simulazioni delle correnti marine è il DELFT3D-FLOW che risolve le equazioni shallow water nelle tre direzioni. Il sistema di equazioni comprendono le equazioni orizzontali del moto, l'equazione di continuità, quella del trasporto e l'equazione di chiusura della turbolenza. L'equazione della quantità di moto nella direzione z è ridotta all'equazione idrostatica in quanto l'accelerazione verticale è assunta essere troppo piccola paragonata all'accelerazione di gravità. Questo consente al modello DELFT3D di predire il flusso in diverse aree come in domini dove è valida la condizione shallow water, zone costiere, estuari, lagune, fiumi e laghi. Nel modello vengono utilizzate per il piano orizzontale coordinate cartesiane o coordinate geografiche, mentre nel piano verticale il sistema σ il quale si basa su un numero costante di piani verticali (Fig. 5.8).

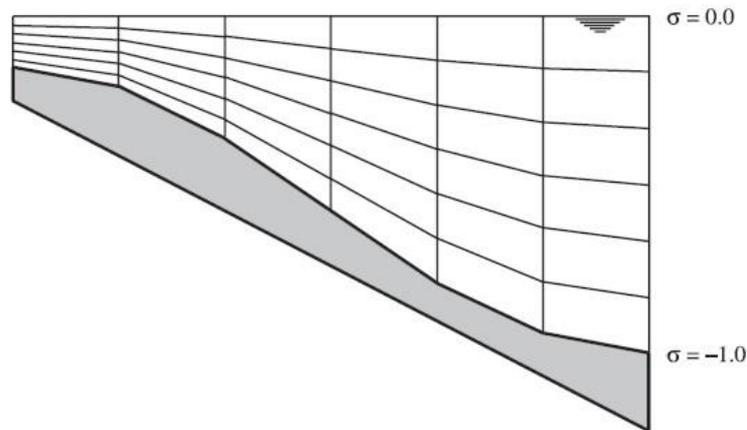


Fig. 5.8 : Un esempio di griglia verticale consistente di sei strati σ di uguale spessore.

Per semplicità le equazioni del modello verranno scritte in coordinate cartesiane.

L'equazione idrostatica

Considerando l'approssimazione shallow water, l'equazione della quantità di moto verticale si riduce all'equazione idrostatica. L'accelerazione verticale, quindi, dovuta all'effetto di galleggiamento non viene presa in considerazione. L'espressione risultante sarà:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g h \quad (5.12)$$

Le equazioni della quantità di moto orizzontali

Le equazioni della quantità di moto orizzontale sono:



$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho \nu \nabla^2 u + \rho \tau_x \quad (5.13)$$



$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho \nu \nabla^2 v + \rho \tau_y \quad (5.14)$$

nelle quali i termini di pressione orizzontale, P_x e P_y , sono date dall'approssimazione di Boussinesq:



$$-\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (5.15)$$



$$-\frac{\partial p}{\partial y} = -\rho g \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (5.16)$$

Gli stress di Reynolds orizzontali, F_x e F_y , sono determinati usando il concetto di eddy viscosity (Rodi, 1993). Per simulazioni a grande scala, quando lo shear stress lungo il boundary chiuso può essere trascurabile, F_x e F_y si riducono a:

$$F_x = \rho \nu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad F_y = \rho \nu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (5.17)$$

nei quali i gradienti sono presi lungo i piani σ . Nelle equazioni della quantità di moto M e M rappresentano il contributo dovuto delle sorgenti o pozzi.

L'equazione di continuità

L'equazione di continuità è data da:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = S \quad (5.18)$$

nella quale S rappresenta il contributo per unità di area dovuto alla scarica o al prelievo di acqua, evaporazione e precipitazione.

L'equazione del trasporto

L'equazione di avvezione-diffusione si scrive:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u} \phi) = \nabla \cdot (\mathbf{K} \nabla \phi) + S \quad (5.19)$$

nella quale S rappresenta sorgente e pozzo per unità di area.

Per risolvere queste equazioni bisogna trovare un'espressione per i termini di viscosità orizzontale (ν_H e ν_V) e di diffusività (D_H e D_V). Nel modello DELFT3D-FLOW, la viscosità e la diffusività orizzontale possono essere scomposti in tre parti:

1. viscosità molecolare
2. “turbolenza 3D”
3. “turbolenza 2D”

La viscosità di un fluido è un valore costante, dell'ordine di 10^{-6} . In una simulazione 3D, la “turbolenza 3D” è computata attraverso il modello di chiusura della turbolenza. La “turbolenza 2D” è una misura del mescolamento orizzontale che non è risolta dall'avvezione su una griglia di calcolo orizzontale. I valori di tale parametro possono essere specificati come una costante, fatti variare nello spazio o calcolati utilizzando un modello di simulazione degli eddy orizzontali che prende il

nome di HLES.

Modelli di chiusura turbolenta

I modelli di chiusura turbolenta sono implementati nel DELFT3D-FLOW e sono basati sul concetto di “eddy viscosity”. Gli “eddy viscosity” nei modelli hanno la seguente forma:

$$\nu_t = c'_\mu L \sqrt{k} \quad (5.20)$$

in cui c'_μ è una costante determinata per mezzo della calibrazione, L è la lunghezza del mescolamento e k è l'energia cinetica turbolenta. Principalmente, vengono utilizzati due modelli: il primo usa formule analitiche per determinare i parametri k e L e quindi gli eddy viscosity verticali, il secondo k e il termine di dissipazione ϵ sono calcolati attraverso gli shear stress al fondo, in superficie e all'interno del flusso.

5.2.2. Modello di moto ondoso SWAN

Gli effetti dell'onda possono essere inclusi nel modello idrodinamico DELFT3D-FLOW facendo girare separatamente il modulo DELFT3D-WAVE che simula la propagazione del moto ondoso verso costa. Le variabili calcolate dal modello DELFT3D-WAVE come l'altezza d'onda, il picco di periodo nello spettro, la direzione dell'onda, il flusso di massa, ecc. vengono letti dal modello DELFT3D-FLOW che calcola le velocità delle correnti nelle tre direzioni prodotte dal moto ondoso. Le simulazioni sulla propagazione delle onde possono essere performati utilizzando modelli di seconda generazione come HISWA (Holthuijsen et al., 1989) o modelli di terza generazione come SWAN (Holthuijsen et al., 1993). Un pratico vantaggio del modello SWAN è quello di poter girare sulla stessa griglia curvilinea usata per il modello idrodinamico.

Nelle situazioni in cui il livello dell'acqua, la batimetria o il campo di velocità cambiano significativamente durante la simulazione del modello DELFT3D-FLOW, sarebbe opportuno richiamare più volte il modello DELFT3D-WAVE. Il campo d'onda computato può quindi essere aggiornato tenendo conto del cambiamento di profondità e delle velocità della corrente. Questo tipo

di funzione è resa possibile grazie al processo di “steering” che richiama in maniera alternata il modello idrodinamico e quello di moto ondoso.

Nella zona costiera, l'azione dell'onda può influenzare la morfologia per diverse ragioni come:

(1) l'azione dell'onda dovuta al fenomeno di breaking (attraverso i gradienti di radiation stress) è modellata come uno shear stress sulla superficie del mare. Il gradiente di radiation stress è modellato usando l'espressione semplificata di Dingemans et al. (1987), dove il contributo legato all'energia dell'onda viene trascurato. La sua espressione è data da:

$$\vec{M} = \frac{D}{\omega} \vec{k} \quad (5.21)$$

In cui \vec{M} è la forzante dovuta ai gradienti di radiation stress (N/m^2), D è la dissipazione dovuta al frangimento dell'onda (W/m^2), ω è la velocità angolare (rad/s) e \vec{k} è il numero d'onda (rad/m).

- (2) L'effetto dello shear stress al fondo è preso in considerazione dalla parametrizzazione di Soulsby et al. (1993).
- (3) Il flusso di massa indotto dall'onda è incluso ed è corretto per gli spostamenti di Stokes non uniformi verticalmente.
- (4) La produzione di turbolenza addizionale dovuta alla dissipazione dell'onda al fondo e al frangimento è incluso come termine nel modello di chiusura turbolenta.
- (5) La corrente indotta dall'onda vicino al fondo è modellata come uno shear stress addizionale agente attraverso lo spessore dello strato del boundary layer al fondo.

I processi (3), (4) e (5) sono stati inclusi di recente nel DELFT3D-FLOW e sono fondamentali se l'effetto delle onde sul flusso viene correttamente rappresentato nelle simulazioni 3D. Tali fenomeni risultano importanti anche nei modelli di trasporto in prossimità della costa.

5.2.3. Modello di dispersione del materiale in sospensione DELFT3D-WAQ

DELFT3D-WAQ è un modello di trasporto euleriano che risolve l'equazione di avvezione-diffusione- reazione sulla stessa griglia di calcolo utilizzata per il DELFT3D-FLOW. E' in grado di simulare un'ampia varietà di processi fisici, chimici e biologici come:

- ♣ sedimentazione e risospensione;
- ♣ ri-areazione dell'ossigeno;

- ✦ crescita e mortalità delle alghe;
- ✦ mineralizzazione della sostanza organica;
- ✦ (de)nitrificazione;
- ✦ assorbimento dei metalli pesanti;
- ✦ volatilizzazione dei micro-inquinanti organici;
- ✦ sedimentazione e risospensione di sostanze conservative e non-conservative.

In questo studio vengono simulati i processi di sedimentazione e risospensione del sedimento apportato dai fiumi o prodotto dalle attività di dragaggio.

Nel seguente schema vengono riportati i parametri e le variabili che devono essere definite nel modello per stimare i suddetti processi.

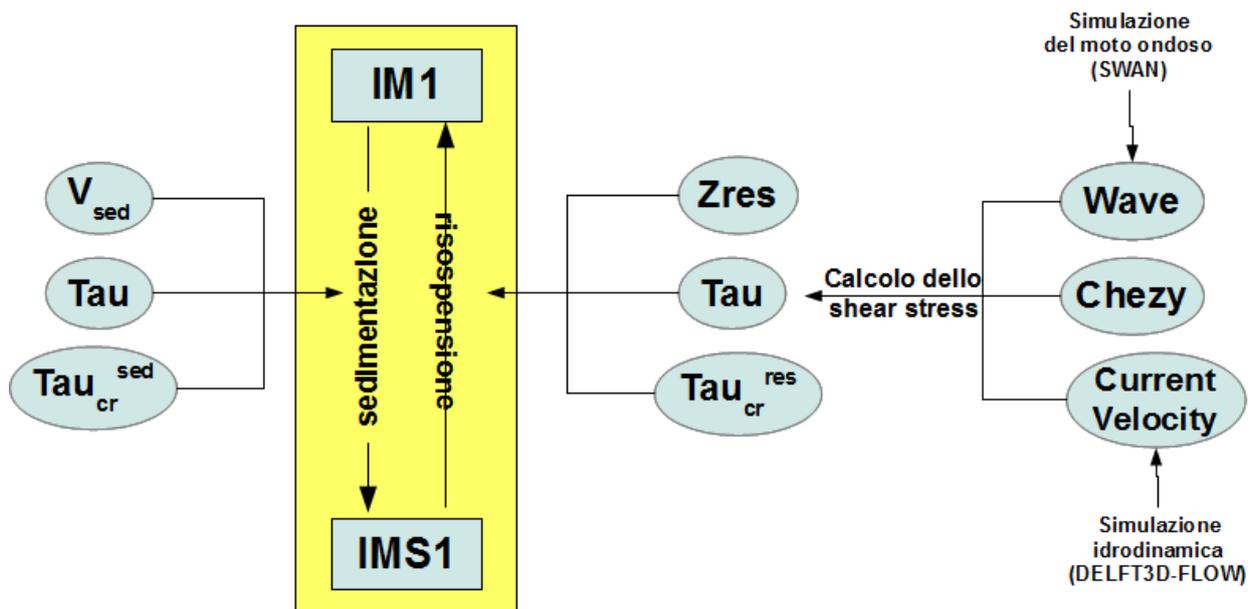


Fig.5.9 : schema che identifica le variabili e i parametri di input del modello DELFT3D-WAQ per riprodurre i processi di sedimentazione e risospensione (zona gialla) del sedimento.

La concentrazione del sedimento sospeso nella colonna d'acqua (IM1) decresce quando avviene la sedimentazione, mentre al contrario aumenta quanto il materiale che si trova sul fondo (IMS1) subisce il processo di erosione, alternativamente chiamata risospensione. Il valore delle variabili IM1 e IMS1 è determinato dalle formulazioni di Partheniadas (1962) e Krone (1962) che si basano sul bilancio di massa.

La sedimentazione di IM1 dipende dallo shear stress ambientale (τ) e dallo shear stress critico

per la sedimentazione (τ_{cr}^{sed}). Se τ risulta minore di τ_{cr}^{sed} si verifica il processo di sedimentazione:

$$Sedflux = P_{sed} \cdot V_{sed} \cdot (IM1) \quad (5.22)$$

$$P_{sed} = \max\left(0, 1 - \frac{\tau}{\tau_{cr}^{sed}}\right) \quad (5.23)$$

dove $Sedflux$ è il flusso di sedimento ($g/(d \cdot m^2)$), P_{sed} è la probabilità di sedimentazione, V_{sed} è la velocità di sedimentazione (m/d), $IM1$ è la concentrazione della materia inorganica (g/m^3), τ è lo shear stress ambientale (N/m^2) e τ_{cr}^{sed} è lo shear stress critico per la sedimentazione (N/m^2).

La risospensione dipende invece dallo shear stress ambientale e dal valore del critical shear stress per la risospensione (τ_{cr}^{res}). Solo quando τ è maggiore di τ_{cr}^{res} si verifica il processo di risospensione:

$$Risflux = P_{res} \cdot Z_{res} \quad (5.24)$$

$$P_{res} = \max\left(0, \frac{\tau}{\tau_{cr}^{res}} - 1\right) \quad (5.25)$$

dove $Risflux$ è il flusso di risospensione ($g/(m^2 \cdot d)$), P_{res} è la probabilità di risospensione, Z_{res} è il tasso di risospensione di ordine 0 ($g/(m^2 \cdot d)$) e τ_{cr}^{res} è lo shear stress critico per la risospensione (N/m^2).

Lo shear stress ambientale τ rappresenta la forza che agisce sul sedimento attraverso l'azione della corrente e del moto ondoso.

$$\tau = \tau_{veloc} + \tau_{waves} \quad (5.26)$$

$$\tau_{veloc} = f(Vel, Chezy) \quad (5.27)$$

$$\tau_{waves} = f(W, Depth, Fetch) \quad (5.28)$$

dove $\text{Tau}_{\text{veloc}}$ indica lo shear stress esercitato dalle correnti marine (N/m^2), $\text{Tau}_{\text{waves}}$ è lo shear stress esercitato dalle onde (N/m^2), Vel è la velocità del campo idrodinamico (m/s) calcolato con il modello DELFT3D-FLOW, Chezy è il coefficiente di Chezy ($\text{m}^{0.5}/\text{s}$), W è la velocità del vento (m/s), Depth è la profondità (m) e Fetch rappresenta il tratto di mare su cui il vento spira con velocità e direzione costante (m). W , Depth e Fetch sono alcune delle condizioni di input del modello SWAN che calcola la propagazione del moto ondoso verso costa.

Il modello DELT3D-WAQ può anche calcolare la profondità di Secchi attraverso:

$$\text{Secchidepth} = \frac{PA}{\text{Ext}_{\text{VI}}} \quad (5.29)$$

$$\text{Ext}_{\text{VI}} = \text{Ext}_{\text{VI}}^{\text{Back}} + \text{Ext}_{\text{VI}}^{\text{IM1}} \cdot (\text{IM1}) \quad (5.30)$$

dove Secchidepth è la profondità di Secchi (m), PA è la costante di Poole-Atkins (Poole and Atkins, 1929), Ext_{VI} è l'estinzione totale del luce visibile (m^{-1}), $\text{Ext}_{\text{VI}}^{\text{Back}}$ rappresenta l'estinzione di background della luce visibile (m^{-1}) e $\text{Ext}_{\text{VI}}^{\text{IM1}}$ è l'estinzione specifica VI di IM1 (m^{-1}).

5.2.4. Set-up delle simulazioni

Per analizzare gli effetti delle nuove opere previste dal PRP del 2004 sul campo idrodinamico e sulla propagazione del moto ondoso verso costa sono stati proposti quattro diversi scenari di simulazione che riproducono le condizioni meteomarine riportate in tabella.

Scenario	Hs (m)	Tp (s)	Dir_wave (°N)	Vel (m/s)	Dir_wind (°N)	Prob. (%)
Libeccio	2	7.69	236	10	190	71
Mezzogiorno	2	6.78	170	13	126	15
Lib/Mezz	2	6.89	200	13	207	11
Ponente	2	7.66	281	11	327	2

Tab 5.8 : Scenari simulati

Tali condizioni sono state scelte analizzando i dati acquisiti da diversi ondometri e centraline meteo presenti nell'area di studio in modo da ricoprire una serie temporale di circa 10 anni. La scelta degli scenari da simulare è basata sugli studi relativi alle condizioni d'onda che determinano il maggior cambiamento morfologico della zona costiera (Gervais et al., 2012; Mendoza & Jimenez, 2006), i quali tengono conto solo degli eventi meteomarinari che presentano un'altezza d'onda uguale o superiore a 2 m per un periodo minimo di 6 ore. La distribuzione della direzione del moto ondoso del dataset rimanente è stata scomposta attraverso il Gaussian Mixture Model che definisce le classi principali e la loro relativa frequenza. Ad ogni classe di direzione è stata assegnata un'altezza d'onda significativa ed un periodo di picco corrispondente agli intervalli più frequenti (moda). Per ogni classe di direzione, di altezza d'onda e di periodo sono stati scelte la direzione e l'intensità del vento utilizzando lo stesso descrittore statistico.

Le condizioni meteomarine relative ad ognuno dei quattro scenari proposti sono state riprodotte sia in assenza che in presenza delle opere previste dal PRP2004. Dai dati riportati in tabella 5.8 emerge che, per eventi con altezza d'onda maggiore di 2 m, il Libeccio rappresenta la condizione che si verifica con la frequenza più elevata (71 %) mentre il Ponente risulta lo scenario che ha la frequenza più bassa (2 %).

La velocità e la direzione del vento vengono inserite in input nel modello DELFT3D-FLOW mentre i parametri d'onda vengono utilizzati nel modello SWAN per riprodurre la propagazione dell'onda verso costa. Entrambi i modelli utilizzano una griglia curvilinea alle differenze finite con una maggiore risoluzione spaziale nella zona del porto di Civitavecchia e nelle aree costiere occupate dai SIC. Il dominio di calcolo si estende lungo il tratto di costa compreso tra Montalto di Castro, a nord, e Torre Flavia, a sud, e nella zona a largo fino alla batimetrica dei - 400 m circa. La griglia del modello DELFT3D-FLOW è costituita da 10 strati verticali di spessore costante. Ogni scenario proposto ha una durata complessiva di 3 giorni in cui la velocità e la direzione del vento vengono mantenute costanti. Il modello SWAN riproduce in modo stazionario la propagazione del moto ondoso partendo da parametri, quali l'altezza d'onda significativa, il periodo di picco e la direzione media, che vengono assegnati nel boundary di largo. Il campo idrodinamico indotto da vento e moto ondoso è ottenuto attraverso un processo di steering tra il modello DELFT3D-FLOW e il modello SWAN.

Le correnti marine ottenute dall'interazione tra i due modelli vengono fornite in input al modello di dispersione DELFT3D-WAQ che simula la dispersione, e i processi di sedimentazione e

risospensione del sedimento proveniente dai corsi d'acqua presenti nella zona di studio (par. 5.1.1) e prodotto dalle attività di dragaggio nel porto di Civitavecchia. Per ogni scenario meteomarinario definito in tabella xx sono state effettuate 4 simulazioni che riproducono il rilascio di materiale da:

- ♣ i sei corsi d'acqua presenti nella zona di studio (Marta, Mignone, Fosso del Prete, Marangone, Castelsecco e Rio Fiume);
- ♣ le operazioni di dragaggio per la costruzione del 1 Lotto Funzionale (1LF);
- ♣ le operazioni di dragaggio per la costruzione della Darsena Energetica Grandi Masse (DEGM);
- ♣ le operazioni di dragaggio per la costruzione del 2 Lotto Funzionale (2LF - Apertura a Sud);

La classe granulometrica del sedimento scelto nelle simulazioni è quella siltosa in quanto costituisce la frazione predominante che viene persa durante il dragaggio. La quantità media di sedimento che fuoriesce dai fiumi è stata stimata nel paragrafo 6.1.4 dove viene riportato che la media di giorni in un anno in cui si verifica “trasporto attivo” è di circa 60. E' stato ipotizzato che il periodo di tempo in cui i corsi d'acqua apportano una quantità significativa di materiale in mare è paragonabile a quello di durata delle operazioni di dragaggio. Per tale motivo in tutte le simulazioni effettuate, le fonti di emissione di sedimento (fiumi, dragaggio 1LF, DEGM e 2LF) hanno la stessa durata di rilascio (2 giorni).

La quantità di materiale rilasciata durante le attività di dragaggio è stata calcolata attraverso la formula di Hayes e Wu (2001):

$$W = R \times f \times Q \times C \quad (5.31)$$

dove W è la portata massica di sedimenti risospesi [kg/s], R è il fattore di risospensione [%], f è la frazione delle particelle <0.074mm, Q è la portata in secco della draga [m³/s], e C è la densità in secco dei sedimenti [kg/m³]. Visto che la draga che viene utilizzata principalmente durante le operazioni di rimozione del sedimento è quella idraulica, il valore del tasso di risospensione (R) è stato posto pari a 0.77 % in accordo con quanto stabilito in Anchor Environmental (2003). La frazione di materiale <0.074mm è di circa 8.87% ed è stata stimata a partire dai dati sedimentologici relativi alla caratterizzazione dei fondali marini antistanti l'imboccatura del porto di Civitavecchia. E' stata inoltre ipotizzata che la densità del sedimento presente nelle aree soggette

alle attività di dragaggio è di 2650 kg/m^3 . Dall'analisi dei volumi totali dei materiali dragati per la costruzione delle due opere è stato ipotizzato un rilascio di 0.314 kg/s per riprodurre le attività di dragaggio relative al 1 Lotto Funzionale, di 1.492 kg/s per riprodurre quelle relative alla Darsena Energetica Grandi Masse e di 0.174 kg/s per riprodurre quelle relative al 2 Lotto Funzionale.

5.3. Indice sintetico per la stima degli impatti

Gli impatti potenziali prodotti dalla sedimentazione e dalla concentrazione di materiale solido in sospensione (SPM, suspended solid matter) sulle specie e habitat presenti nei SIC analizzati, sono stati valutati attraverso la messa a punto di un nuovo indice sintetico, denominato D3I (Dredging Indirect Impacts Index).

Tale indice si basa sui risultati del modello DELFT3D-WAQ che simula la dispersione, la sedimentazione e la risospensione del sedimento proveniente da fonti naturali (corsi d'acqua presenti nella zona di studio) ed antropiche (attività di dragaggio per la costruzione delle nuove opere previste dal PRP del 2004). Sulla base della tipologia di sorgente di immissione sono stati analizzati quattro diversi scenari:

- ♣ Scenario 1 : impatto del sedimento proveniente dai principali corsi d'acqua presenti nel tratto di costa oggetto di studio;
- ♣ Scenario 2 : impatto del sedimento proveniente dalle operazioni di dragaggio per la costruzione delle opere del 1 Lotto Funzionale;
- ♣ Scenario 3 : impatto del sedimento proveniente dalle operazioni di dragaggio per la costruzione della Darsena Energetica Grandi Masse;
- ♣ Scenario 4 : impatto del sedimento proveniente dalle operazioni di dragaggio per la costruzione delle opere del 2 Lotto Funzionale (Apertura a sud).

Per ognuno degli scenari proposti sono state effettuate 14 simulazioni che sono rappresentative delle condizioni meteomarine presenti nell'area oggetto di studio. Gli input delle simulazioni (direzione e velocità del vento, altezza, periodo e direzione dell'onda) sono stati selezionati a partire dai dati di vento e moto ondoso raccolti nell'area di studio negli ultimi 10 anni. La scelta delle simulazioni ha riguardato due fasi distinte:

- ♣ nella prima fase il dataset delle condizioni meteomarine è stato ridotto scegliendo quegli intervalli di tempo in cui i fiumi apportano una quantità significativa di sedimento a mare;

- ▲ nella seconda fase sono stati selezionati gli input delle simulazioni applicando sui dati rimanenti una distribuzione di probabilità condizionata attraverso la quale sono stati selezionati nell'ordine: direzione del vento, direzione del moto ondoso, altezza d'onda e velocità del vento (Il periodo dell'onda è stato calcolato utilizzando la relazione $Tp = 4.51 \times \sqrt{Hs}$).

In questo modo è stato possibile associare ad ognuna delle 14 simulazioni la relativa probabilità di accadimento. Le simulazioni idrodinamiche (correnti marine e moto ondoso) e quelle relative alla dispersione del sedimento sono state effettuate impiegando lo stesso setup descritto nel paragrafo precedente. I risultati di ogni simulazione sono stati utilizzati per calcolare la distribuzione di solido sospeso e del tasso di sedimentazione all'interno delle due aree occupate dai SIC IT6000005 e IT6000006. I valori di solido sospeso, relativi a ciascuno dei 4 scenari e a ciascuna delle 14 simulazioni, sono stati utilizzati per definire tre classi di impatto:

- ▲ CLASSE 1 : riguarda il range di valori compresi tra 0 e il 75° percentile della distribuzione, a cui viene assegnato un “basso impatto”;
- ▲ CLASSE 2 : è compresa tra il 75 ° e il 95° della distribuzione, a cui viene assegnato un “medio impatto”;
- ▲ CLASSE 3 : è relativa all'intervallo della distribuzione con valori maggiori del 95° percentile, a cui viene assegnato un “alto impatto”.

Lo stesso criterio è stato utilizzato per definire le tre classi che descrivono gli impatti dovuti alla sedimentazione del materiale.

Per ogni scenario e per ciascuna simulazione, i valori di solido sospeso e del rateo di sedimentazione che ricadono all'interno dei SIC possono essere classificati in una delle tre classi. La probabilità che ogni valore ha di ricadere in una delle tre classi dipende dalla probabilità associata alla simulazione da cui quel valore è stato calcolato.

Il risultato finale è rappresentato da tre mappe per ogni scenario e per ciascuna variabile che definiscono le probabilità di un “basso impatto”, “medio impatto” e “alto impatto” all'interno dei due Siti di Interesse Comunitario.

In questo studio i valori di solido sospeso e del tasso di sedimentazione che delimitano le tre classi di impatto sono stati scelti in maniera arbitraria, senza tener conto delle soglie critiche per la sopravvivenza della *Posidonia oceanica*, della *Pinna nobilis* e delle biocostruzioni coralligene che



allo stato attuale delle conoscenze non risultano ancora ben definiti. Di conseguenza i risultati dell'indice D3I definiscono quale tra le quattro sorgenti considerate ha una maggiore probabilità di impatto all'interno dei due SIC analizzati.

6. RISULTATI

6.1. Analisi del trasporto fluviale

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati relativi alle campagne di misura idrologiche utili a stimare il contributo solido e liquido dei corsi d'acqua in esame.

6.1.1. Morfologia degli alvei fluviali

Le campagne di misura morfologiche sono state effettuate su tutti i corsi d'acqua oggetto di indagine lungo 4 sezioni trasversali laddove possibile ad eccezione dei corsi d'acqua maggiori come il Marta ed il Mignone dove le sezioni sono state effettuate in corrispondenza della foce Marta e della stazione idrologica Rota (Mignone). Per quanto riguarda il Fosso del Prete non è stato possibile effettuare misure ad eccezione della zona di foce per l'inaccessibilità del canale nel tratto a monte. I risultati delle misure sono riportati in figura 6.1 dove sono rappresentate le sezioni trasversali.

Le sezioni d'alveo misurate sul Rio Fiume, inserito in ambito fisiografico collinare montuoso, indicano un corso d'acqua confinato a canale singolo a sezione irregolare con materiale di fondo grossolano misto. La profondità massima di circa 1.8 m alla foce e decresce rapidamente spostandosi verso monte.

Le sezioni d'alveo misurate sul fosso di Castelsecco, inserito in ambito fisiografico collinare montuoso, indicano un corso d'acqua confinato a canale singolo a sezione irregolare con materiale di fondo grossolano misto con una profondità media di circa 0.5 m.

Le sezioni d'alveo misurate sul Fiume Marangone, inserito in ambito fisiografico collinare montuoso, indicano un corso d'acqua confinato a canale singolo a sezione irregolare con materiale di fondo grossolano misto. La profondità media è di circa 0.3m.

Le sezioni d'alveo misurate sul Fosso del Prete, inserito in ambito fisiografico collinare, indicano un corso d'acqua con alveo artificiale a sezione regolare che nel tratto di foce presenta un materiale di fondo costituito da materiale sabbioso.

La sezione d'alveo misurata sul Fiume Mignone, inserito in ambito fisiografico di pianura, indicano un corso d'acqua non confinato a canale singolo sinuoso con materiale di fondo sabbioso. La

profondità a centro alveo è di circa 4 metri.

La sezione d'alveo misurata sul Fiume Mignone, inserito in ambito fisiografico di pianura, indicano un corso d'acqua non confinato a canale singolo sinuoso con materiale di fondo sabbioso. La profondità a centro alveo è di circa 1.2 metri.

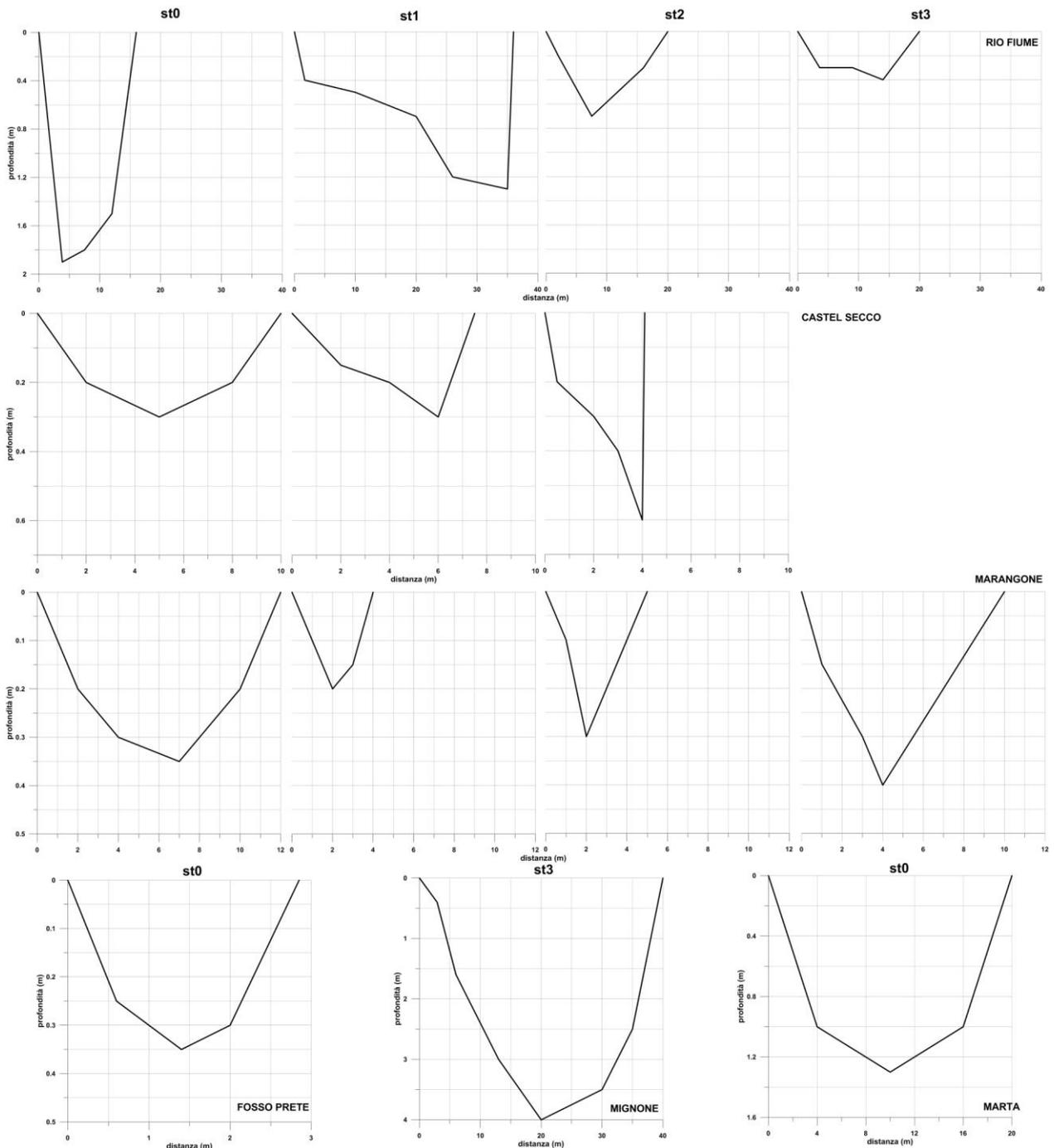


Fig. 6.1: Sezioni trasversali dei corsi d'acqua analizzati. La dicitura st0,st1 etc. indica le progressive sezioni verso monte ad una distanza di circa 500 m.

6.1.2. Analisi sedimentologica e mineralogica dei campioni fluviali

I risultati delle analisi granulometriche svolte sui campioni di sedimento fluviale sono riassunte in tabella 6.1. Inoltre sono riportate le curve granulometriche cumulate dei sedimenti dei diversi fiumi investigati.

Parametri	RF	CS	MAR	FP	MIG	MRT
% Ciottoli	25.07	8.04	37.65	0	0	0
% Ghiaia	53.07	73.94	46.89	38.21	0.099	1.44
% Sabbia	21.69	17.88	15.32	61.58	96.97	97.58
% Silt + Pelite	0.14	0.12	0.11	0.19	2.92	0.97
Mz	51.8	33.37	75.94	13.47	0.46	0.45
S	51.02	30.95	71.78	18.97	0.23	0.25
Sk	-0.04	-0.013	0	-0.47	0	-0.15
Kg	0.61	0.64	0.97	0.97	1.15	1.33
D50	48.88	32.85	75.94	1.45	0.46	0.4
D90	1.48	1.71	1.7	0.4	0.19	0.2
D10	114.07	70.17	160.39	48.03	0.74	1.04

Tab. 6.1 : riassuntiva dei risultati delle analisi sedimentologiche per i diversi corsi d'acqua Rio Fiume (RF), Castelsecco (CS), Marangone (MAR), Fosso del Prete (FP), Mignone (MIG), Marta (MRT).

I risultati mostrano un'evidente variazione della composizione sedimentologica e tessiturale dei sedimenti trasportati legati alle caratteristiche dei corsi d'acqua. A tal proposito, differenze evidenti si riscontrano tra i corsi d'acqua piccoli a regime torrentizio, con elevate pendenze costituiti da un ambito fisiografico collinare montuoso a ridosso della costa (RF, CS, MAR, FP) ed i corsi d'acqua intermedi con una struttura complessa suddivisibile in un ambito fisiografico montuoso-collinare ed uno di pianura (MIG, MRT). Nei corsi d'acqua piccoli è presente una componente grossolana (> 2mm) prevalente ad accezione del Fosso del Prete (FP) dove la componente sabbiosa supera il 50%. I corsi d'acqua Mignone (MIG) e Marta (MRT) invece presentano una componente sabbiosa prevalente (<95%). Il diametro medio (Mz) ed il D50 ricadono nel campo dei ciottoli e ghiaie per i corsi d'acqua minori mentre nei fiumi Marta e Mignone in quello delle sabbie. La forma della distribuzione risulta molto platicurtica (RF, CS) e mesocurtica (MAR, FP) per i fiumi minori in cui è evidente un valore di deviazione standard che indica una distribuzione estremamente mal classata mentre per quanto riguarda i corsi d'acqua Marta e Mignone la distribuzione è ben classata e la forma è leptocurtica. L'asimmetria (Sk) della distribuzione risulta simmetrica in tutti i campioni ad

eccezione del Fosso del Prete e del Fiume Marta dove si osserva rispettivamente una asimmetria spostata verso granulometrie grossolane e fini.

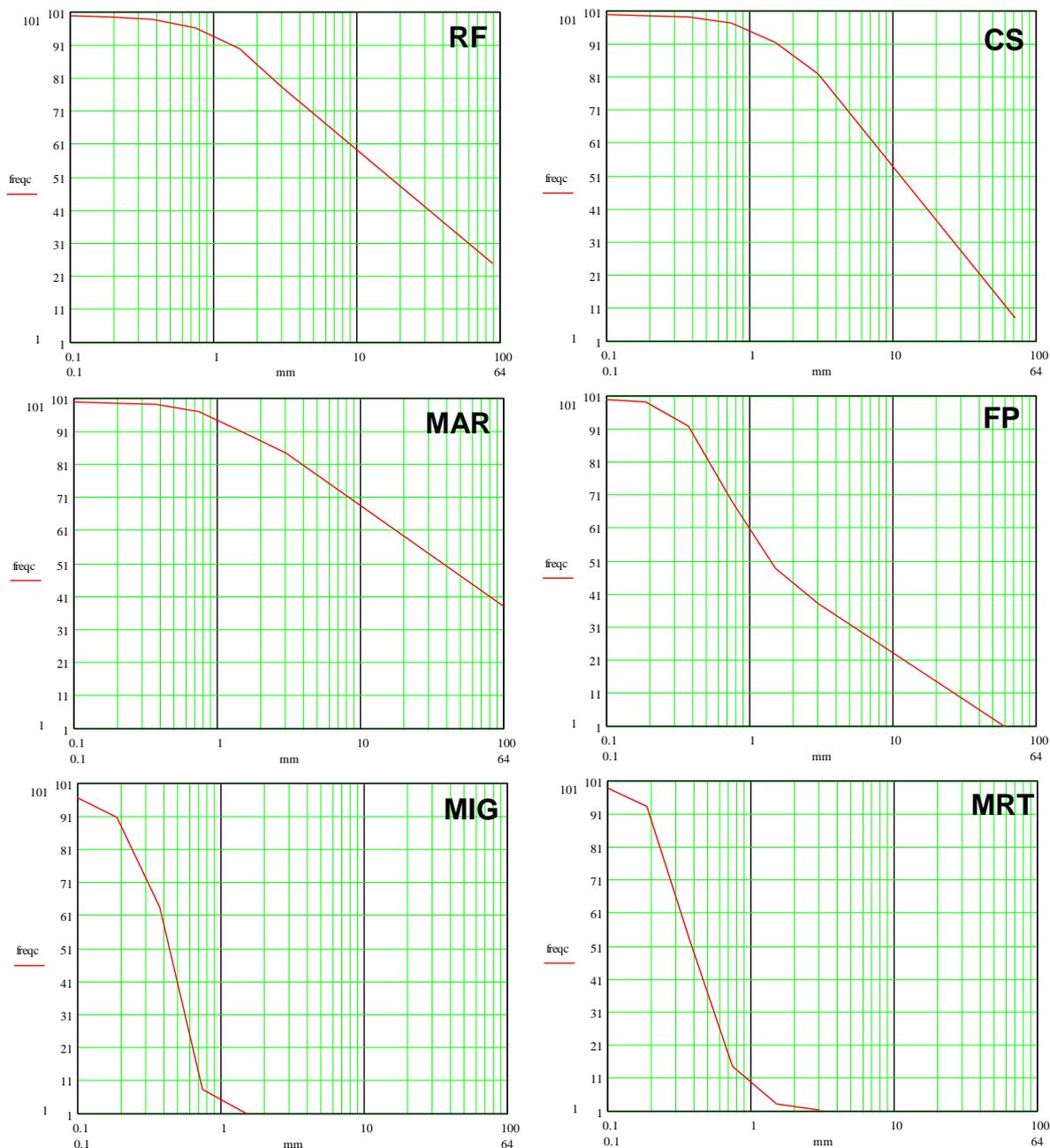


Fig. 6.2: curve granulometriche relative ai campioni di sedimento raccolti in prossimità delle foci fluviali.

I risultati dell'analisi mineralogica, attraverso osservazione di sezione sottile, hanno permesso di effettuare la caratterizzazione qualitativa dei sedimenti presenti nelle aree antistanti le foci dei fiumi

e torrenti caratteristici dell'area di studio. Nel dettaglio:

- ⤴ Fiume Marta: campione a granulometria medio-fine con granuli arrotondati e fratturati. Fra i clasti presenti si distinguono in funzione della presenza percentuale calcite, quarzo e pirosseni.
- ⤴ Fiume Mignone: campione a granulometria fine con granuli arrotondati e fratturati. Fra i clasti più grossolani presenti si distinguono in funzione della presenza percentuale quarzo, calcite e pirosseni. Nella componente più fine, sono presenti minerali argillosi.
- ⤴ Fosso del Prete: campione a granulometria medio-fine con granuli arrotondati e fratturati. Fra i clasti presenti si distinguono in funzione della presenza percentuale calcite, quarzo e pirosseni. Presenza abbondante di resti di scheletri di bivalvi.
- ⤴ Torrente Marangone: campione a granulometria grossolana con granuli arrotondati. Fra i clasti presenti si distinguono in funzione della presenza percentuale calcite, quarzo e pirosseni.
- ⤴ Torrente Castel Secco: campione a granulometria grossolana con granuli arrotondati. Fra i clasti presenti si distinguono in funzione della presenza percentuale calcite, quarzo e pirosseni.
- ⤴ Torrente Rio Fiume: campione a granulometria grossolana con granuli arrotondati. Fra i clasti presenti si distinguono in funzione della presenza percentuale calcite, quarzo, pirosseni e granuli provenienti da disgregazione di rocce a basso metamorfismo.

6.1.3. Regime pluviometrico

L'inquadramento del regime pluviometrico è stato ottenuto analizzando i dati acquisiti dalle stazioni idrologiche presenti lungo il territorio. Data la mancanza di stazioni idrologiche utili a definire peculiarmente i diversi bacini idrografici analizzati è stata effettuata una suddivisione dividendo il territorio in un settore settentrionale ed uno meridionale suddivisi da Capo Linaro. I bacini inclusi nel settore settentrionale sono quelli del Fiume Marangone, Mignone, Marta e F.so del Prete mentre quelli relativi al settore meridionale sono i bacini del Rio Fiume e Castelsecco.

Le stazioni idrologiche analizzate sono riportate in tabella 6.2.

Settore	Pluviometro	Bacino	Registrazioni
Meridionale	Sasso Furbara	Castelsecco/RioFiume	Dal 1951
	S. Severa		Dal 2012
Settentrionale	Civitavecchia	Marangone/F.so Prete	Dal 1951
	Rota	Mignone	Dal 1955
	Allumiere		Dal 1960
	Pantano		Dal 1955
	SS. Aurelia		Dal 2005
	Tuscania	Marta	Dal 1951
	Viterbo		Dal 1951
	Vetralla		Dal 1951
Tarquinia	Dal 1955		

Tab. 6.2 : stazioni idrologiche prese in considerazione nello studio

Dall'analisi dei dati sono stati ricavati dei parametri utili alla modellazione numerica della dinamica costiera relativi al numero medio annuale di giorni piovosi che ammonta a 111 per il settore nord e 112 per il settore sud a cui corrispondono rispettivamente 673 mm e 540 mm medi di pioggia annuali. In figura 6.3 sono riportati gli andamenti mensili del regime pluviometrico degli ultimi 10 anni in termini di numero di eventi piovosi e mm di pioggia caduti.

Dai grafici si osserva uno spiccato regime stagionale delle piogge con il massimo di numero di eventi concentrati nei mesi autunnali ed invernali. Per quanto riguarda la quantità di pioggia si osserva un massimo concentrato nella stagione autunnale soprattutto tra Novembre e Dicembre. Osservando distintamente i due settori si osserva come il settore settentrionale sia interessato da una maggiore quantità di precipitazioni annue e la distribuzione del numero di eventi risulta pressoché simmetrica tra autunno e inverno. Nel settore meridionale invece si osserva una maggiore frequenza nel periodo autunnale.

Sulla base dell'analisi del trasporto solido effettuata sui corsi d'acqua e descritta nel paragrafo xxx è stato ricavato un valore medio del numero di giorni in cui i corsi d'acqua, sulla base dell'afflusso meteorico, presentano una capacità di trasporto solido attivo e che ammonta a circa 60 giorni con una deviazione standard di 19. Tale valore non tiene conto del deflusso solido in sospensione legato alla torbidità di base del corso d'acqua ma ai fenomeni che presentano caratteristiche erosive nei confronti del sedimento presente sul fondo.

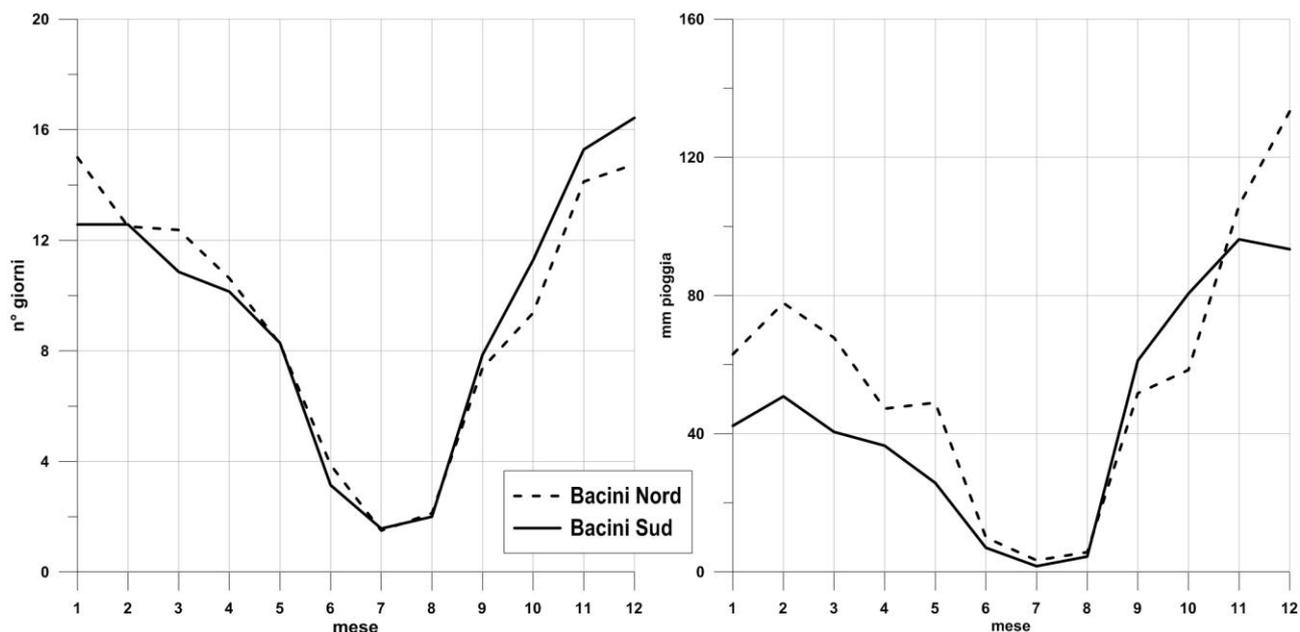


Fig. 6.3 : andamenti mensili del regime pluviometrico degli ultimi 10 anni

6.1.4. Trasporto liquido e solido

I risultati delle campagne di misura correntometriche e del trasporto solido in sospensione sono riportati in tabella 6.3.

Corso d'acqua	Portata (mc/s)	Velocità (m/s)	Peso campione (mg)	Solido sospeso (mg/l)	Trasporto solido (g/s)
Rio Fiume	8.16	0.68	33.4	7.8	63.64
Castelsecco	0.38	0.26	111.7	12.87	4.92
Marangone	0.8	0.55	173.3	27.06	21.76
Fosso Prete0	0.002	0.006	238.4	145.84	0.367
Fosso Prete1	0.018	0.0123	98.2	13	0.235
Fosso Prete2	0.073	0.05	155.3	161	11.86
Fosso Prete3	0.839	0.57	117.7	38	31.91
Fosso Prete4	0.235	0.16	124.8	41.25	9.72
Mignone1	28.84	0.28	152.5	25.3	729.65
Mignone2	61.8	0.6	176.4	424	26203.2
Marta	0.51	0.03	119.3	61.11	31.16

Tab.6.3 : riassunto delle misure idrologiche effettuate nelle diverse campagne

Per quanto riguarda i corsi d'acqua di maggiori dimensioni (Mignone e Marta) la portata liquida è stata ottenuta dalle acquisizioni e analisi condotte dall'Istituto Idrografico della Regione Lazio.

I dati fanno riferimento alle stazioni idrologiche SS Aurelia per il Mignone e Tarquinia per il Marta (Figura 6.4 e Figura 6.5).

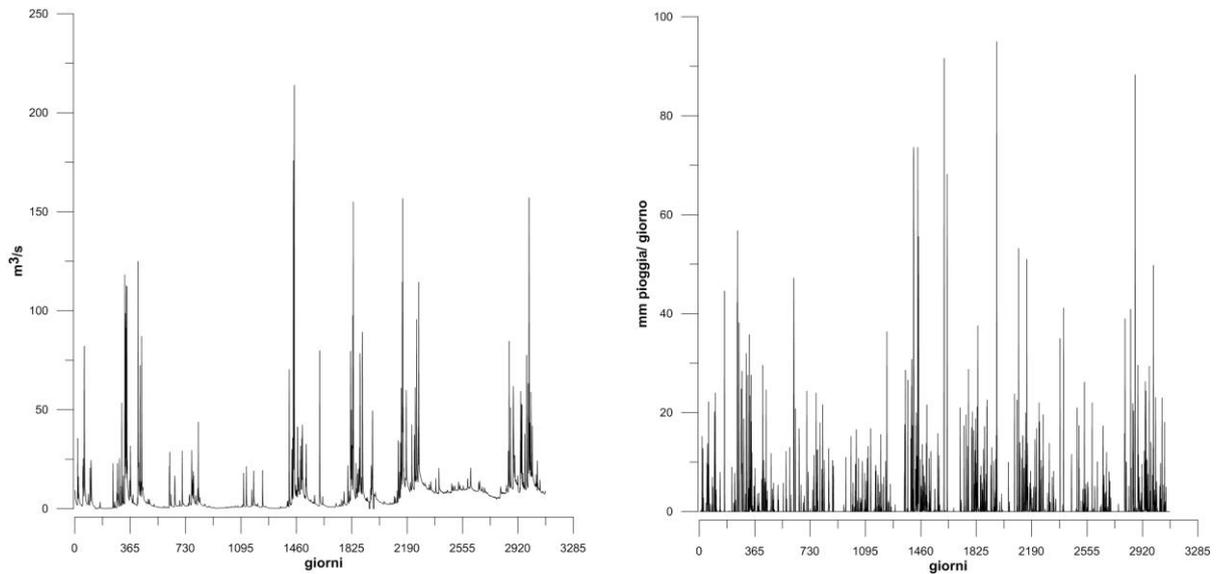


Fig. 6.4 : Portata liquida media giornaliera (sinistra) e mm pioggia/giorno (destra) della stazione S.S. Aurelia sul Fiume Mignone

La portata liquida giornaliera media del fiume Mignone è di $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ e può raggiungere valori di oltre $150 \text{ m}^3/\text{s}$ durante gli eventi estremi. Per quanto riguarda il Fiume Marta il valore medio di portata liquida giornaliera ammonta a $5.35 \text{ m}^3/\text{s}$ con valori massimi di oltre $100 \text{ m}^3/\text{s}$ durante gli eventi estremi di piena.

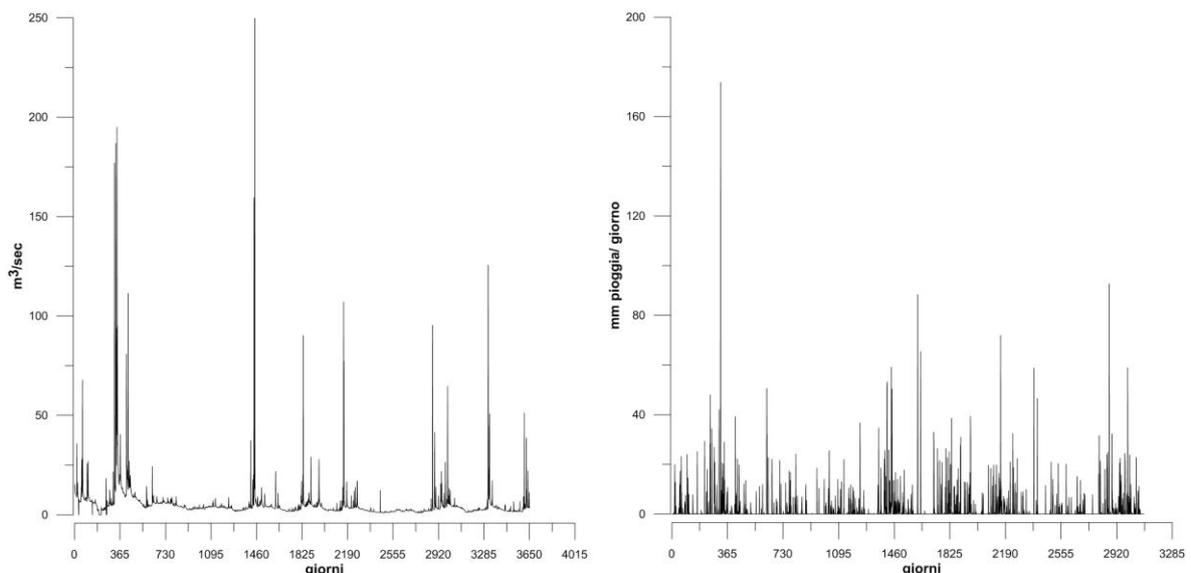


Fig.6.5 : Portata liquida media giornaliera (sinistra) e mm di pioggia/giorno (destra) della stazione Tarquinia sul Fiume Marta

La metodologia esposta nel paragrafo 5.1.1.1 ha permesso di valutare il trasporto medio annuo liquido e solido in sospensione dei corsi d'acqua analizzati al fine di fornire delle condizioni di input dei modelli numerici. I risultati sono riportati in tabella 6.4.

Corso d'acqua	Trasporto liquido (mc/s)	Trasporto solido (kg/s)	Trasporto solido (tonn/anno)
Rio Fiume	0.39	0.0408	1286.66
Castelsecco	0.44	0.0775	2445.96
Marangone	0.45	0.066	2083.48
Fosso Prete	0.4	0.3266	10301
Mignone	7.21	1.252	62405
Marta	5.35	1.7175	39497

Tab.6.4 : riassunto della stima media di trasporto liquido e solido dei diversi corsi d'acqua

Dalle misure di torbidità è emerso che il Fosso del Prete presenta valori di torbidità molto elevati se messi in rapporto all'estensione del bacino idrografico. Tale situazione è probabilmente determinata dall'elevato grado di antropizzazione presente lungo il bacino idrografico. Infatti tale fosso dall'estensione molto modesta attraversa l'area industriale di Civitavecchia con un canale molto poco ramificato ed un bacino intensamente antropizzato con una sezione regolare che favorisce il deflusso liquido a scapito dell'infiltrazione.

I risultati sono stati confrontati con i valori ottenuti da studi pregressi raccolti nei Mari del Lazio 1990 i cui è stato stimato per quanto riguarda i fiumi Mignone e Marta un trasporto solido che ammonta rispettivamente a 45000 tonn/anno e 48423 tonn/anno ottenendo un valore confrontabile con le stime precedenti ed una discrepanza del +27 e -19%.

6.2 Analisi dei dati correntometrici

I dati di correntometria sono stati processati mediante software View ADP Sontek ed elaborati attraverso software per analisi geostatistiche applicando il metodo di interpolazione spaziale "Kriging". Di seguito sono riportate le 4 campagne di misura effettuate nelle due aree oggetto di studio.

Campagna SUD_1

La campagna correntometrica SUD_1 è stata effettuata nei giorni 27/02/2015 tra le ore 09:00 e le ore 12:00 e 28/02/2015 tra le ore 08:30 e le ore 11:00.

Il primo giorno di campionamento presenta una circolazione atmosferica caratterizzata da venti provenienti dai quadranti settentrionali con direzione compresa tra 0°N e 300°N e velocità tra i 4m/s e i 6 m/s, come evidente dall'odografo di figura 6.6.

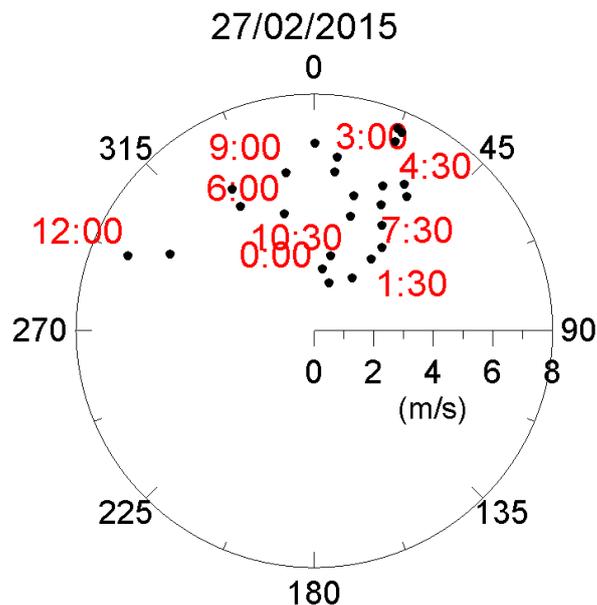


Fig. 6.6 : Odografo del giorno 27.02.2015:
i punti in nero indicano la direzione e l'intensità del vento, le scritte in rosso rappresentano le ore.

Il giorno 28/02/2015 presenta una circolazione atmosferica caratterizzata da venti provenienti dai quadranti settentrionali (direzione del vento 0°N e 90°N e velocità 1m/s e 4 m/s), durante le ore notturne, e meridionali durante il giorno (direzione del vento 90°N e 210°N e velocità 1m/s e 4 m/s), come evidente dall'odografo di figura 6.7.

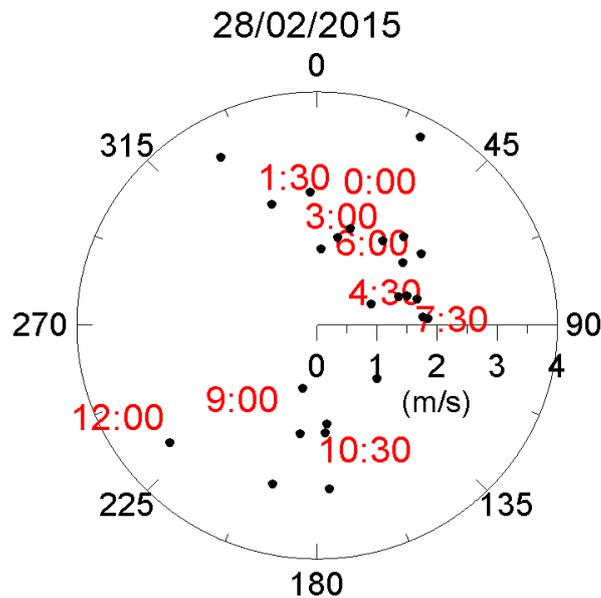


Fig. 6.7 Odografo del giorno 28.02.2015:

i punti in nero indicano la direzione e l'intensità del vento, le scritte in rosso rappresentano le ore.

L'analisi delle misure correntometriche effettuate il 27/02/2015 evidenziano generalmente una corrente ortogonale alla costa che sposta le masse d'acqua verso largo; la direzione è compresa tra 225°N e 270°N e le velocità misurate mostrano valori compresi tra 5 cm/s e 20 cm/s. In particolare nella stazione SM10 si osservano i valori più bassi di velocità della corrente, con direzioni comprese tra 90°N e 135°N.

Dall'analisi delle misure effettuate il giorno 28/02/2015 si osserva che la corrente è diretta verso largo ortogonalmente alla costa (230°N) fino alle 09:30 (SM05 e SM06); successivamente la direzione si inverte, come evidenziato nelle stazioni SM02 e SM03. La velocità della corrente presenta valori compresi tra 5 cm/s e 20 cm/s; i valori massimi si registrano in presenza di una corrente da Ovest.

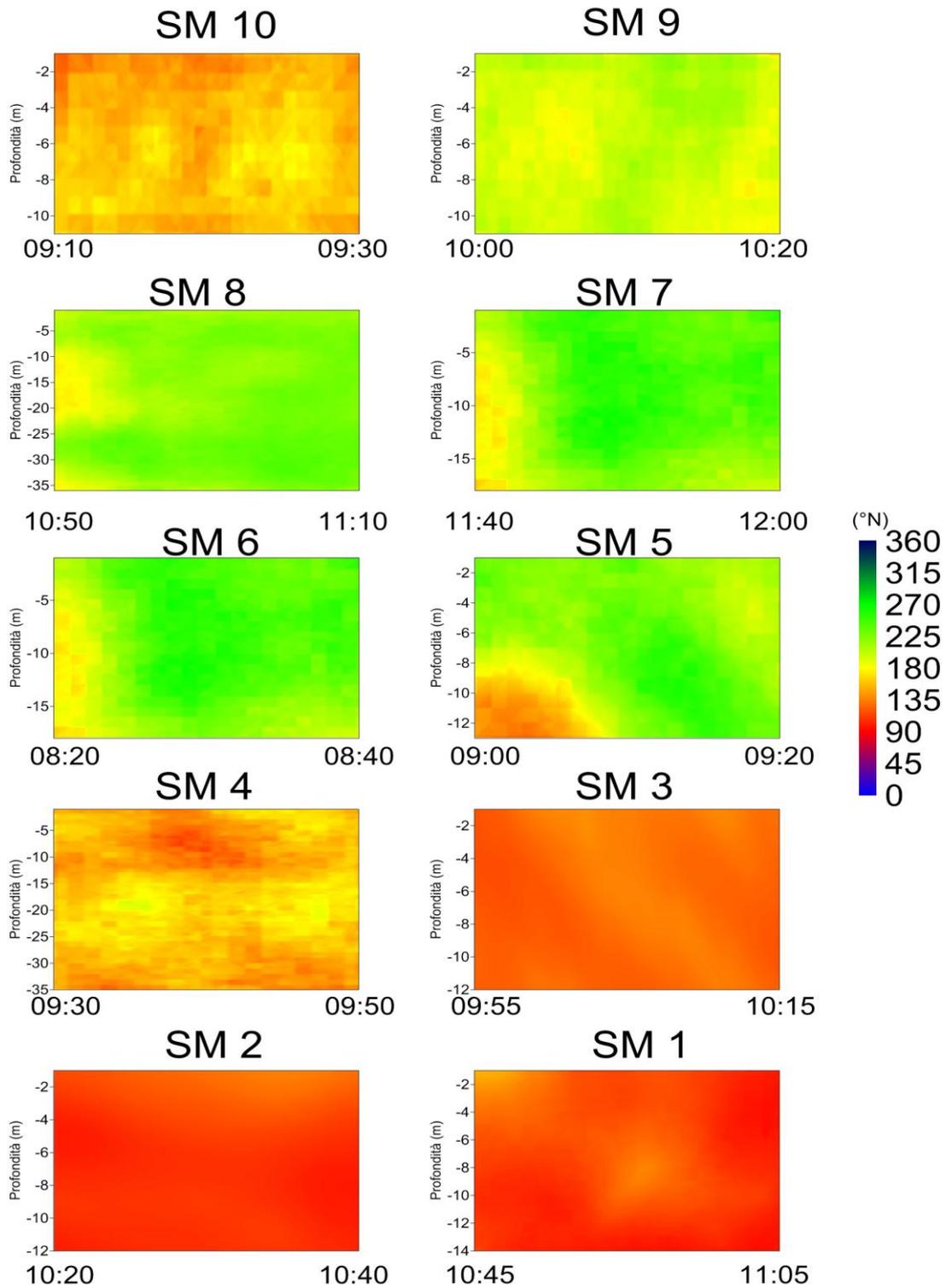


Fig. 6.8 : Rappresentazione della direzione della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

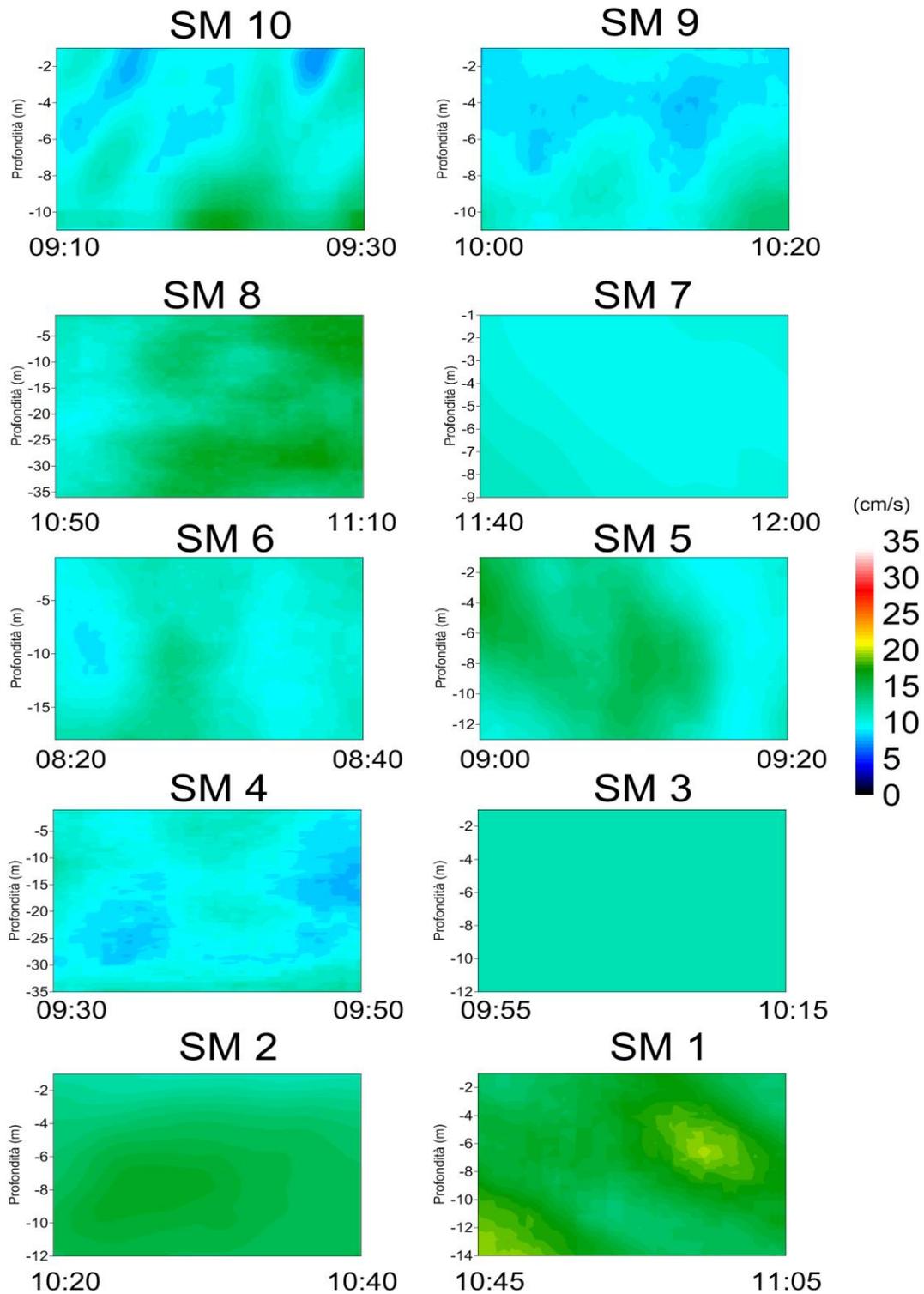


Fig. 6.9 : Rappresentazione della velocità della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

Campagna NORD_1

La campagna correntometrica NORD_1 è stata effettuata il giorno 09/03/2015 tra le ore 12:20 e le ore 17:10.

Il giorno 09/03/2015 presenta una circolazione atmosferica caratterizzata da venti provenienti dai quadranti settentrionali (direzione del vento 0°N e 90°N e velocità 2m/s e 6 m/s), durante le ore notturne, e meridionali durante il giorno (direzione del vento 90°N e 270°N e velocità 2 m/s e 5 m/s).

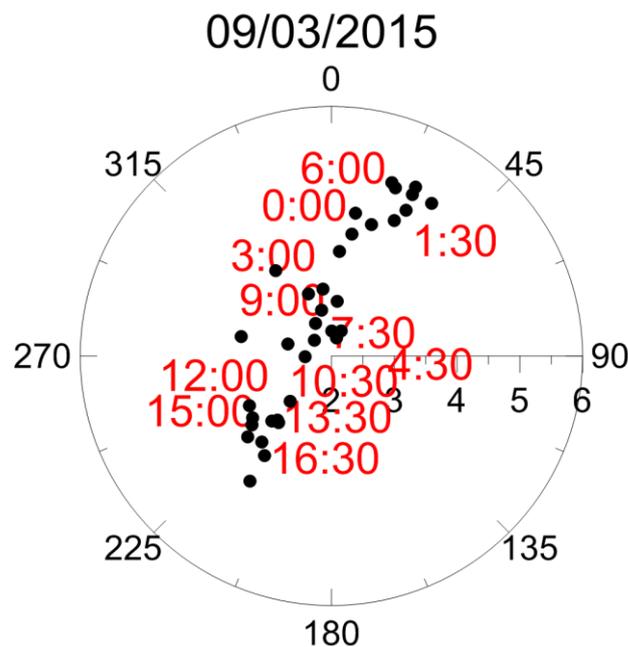


Fig. 6.10 : Odografo del giorno 09.03.2015:

i punti in nero indicano la direzione e l'intensità del vento, le scritte in rosso rappresentano le ore.

La corrente generale è diretta parallelamente alla costa (da 45°N a 120°N); la stazione NM10 presenta direzioni opposte rispetto alle altre stazioni (180°N) e la stazione NM07 mostra una rotazione verso 45°N. Le velocità sono comprese tra i 10 cm/s e i 40 cm/s; i valori maggiori sono osservabili in NM04 tra i 5 e i 15m di profondità, mentre le stazioni NM09 e NM10 presentano le velocità minori.

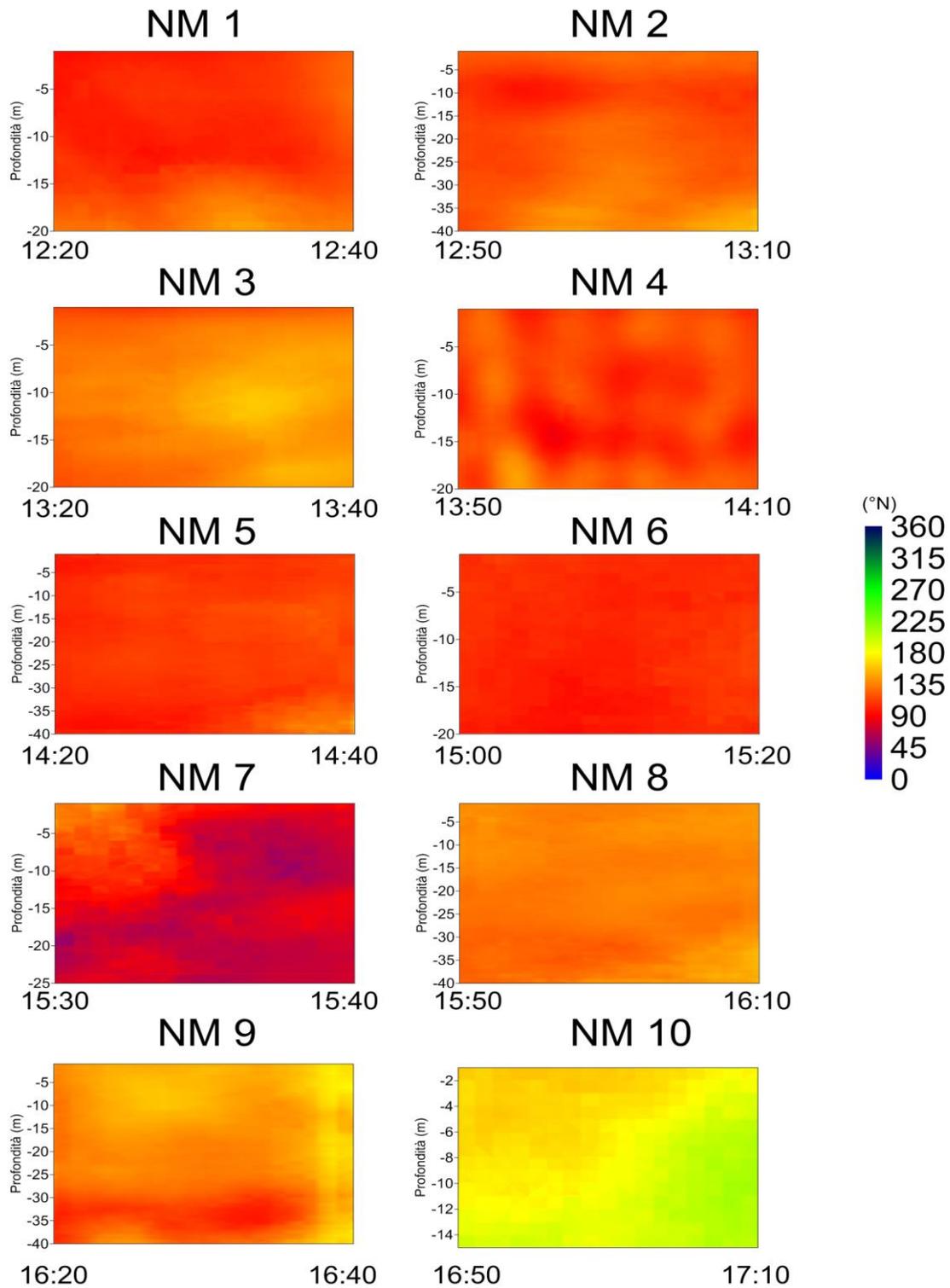


Fig. 6.11 : Rappresentazione della direzione della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

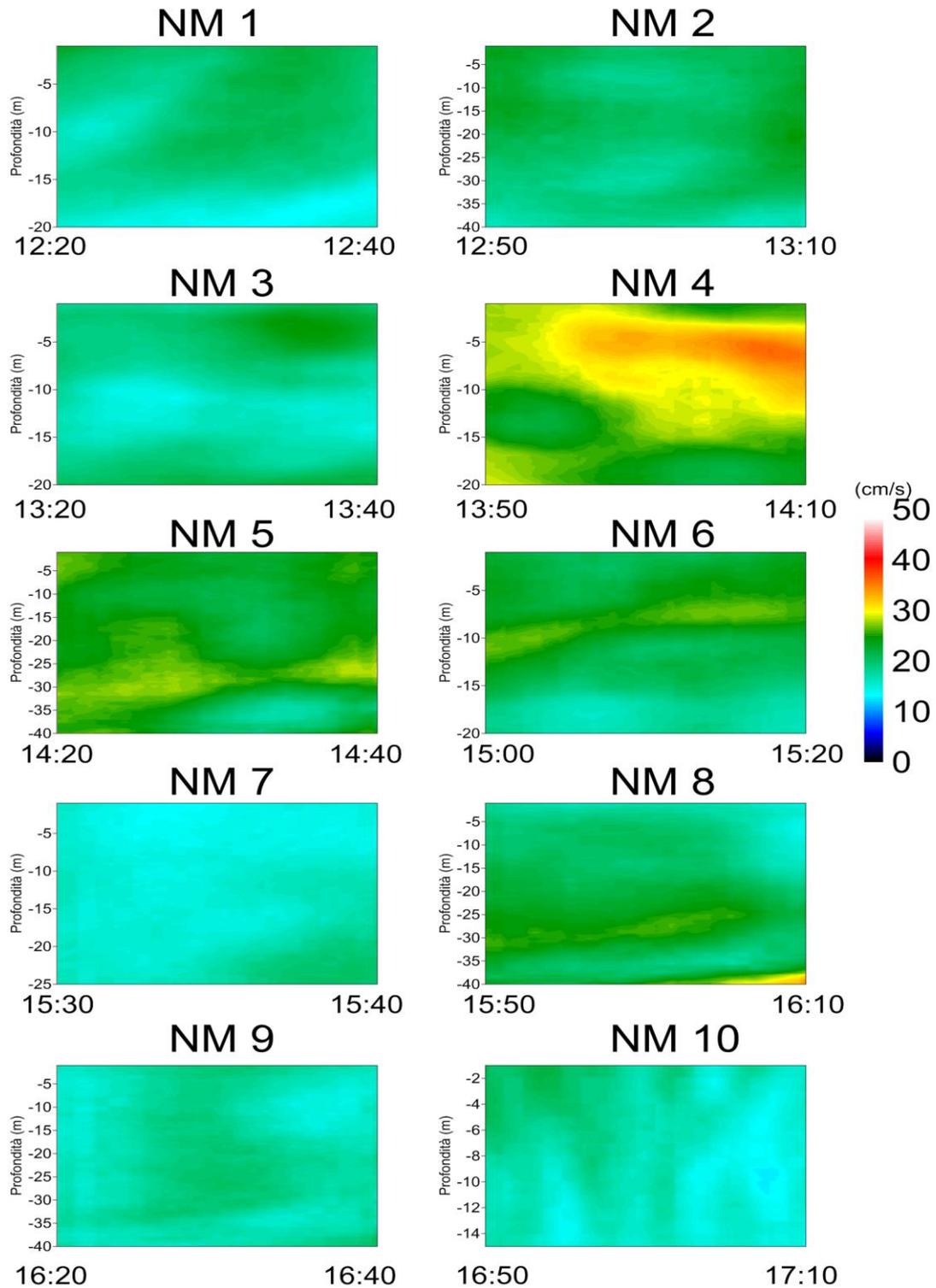


Fig.6.12 : Rappresentazione della velocità della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

Campagna SUD_2

La campagna correntometrica SUD_2 è stata effettuata il giorno 18/03/2015 tra le ore 09:00 e le ore 15:30.

La circolazione atmosferica è caratterizzata da venti provenienti da Nord-Est (direzione del vento 0°N e 90°N e velocità 1m/s e 4m/s), durante le ore notturne, e da Sud-Ovest durante il giorno (direzione del vento compresa tra 180°N e 270°N e velocità comprese tra 2m/s e 5 m/s).

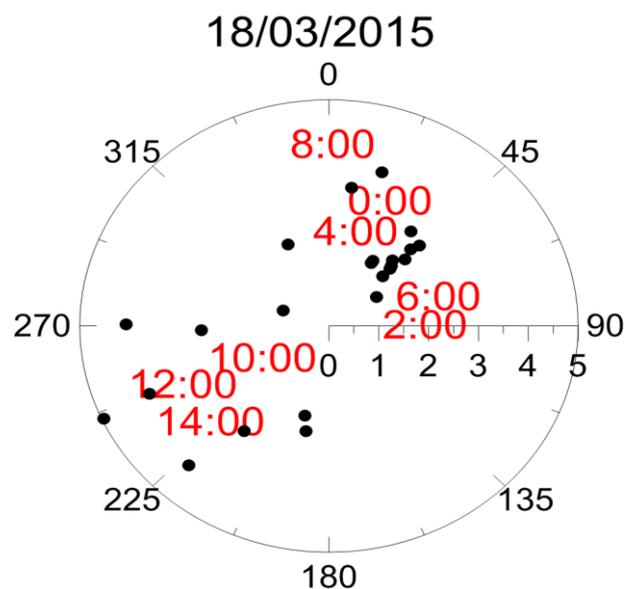


Fig. 6.13 : Odografo del giorno 18.03.2015:
i punti in nero indicano la direzione e l'intensità del vento, le scritte in rosso rappresentano le ore.

Durante l'attività di misura si osserva una rotazione nella direzione della corrente. Le stazioni SM10 e SM09 presentano una direzione di 240°N. Nelle stazioni SM08 e SM06 sono evidenti direzioni differenti fra lo strato superficiale (250°N) e quello profondo (100°N). Nelle stazioni SM01 e SM02 la corrente è orientata a Sud-Ovest. La velocità della corrente presenta valori compresi tra 8 cm/s e 30 cm/s; i valori più elevati si osservano nelle stazioni SM09 e SM08 tra i 25m e i 35m di profondità. I valori minori sono registrati in SM03.

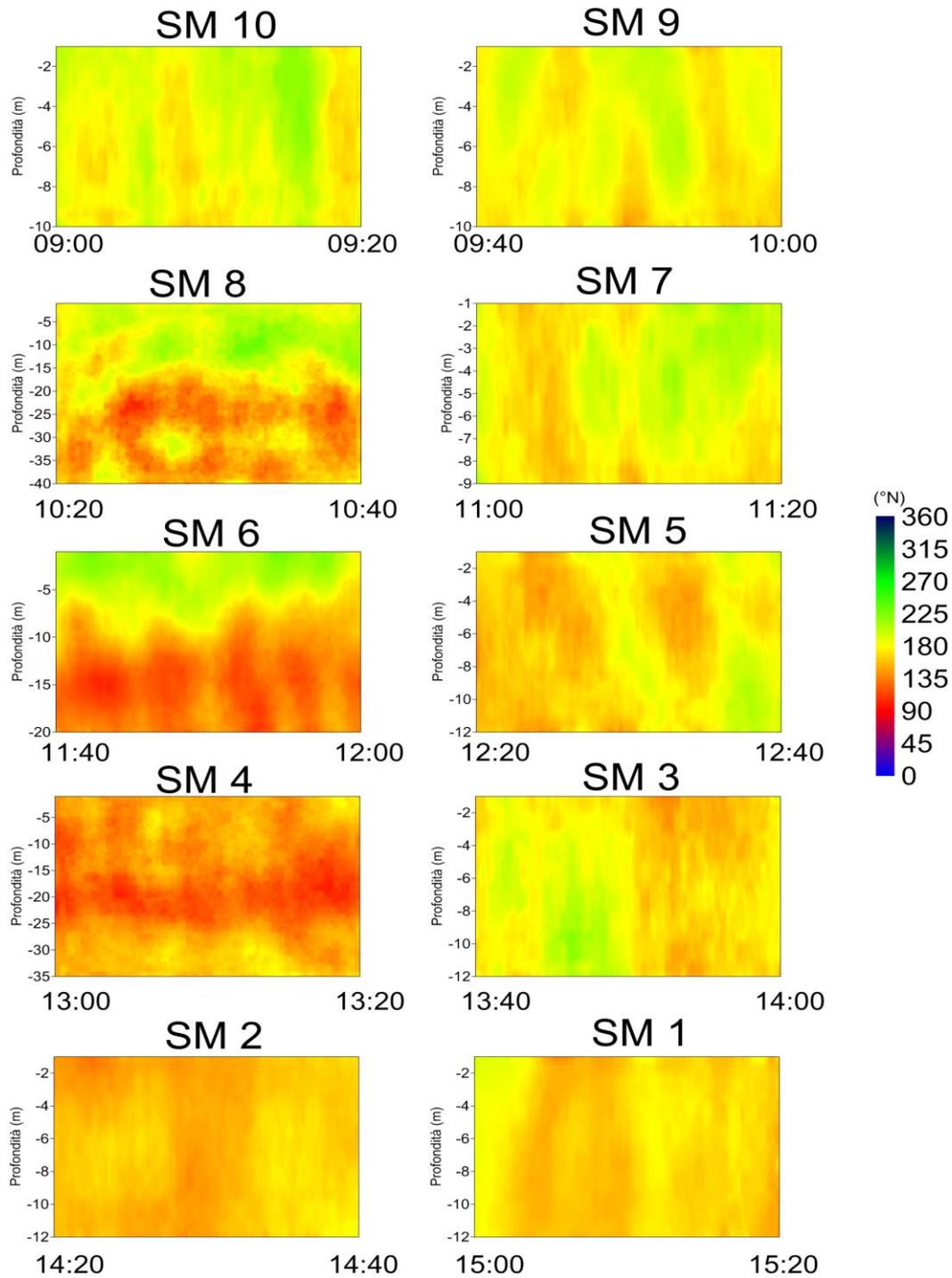


Fig. 6.14 : Rappresentazione della direzione della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

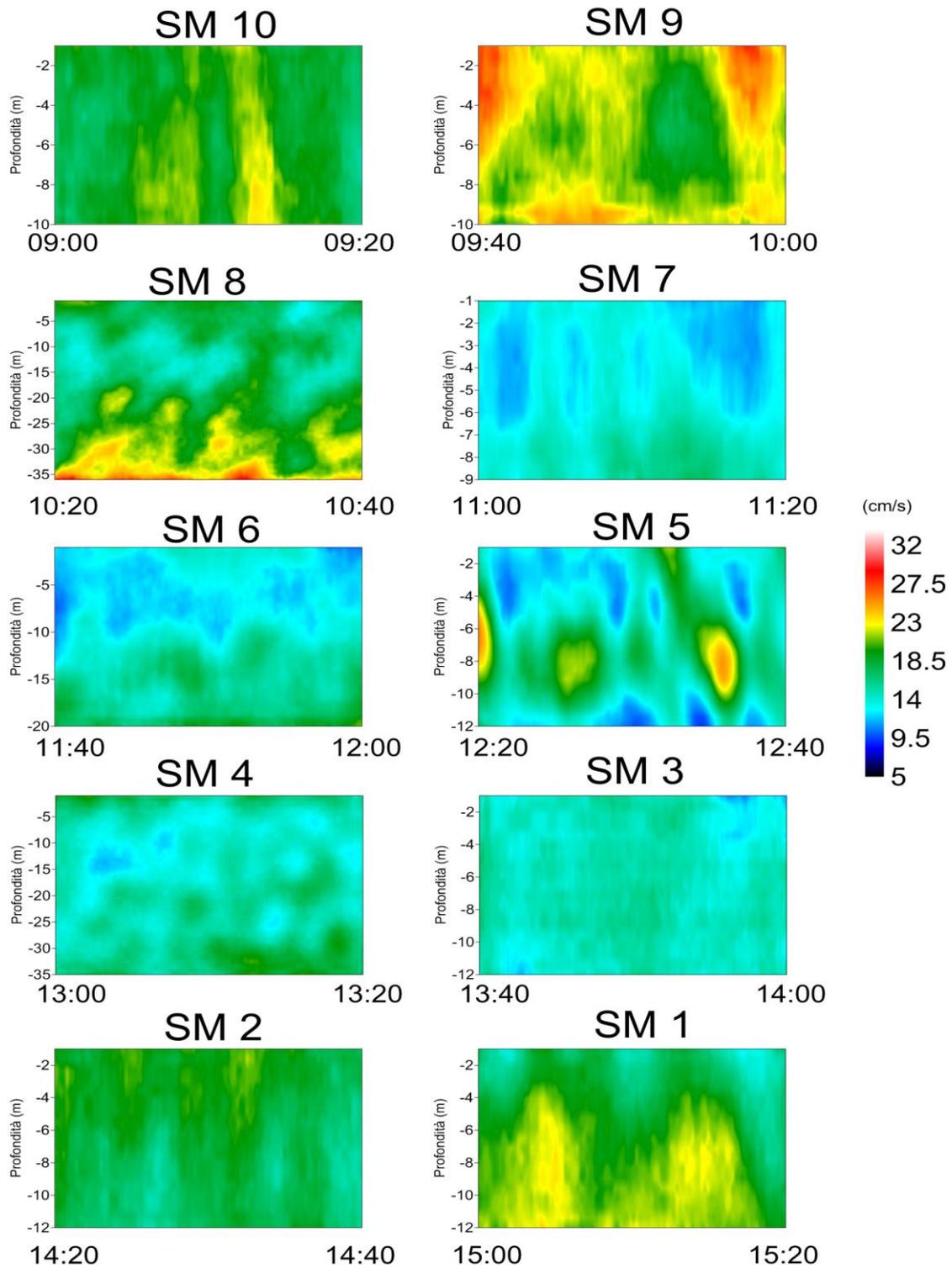


Fig. 6.15 : Rappresentazione della velocità della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

Campagna NORD_2

La campagna correntometrica NORD_2 è stata effettuata il giorno 10/04/2015 tra le ore 09:30 e le ore 14:00.

Il giorno 10/04/2015 presenta una circolazione atmosferica caratterizzata da venti provenienti dai quadranti meridionali (direzione del vento 100°N e 210°N e velocità 2m/s e 8 m/s).

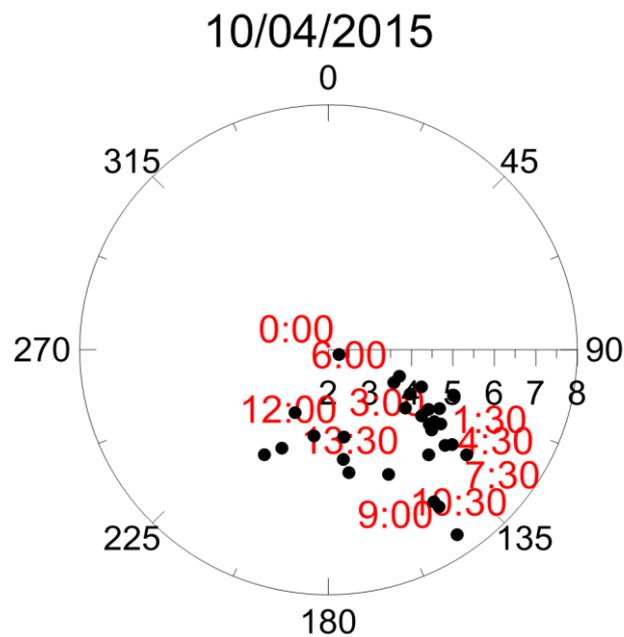


Fig. 6.16 : Odografo del giorno 10.04.2015:
i punti in nero indicano la direzione e l'intensità del vento, le scritte in rosso rappresentano le ore.

Dall'analisi delle misure effettuate si osserva che in generale la corrente è caratterizzata da un'elevata variabilità con direzioni comprese tra 60°N e 250°N. Nelle stazioni NM01, NM03, NM06 e NM09 la corrente è orientata verso Sud-Ovest; le stazioni NM02, NM04 e NM05 mostrano direzioni comprese tra 60 °N e 100°N.

La velocità della corrente mostra valori compresi tra 10 cm/s e 40 cm/s; i valori maggiori si osservano nella stazione NM02 tra i 5m e i 15m di profondità, nella stazione NM04 tra i 10m e i 20 m di profondità e negli strati superficiali della stazione NM05.

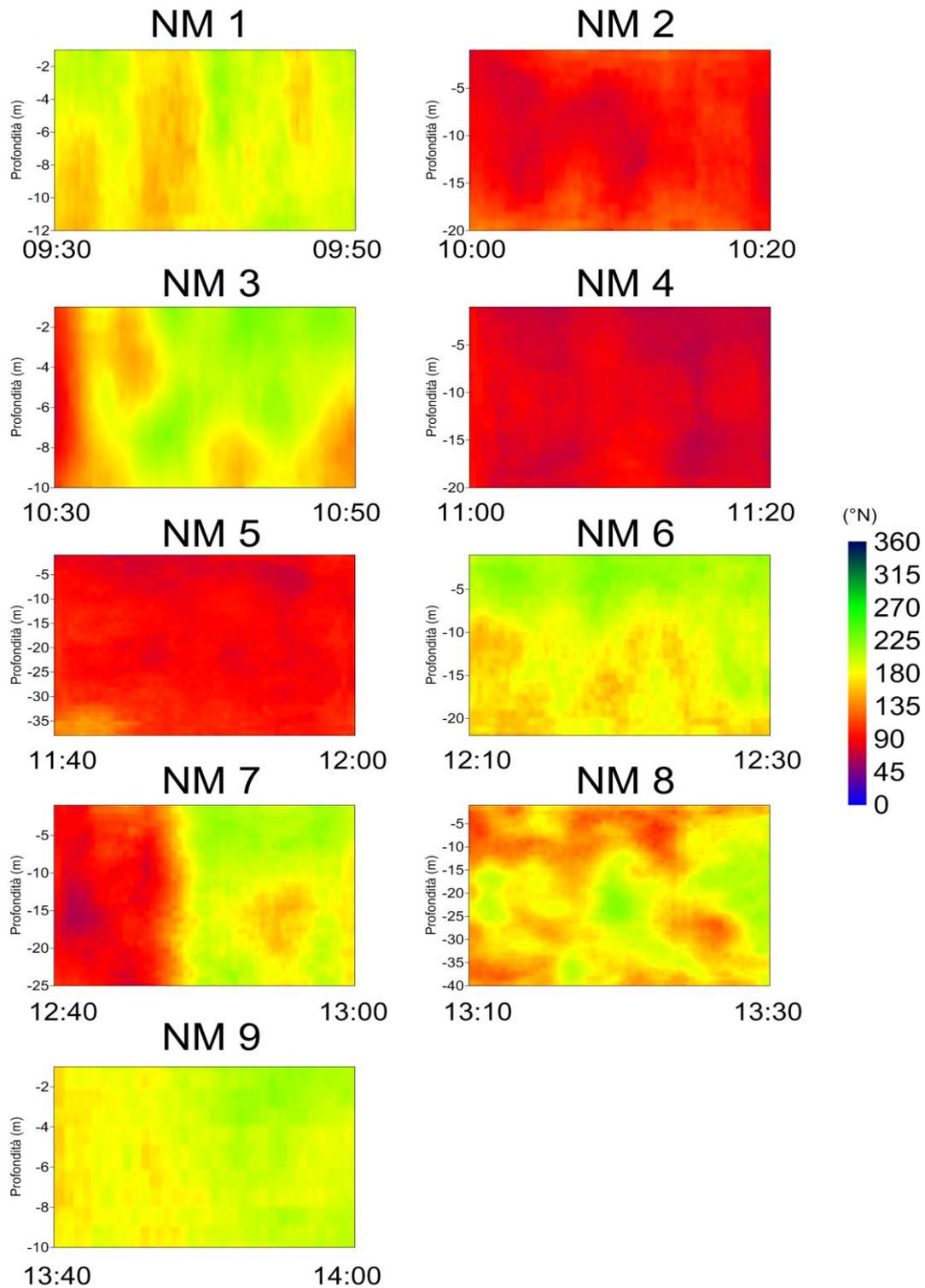


Fig. 6.17 : Rappresentazione della direzione della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

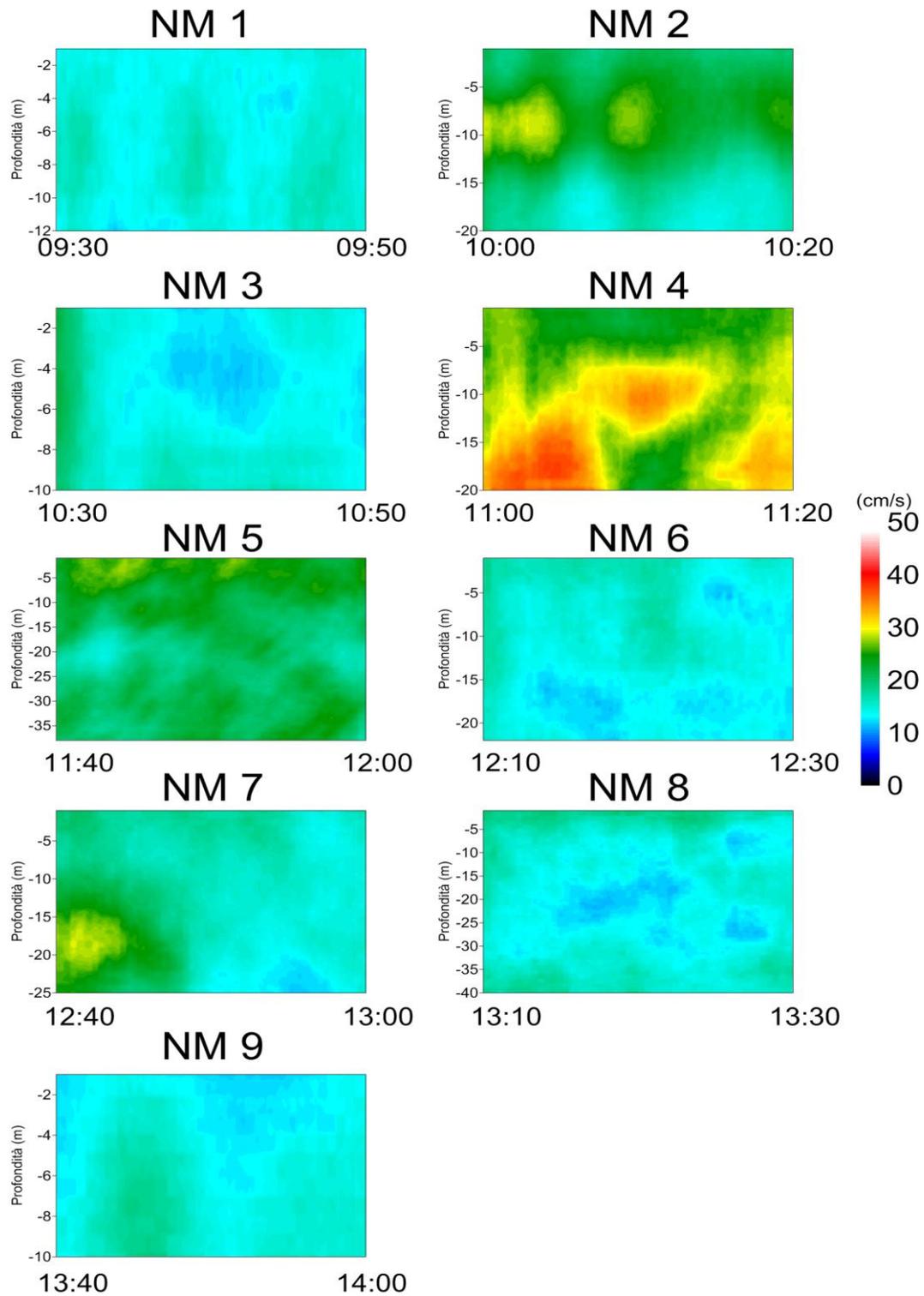


Fig. 6.18 : Rappresentazione della velocità della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

6.3 Analisi dei dati fisici, chimici e biologici della colonna d'acqua

In ogni area sono state effettuate 10 stazioni di misura, in corrispondenza delle quali sono stati effettuati profili verticali con sonda multiparametrica e campionamenti di acqua per l'analisi della concentrazione di solido sospeso, clorofilla *a*, azoto inorganico disciolto e fosforo totale.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati raccolti nelle 4 campagne di misura effettuate nelle due aree oggetto di studio.

Campagna SUD_1

La prima campagna di misura nell'area a Sud è stata effettuata il giorno 20.02.2015. In corrispondenza di ciascuna stazione sono stati effettuati profili verticali con sonda multiparametrica e sono stati raccolti campioni di acqua superficiale e di fondo per un totale di 13 campioni di acqua per l'analisi del solido sospeso, 6 campioni per l'analisi della clorofilla *a* e 2 campioni per l'analisi dei macronutrienti.

I dati raccolti mediante sonda multiparametrica sono stati processati e riportati in grafici che rappresentano i profili delle singole variabili in funzione della profondità. Di seguito vengono riportati i grafici maggiormente rappresentativi della campagna SUD_1; i profili di tutte le stazioni vengono riportati nell'Allegato B.

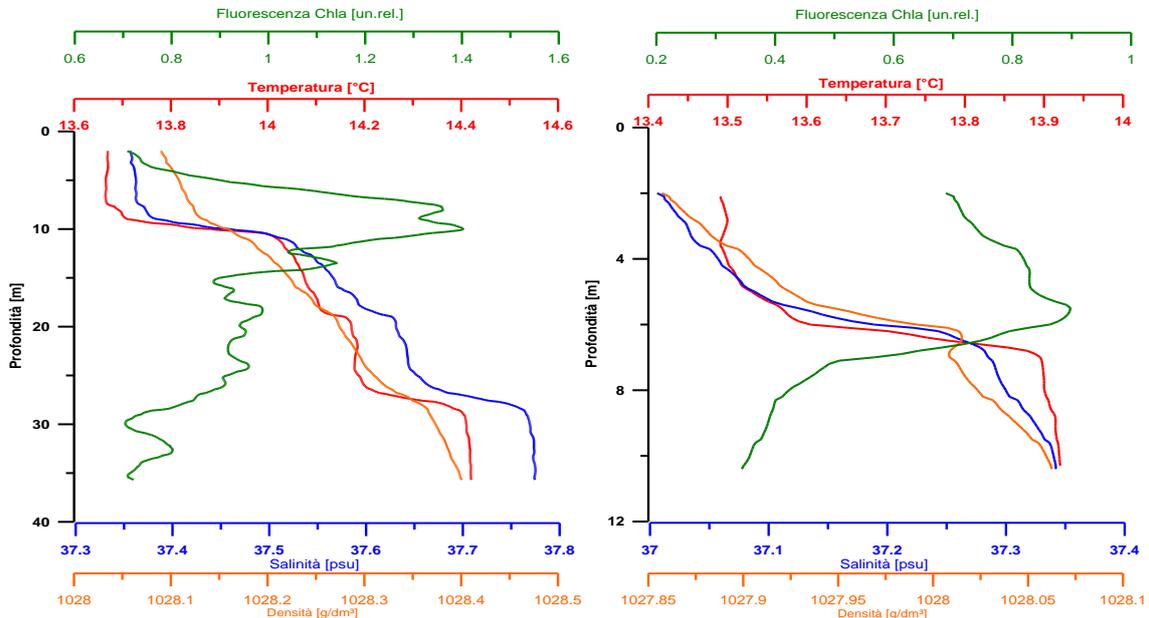


Fig. 6.19 : Rappresentazione dell'andamento di temperatura, salinità, densità e fluorescenza della clorofilla *a* in funzione della profondità nelle stazioni SM04, a sinistra, e SM10, a destra

Dall'analisi della distribuzione delle diverse variabili lungo la colonna d'acqua è possibile osservare che: i valori di temperatura variano dalla superficie verso il fondo tra 13.35°C e 14.4°C, con uno strato superficiale più freddo indotto dai venti provenienti dai quadranti settentrionali. La salinità, segue l'andamento della temperatura con minimi superficiali di 37 PSU e massimi profondi di 37.9 PSU.

Da evidenziare la presenza di un DCM (Deep Chlorophyll Maximum) ben strutturato ad una profondità variabile tra 5 m e 16 m, in accordo con i trend stagionali. In generale la fluorescenza della biomassa fitoplanctonica varia tra 0.21 e 1.42.

Di seguito vengono riportate le concentrazioni di solido sospeso e clorofilla *a* ottenute dall'analisi dei campioni di acqua superficiali. Nella campagna SUD_1 le concentrazioni di solido sospeso variano tra 3.8 mg/l e 4.4 mg/l, mentre per quanto attiene le concentrazioni di clorofilla *a*, i valori sono compresi tra 0.68 µg/l e 1.67 µg/l, come osservabile rispettivamente nelle figure 6.20 e 6.21.

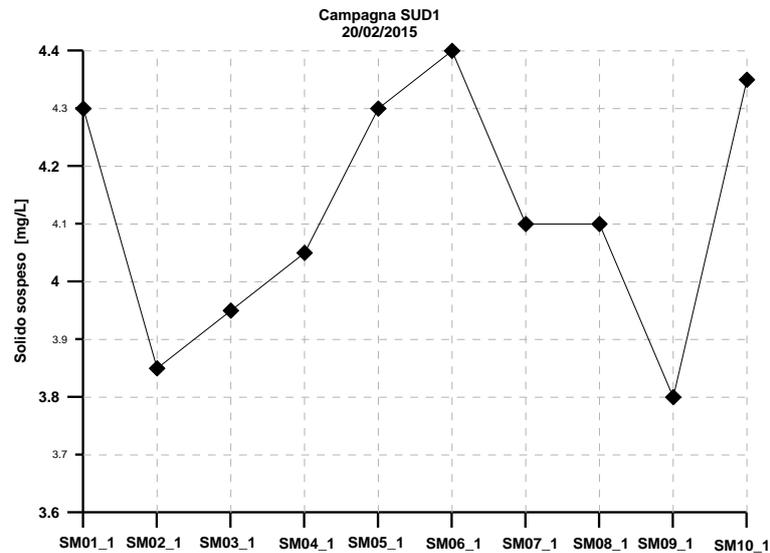


Fig. 6.20 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

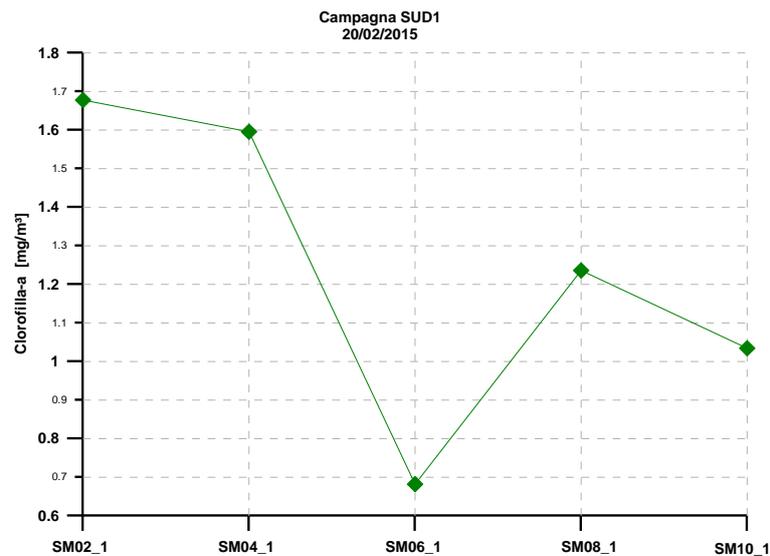


Fig. 6.21 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

Campagna NORD_1

La prima campagna di misura nell'area a Nord è stata effettuata il giorno 10.03.2015. In corrispondenza di ciascuna stazione sono stati effettuati profili verticali con sonda multiparametrica e sono stati raccolti campioni di acqua superficiale e di fondo per un totale di 12 campioni di acqua per l'analisi del solido sospeso, n.6 campioni per l'analisi della clorofilla *a* e n. 2 campioni per l'analisi dei macronutrienti.

I dati raccolti mediante sonda multiparametrica sono stati processati e riportati in grafici che rappresentano i profili delle singole variabili in funzione della profondità. Di seguito vengono riportati i grafici maggiormente rappresentativi della campagna NORD_1; i profili di tutte le stazioni vengono riportati nell'Allegato B.

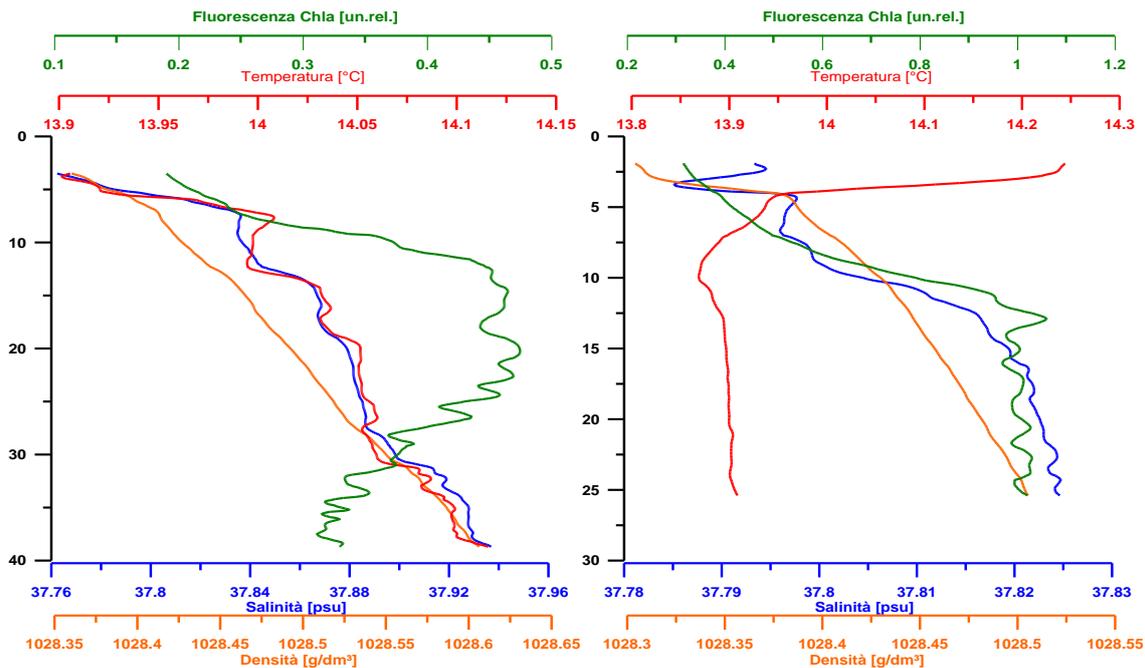


Fig. 6.22 : Rappresentazione dell'andamento di temperatura, salinità, densità e fluorescenza della clorofilla *a* in funzione della profondità nelle stazioni NM02, a sinistra, e NM08, a destra

Dall'analisi della distribuzione delle diverse variabili lungo la colonna d'acqua è possibile osservare che: in generale i valori di temperatura variano dalla superficie verso il fondo con valori minimi di 13.4°C e massimi di 14.4°C, con un'unica eccezione per la stazione NM09 che presenta i massimi valori di temperatura (15.8°C). La salinità, poco variabile lungo la colonna d'acqua, è compresa tra 37.57 PSU e 37.9 PSU.

La fluorescenza della biomassa fitoplanctonica varia tra 0.2 e 1.05, con valori massimi che si attestano tra i 12 m ed i 16 m di profondità.

Di seguito vengono riportate le concentrazioni di solido sospeso e clorofilla *a* ottenute dall'analisi dei campioni di acqua superficiali. Nella campagna NORD_1 le concentrazioni di solido sospeso

variano tra 3.65 mg/l e 4.56 mg/l, mentre per quanto attiene le concentrazioni di clorofilla *a*, i valori sono compresi tra 0.47 $\mu\text{g/l}$ e 0.71 $\mu\text{g/l}$, come osservabile rispettivamente nelle figure 6.23 e 6.24.

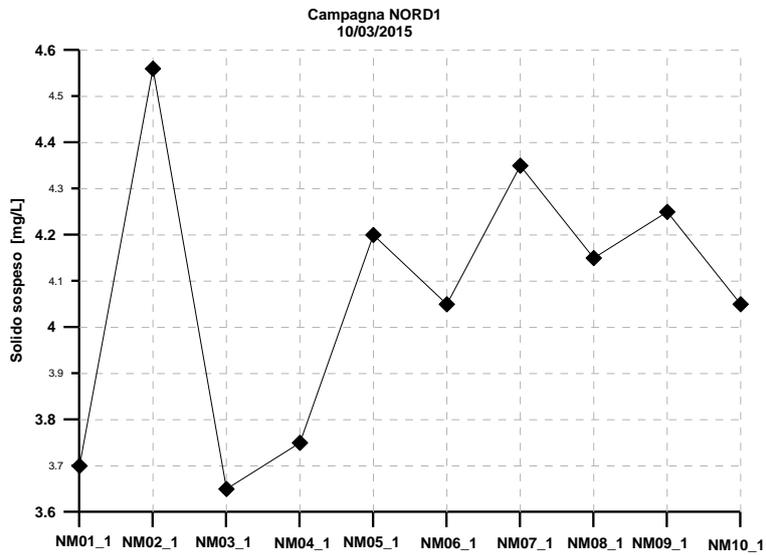


Fig. 6.23 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

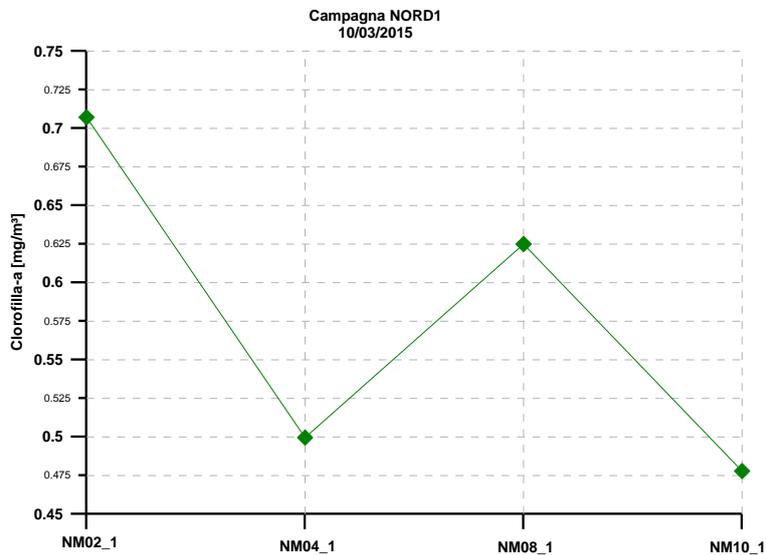


Fig. 6.24 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

Campagna SUD_2

La seconda campagna di misura nell'area a Sud è stata effettuata il giorno 19.03.2015. In corrispondenza di ciascuna stazione sono stati effettuati profili verticali con sonda multiparametrica e sono stati raccolti campioni di acqua superficiale e di fondo per un totale di 13 campioni di acqua per l'analisi del solido sospeso, 5 campioni per l'analisi della clorofilla *a* e 2 campioni per l'analisi dei macronutrienti.

I dati raccolti mediante sonda multiparametrica sono stati processati e riportati in grafici che rappresentano i profili delle singole variabili in funzione della profondità. Di seguito vengono riportati i grafici maggiormente rappresentativi della campagna SUD_2; i profili di tutte le stazioni vengono riportati nell'Allegato B.

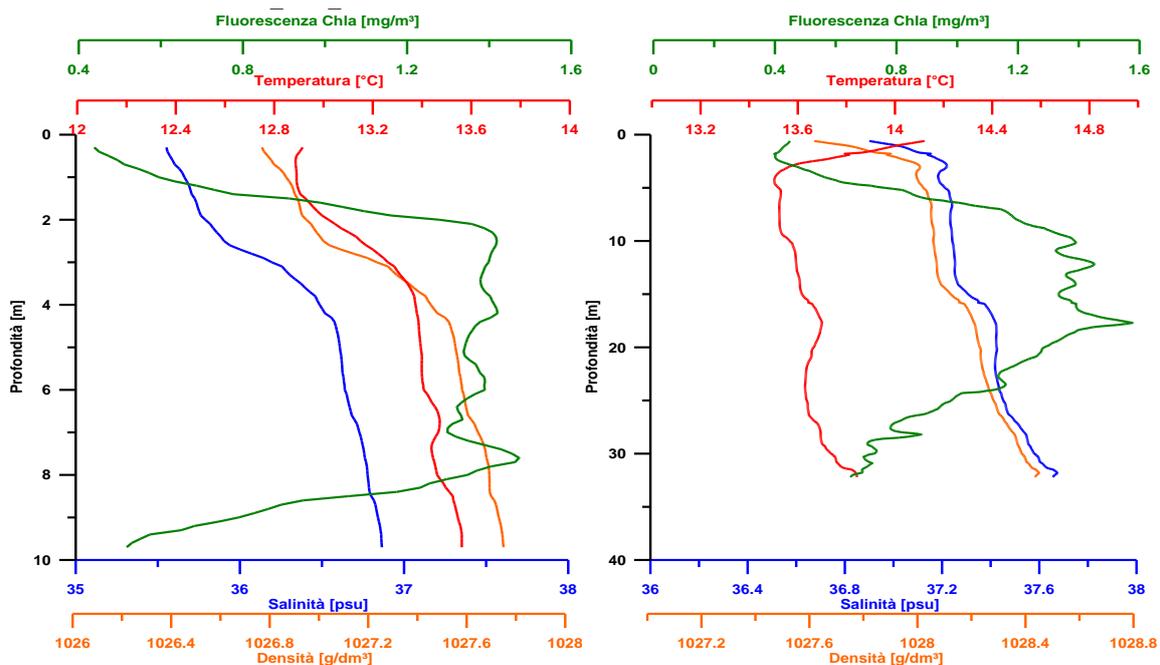


Fig. 6.25 : Rappresentazione dell'andamento di temperatura, salinità, densità e fluorescenza della clorofilla *a* in funzione della profondità nelle stazioni SM10, a sinistra, e SM04, a destra

Dall'analisi della distribuzione della temperatura è possibile osservare che l'andamento lungo la colonna d'acqua varia con il passare del tempo: la prima stazione, SM10, effettuata alle 8:26 presenta un profilo verticale con valori minimi in superficie di 12.9°C, e massimi sul fondo di 13.6°C. A partire dalla stazione SM06 il profilo di temperatura si inverte per effetto del riscaldamento superficiale; mentre la parte più profonda mantiene una temperatura costante, di circa

13.6°C, la parte superficiale, raggiunge i 14.5°C nella stazione SM01.

Anche in questa campagna è possibile osservare in quasi tutte le stazioni un massimo profondo di clorofilla compreso tra 5 m e 16 m, in accordo con i trend stagionali. In generale la fluorescenza della biomassa fitoplanctonica varia tra valori minimi di 0.12 e massimi di 1.55.

Di seguito vengono riportate le concentrazioni di solido sospeso e clorofilla *a* ottenute dall'analisi dei campioni di acqua superficiali. Nella campagna SUD_1 le concentrazioni di solido sospeso variano tra 3.3 mg/l e 19.8 mg/l, mentre per quanto attiene le concentrazioni di clorofilla *a*, i valori sono compresi tra 0.87 µg/l e 1.67 µg/l, come osservabile rispettivamente nelle figure 6.26 e 6.27.

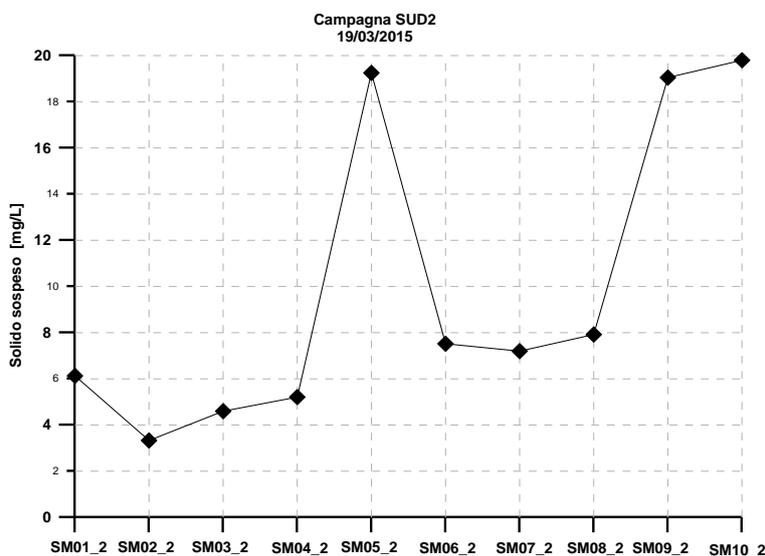


Fig. 6.26 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

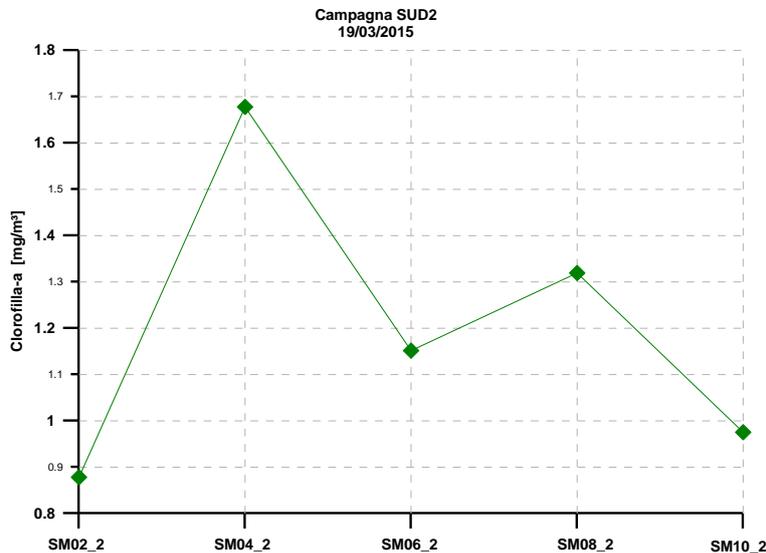


Fig. 6.27 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

Campagna NORD_2

La seconda campagna di misura nell'area a Nord è stata effettuata il giorno 08.04.2015. In corrispondenza di ciascuna stazione sono stati effettuati profili verticali con sonda multiparametrica e sono stati raccolti campioni di acqua superficiale e di fondo per un totale di 13 campioni di acqua per l'analisi del solido sospeso, 6 campioni per l'analisi della clorofilla *a* e 2 campioni per l'analisi dei macronutrienti.

I dati raccolti mediante sonda multiparametrica sono stati processati e riportati in grafici che rappresentano i profili delle singole variabili in funzione della profondità. Di seguito vengono riportati i grafici maggiormente rappresentativi della campagna NORD_2; i profili di tutte le stazioni vengono riportati nell'Allegato B.

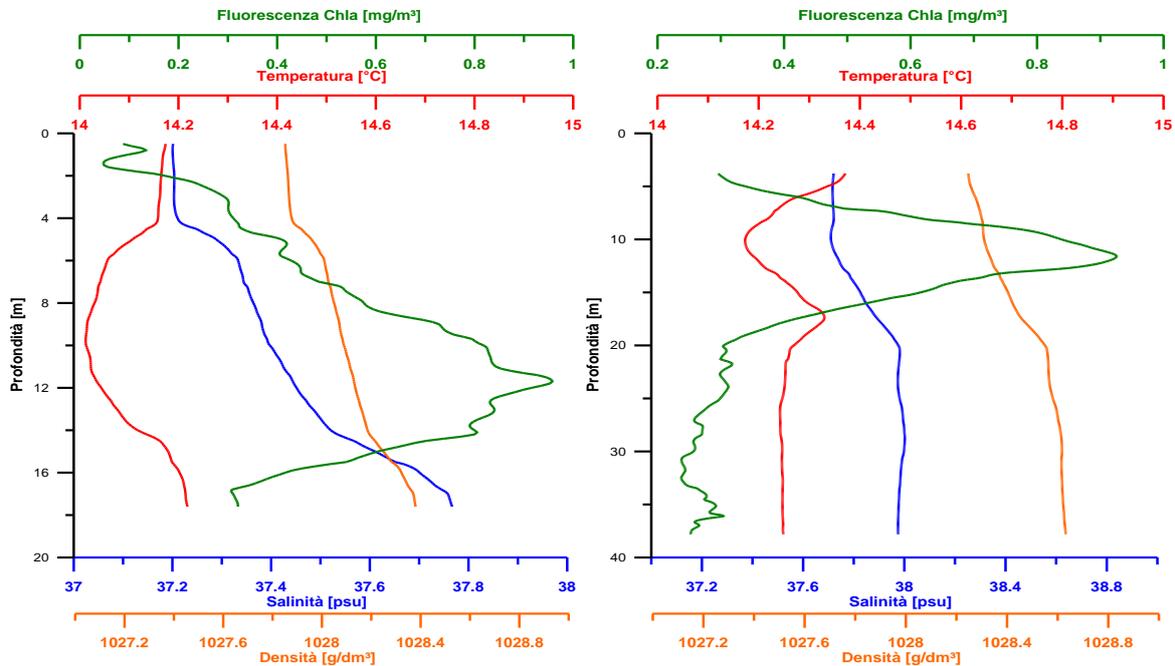


Fig. 6.28 : Rappresentazione dell'andamento di temperatura, salinità, densità e fluorescenza della clorofilla *a* in funzione della profondità nelle stazioni NM02, a sinistra, e NM08, a destra

Dall'analisi della distribuzione delle variabili lungo la colonna d'acqua è possibile osservare che i valori di temperatura variano tra un minimo di 14°C ed un massimo di 14.7°C; in generale si osserva che gli strati più superficiali presentano valori più elevati di temperatura. La salinità e la densità presentano valori minimi negli strati superficiali e massimi sul fondo.

Anche in questa campagna è possibile osservare in quasi tutte le stazioni un massimo profondo di clorofilla compreso tra 6m e 12m. In generale la fluorescenza della biomassa fitoplanctonica varia tra valori minimi di 0.05 e massimi di 1.

Di seguito vengono riportate le concentrazioni di solido sospeso e di clorofilla *a* ottenute dall'analisi dei campioni di acqua superficiale. Nella campagna SUD_1 le concentrazioni di solido sospeso variano tra 4.8 mg/l e 7.6 mg/l, mentre per quanto attiene le concentrazioni di clorofilla *a*, i valori sono compresi tra 0.16 µg/l e 0.41 µg/l, come osservabile rispettivamente nelle figure 6.29 e 6.30.

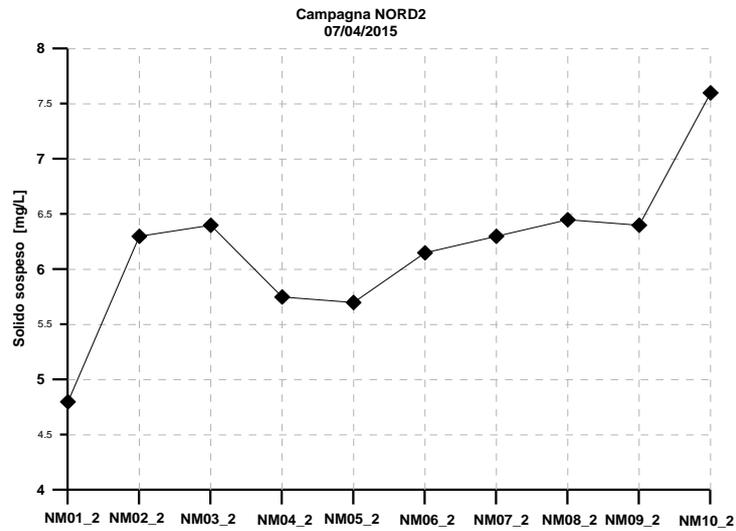


Fig. 6.29 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

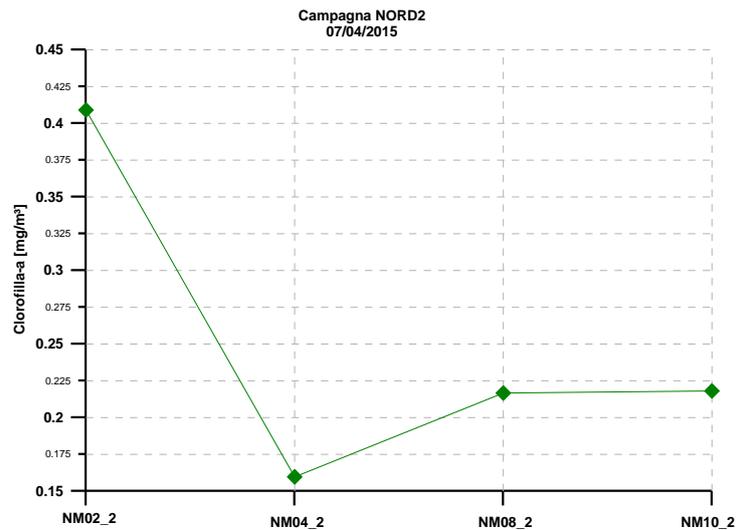


Fig. 6.30 : Valori delle concentrazioni di clorofilla a per ciascuna stazione

Di seguito vengono rappresentati i grafici di confronto temporale tra le concentrazioni di solido sospeso e di clorofilla a.

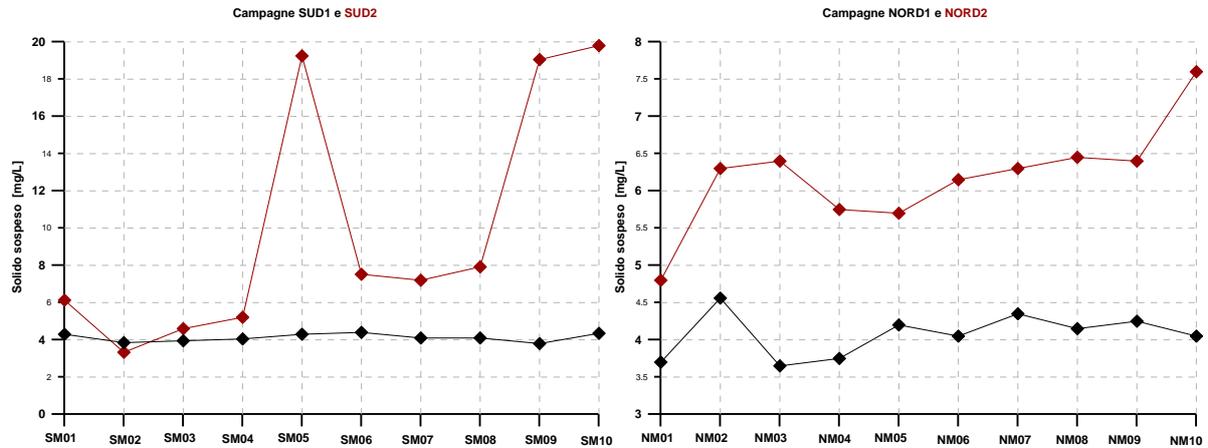


Fig. 6.31 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

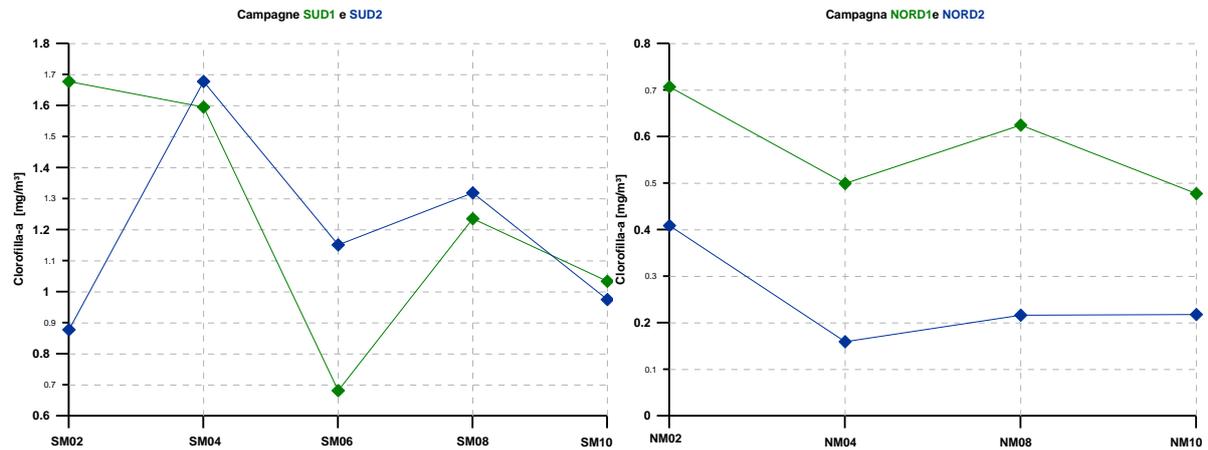


Fig. 6.32 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

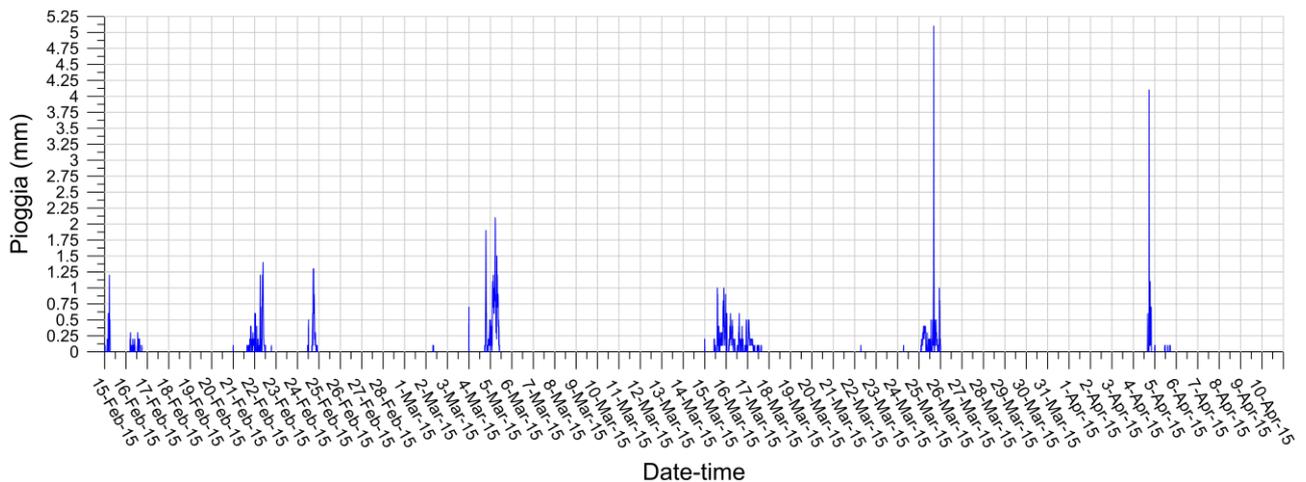


Fig. 6.33 : Andamento dei dati pluviometrici acquisiti dalla stazione meteorologica dell'Autorità Portuale all'interno del Porto di Civitavecchia

Dal confronto tra le concentrazioni di solido sospeso e clorofilla *a* ottenute dai campioni raccolti nei diversi periodi, è evidente che le campagne SUD_2 e NORD_2 presentano valori più elevati, soprattutto per quanto attiene il solido sospeso, rispetto alle campagne SUD_1 e NORD_1. Questo è dovuto ad eventi di pioggia intensa che si sono verificati nel periodo immediatamente precedente alle campagne SUD_2 e NORD_2, come mostrato nel grafico di Figura 6.33.

Indice TRIX

In due stazioni selezionate all'interno di ciascun piano di campionamento sono state effettuate specifiche misure e campionamenti di acqua superficiale per calcolare l'indice trofico TRIX, come descritto nel paragrafo 5.1.3.

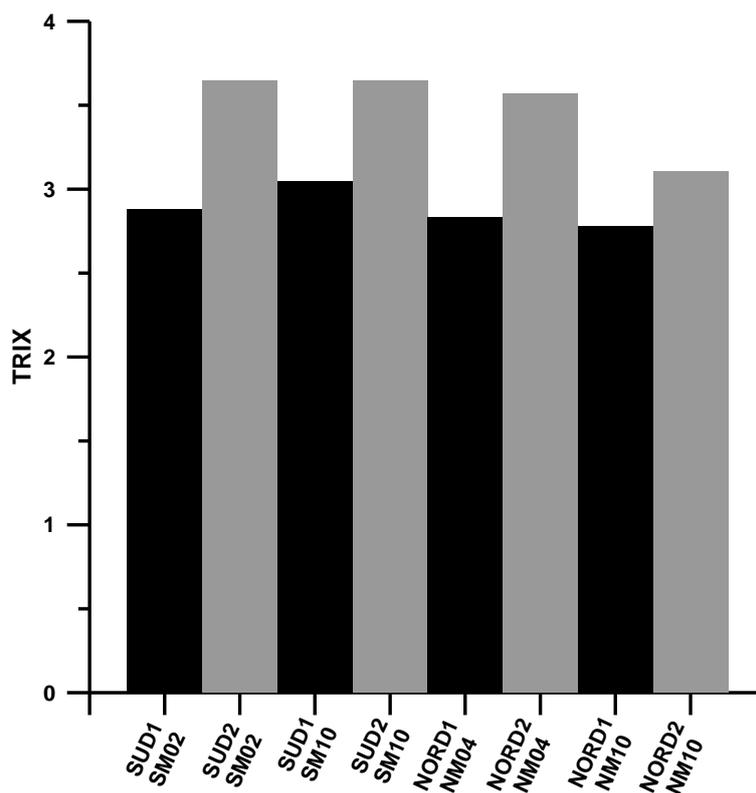


Fig. 6.34 : Valori ottenuti dal calcolo dell'indice TRIX

Dai risultati ottenuti è evidente che i valori di TRIX calcolati in tutte le stazioni, durante tutte le campagne di misura, ricadono ampiamente nella classe 'Stato Ambientale Elevato'.

Osservazioni satellitari

Infine si riportano due mappe esemplificative della distribuzione della clorofilla *a* e del solido sospeso elaborate dai dati satellitari di MODIS Aqua.

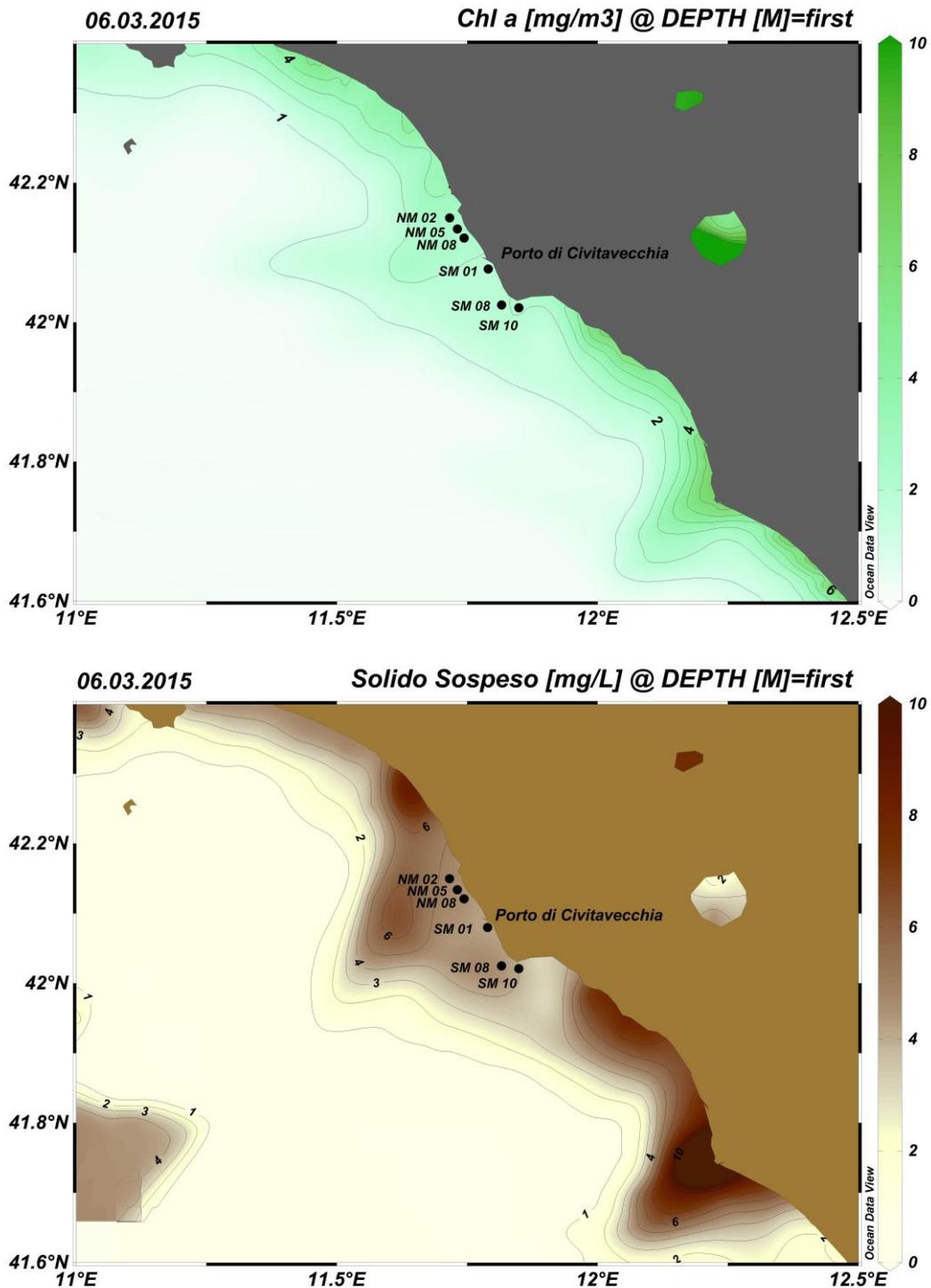


Fig. 6.35 : Distribuzione di chl_a e solido sospeso ottenuto dall'elaborazione di dati satellitari.

Tutte le immagini elaborate sono riportate nell'Allegato B.

Di seguito sono riportati i valori delle concentrazioni di clorofilla *a* e solido sospeso, estratti dai dati satellitari, nel tempo. Nelle figure 6.36 e 6.38 sono riportati i valori di clorofilla *a* e di solido sospeso corrispondenti alle stazioni NM02, NM05, NM08 dell'area Nord; nelle figure 6.37 e 6.39 sono riportati i valori di clorofilla *a* e di solido sospeso corrispondenti alle stazioni SM01, SM08, SM10 dell'area Sud.

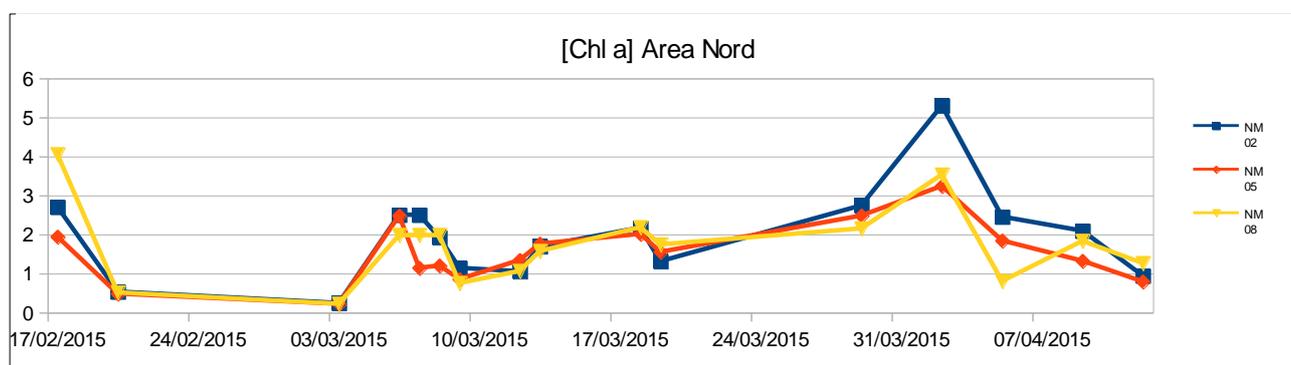


Fig. 6.36 : Concentrazione di clorofilla *a* ottenuta dai dati satellitari nelle stazioni NM02, NM05 ed NM08 nell'area Nord

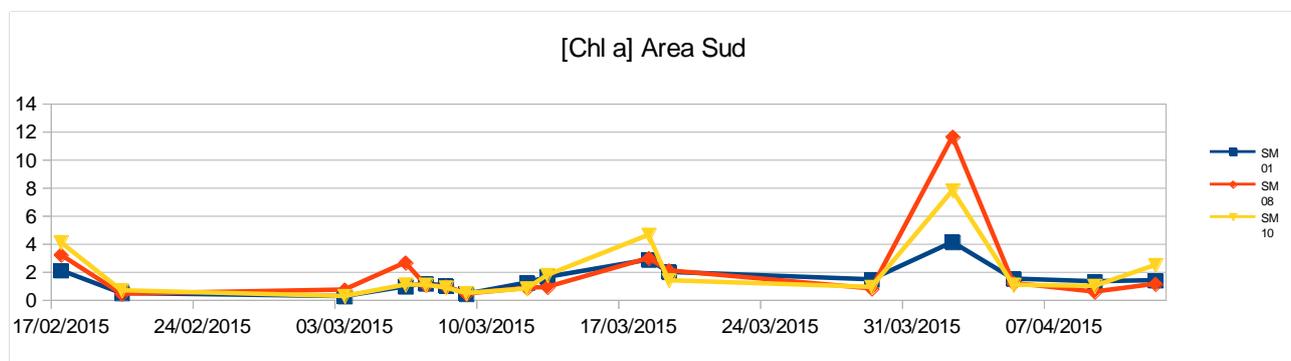


Fig. 6.37 : Concentrazione di clorofilla *a* ottenuta dai dati satellitari nelle stazioni SM01, SM08 ed SM10 nell'area Sud

Dall'analisi dell'andamento temporale della clorofilla *a* nelle stazioni NM02, NM05 e NM08 dell'area Nord è possibile osservare che le concentrazioni ottenute dall'elaborazione dei dati satellitari variano tra 0.22 µg/l e 5.3 µg/l. Per quanto attiene le concentrazioni delle stazioni SM01, SM08 e SM10 dell'area Sud i valori variano tra 0.25 µg/l e 11.63 µg/l. Gli andamenti di entrambi i grafici confermano l'aumento delle concentrazioni di clorofilla *a* ottenuto dai dati analitici, che mostrano un picco nel secondo periodo di campionamento (campagne SUD_2 e NORD_2).

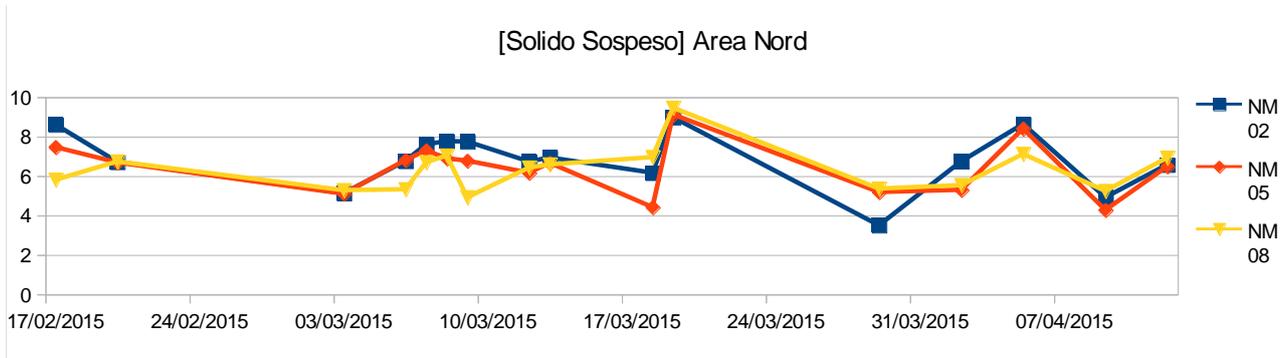


Fig. 6.38 : Concentrazione di solido sospeso ottenuta dai dati satellitari nelle stazioni NM02, NM05 ed NM08 nell'area Nord

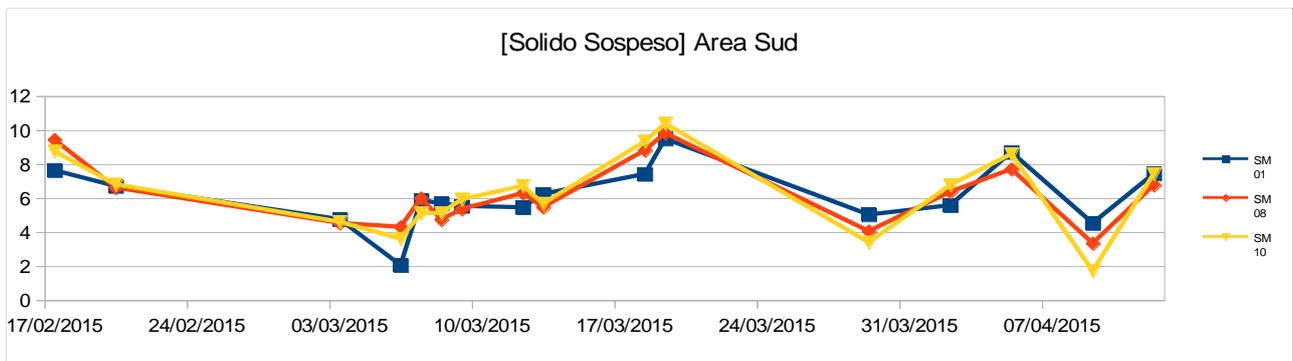


Fig. 6.39 : Concentrazione di solido sospeso ottenuto dai dati satellitari nelle stazioni SM01, SM08 ed SM10 nell'area Sud

Dall'analisi dell'andamento temporale del solido sospeso nelle stazioni NM02, NM05 e NM08 dell'area Nord è possibile osservare che le concentrazioni ottenute dall'elaborazione dei dati satellitari variano tra 3.49 mg/l e 9.45 mg/l. Per quanto attiene le concentrazioni delle stazioni SM01, SM08 e SM10 dell'area Sud i valori variano tra 1.7 mg/l e 10.38 mg/l. Come per la clorofilla a anche per il solido sospeso è confermato l'aumento delle concentrazioni ottenuto dai dati analitici, che mostrano valori più elevati nel secondo periodo di campionamento (campagne SUD_2 e NORD_2).

6.4. Analisi del rateo di sedimentazione nei SIC

Nelle tabelle 6.5, 6.6 e 6.7 sono riportati rispettivamente i risultati relativi alla caratterizzazione granulometrica del contenuto delle trappole per sedimento installate nel SIC Nord e nel SIC Sud, il valore di rateo deposizionale giornaliero e di rateo deposizionale annuale della frazione pelitica. Dal momento che per ogni stazione sono state considerate tre trappole posizionate ai limiti interni, esterni e la centro della prateria di P.oceanica, i risultati esprimono medie ricavate in funzione del numero di trappole utilizzabili per il calcolo.

Stazione	Ghiaia (μm)		Sabbia (μm)				Pelite (μm)		Totale
	2000	1000	500	250	125	63	< 63		
Pos 04 A	16.5	39.3	62.7	53.7	35.6	11.2	6.6	225.6	
Pos 04 B	8.0	29.2	79.6	77.8	55.2	17.7	6.3	273.8	
Pos 04 C	27.8	84.5	152.7	98.7	58.4	14.1	5.5	441.8	
Pos 21 A	0.9	7.6	10.4	12.2	12.1	6.9	3.4	53.5	
Pos 21 B	0.2	1.5	2.3	15.8	12.4	11.4	5.7	49.3	
Pos 21 C	0.9	3.1	6.9	14.0	16.9	10.4	3.3	55.6	
Pos 05 A	437.0	946.1	385.8	8.1	4.2	3.4	1.4	1785.9	

Tab.6.5: Pesi trattenuti (g) per gli intervalli granulometrici considerati per le stazioni della prateria settentrionale

Stazione	Ghiaia (μm)		Sabbia (μm)				Pelite (μm)		Totale
	2000	1000	500	250	125	63	< 63		
Pos 12 A	228.7	1033.6	960.2	294.9	126.1	63.7	42.1	2749.2	
Pos 12 B	359.5	962.0	894.8	297.7	129.1	61.7	32.5	2737.3	
Pos 9 A	142.2	484.1	280.7	72.2	44.7	29.7	12.7	1066.2	
Pos 9 B	310.9	744.5	288.5	90.6	49.5	9.1	0.7	1493.8	
Pos 7 A	341.5	441.9	247.3	220.7	121.0	27.8	24.8	1425.0	
Pos 7 B	550.7	371.9	206.4	113.9	64.1	18.0	8.3	1333.3	

Tab.6.6 : Pesi trattenuti (g) per gli intervalli granulometrici considerati per le stazioni della prateria meridionale

Stazioni	Totale [g/m ² /d]	ghiaia [g/m ² /d]	sabbia [g/m ² /d]	pelite [g/m ² /d]	pelite [g/m ² /yr]
POS21	52.8	0.7	48.1	4.1	1513.0
POS05	1785.9	437	1347.6	1.4	519.7
POS04	313.7	17.4	290.2	6.1	2237.2
POS07	1122.5	347.6	762.4	12.5	4555.8
POS09	1280	226.6	1046.7	6.7	2430.7
POS12	2743.3	294.1	2411.9	37.3	13614.1

Tab.6.7 : Ratei sedimentari giornalieri medi per unità di superficie (g/m²/d) e stima del rateo annuale della frazione pelitica (g/m²/yr)

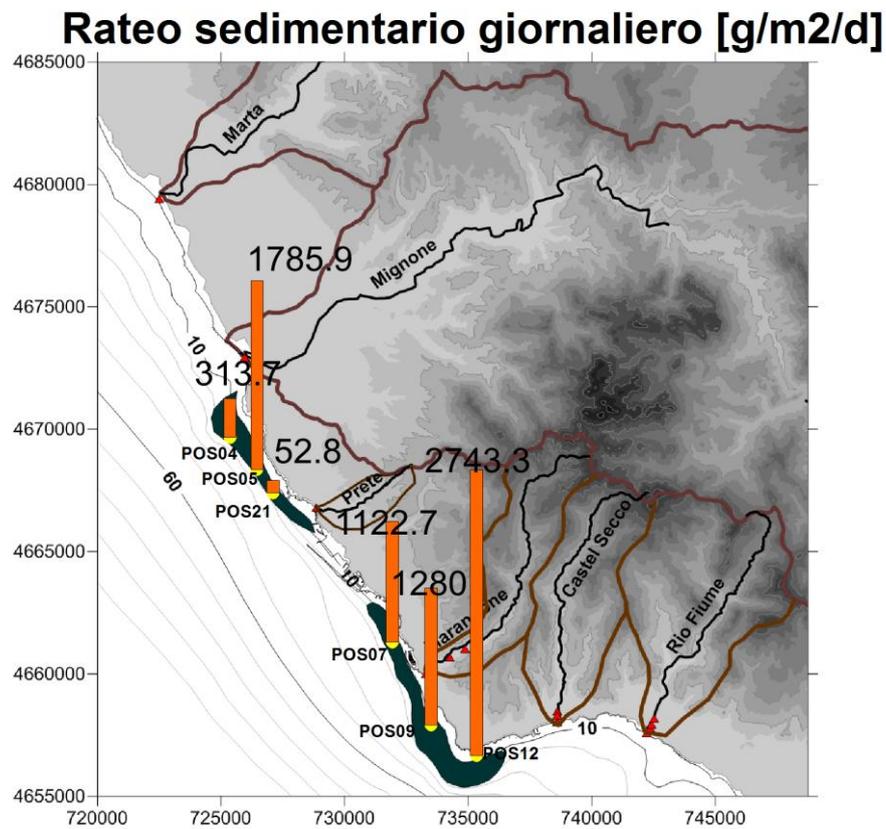


Fig.6.40 : Rateo sedimentario giornaliero nelle stazioni di campionamento (valore medio)

I risultati del rateo giornaliero totale (Fig. 6.40) mostrano un pattern di distribuzione con valori mediamente più alti nel SIC a sud del Porto di Civitavecchia rispetto alla prateria di *P.oceanica* del settore settentrionale. Nel dettaglio, il valore massimo riscontrato coincide con la stazione POS12, ubicata a sud di Capo Linaro (2743.3 g/m²/d) mentre la stazione POS21, del SIC settentrionale, mostra il valore minimo (52.8 g/m²/d). Per la prateria a sud del Porto di Civitavecchia è identificabile un andamento decrescente dei valori del rateo sedimentario in direzione del Porto di Civitavecchia mentre la prateria a nord mostra un picco deposizionale alla stazione POS05 (1785.9 g/m²/d).

Dai valori dei ratei giornalieri totali è stato possibile ricavare le deposizioni medie per unità di superficie per le tre classi tessiturali considerate (ghiaia, sabbia e pelite).

I ratei deposizionali della frazione ghiaiosa (Fig. 6.41) mostrano un pattern di distribuzione con massimo coincidente con la stazione POS06 (437 g/m²/d) e minimo coincidente con la stazione POS21 (0.7 g/m²/d). In generale la frazione ghiaiosa mostra un andamento dei valori

sovrapponibile ai risultati dei ratei sedimentari totali con l'eccezione del SIC meridionale in cui non si nota alcun gradiente di distribuzione essendo il massimo deposizionale coincidente, per questo settore, con la stazione POS07 (347.6 g/m²/d).

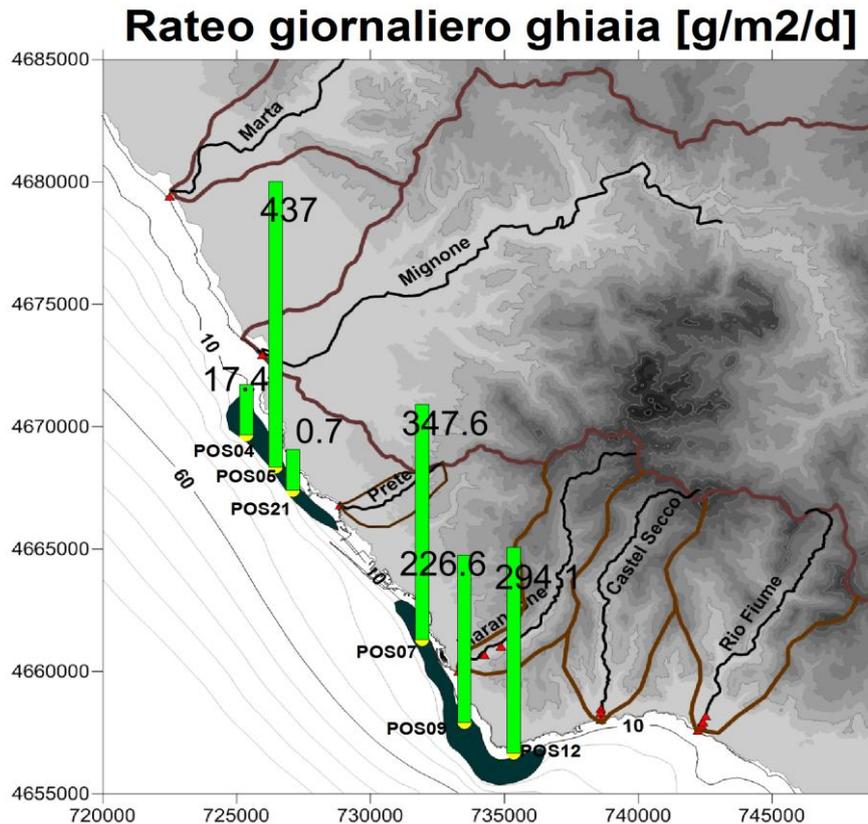


Fig.6.41 : Rateo sedimentario giornaliero della frazione ghiaiosa nelle stazioni di campionamento (valore medio)

La distribuzione dei ratei sedimentari della frazione sabbiosa (Fig.6.42) ricalca il pattern già evidenziato dai valori totali, con massimo alla stazione POS12 (2411.9 g/m²/d) e minimo alla stazione POS21 (48.1 g/m²/d). E' apprezzabile un gradiente decrescente verso nord per la prateria meridionale ed è confermato il massimo alla stazione POS06 (1347.6 g/m²/d) per la prateria settentrionale.

I ratei giornalieri della frazione pelitica (< 63 μm) mostrano un massimo deposizionale alla stazione POS12 (37.3 g/m²/d) e un minimo alla stazione POS06 (1.4 g/m²/d) (Fig.6.43). Non si evincono gradienti nella distribuzione spaziale rispetto alle praterie considerate e in generale i valori

mostrano un rateo deposizionale sensibilmente più elevato nella prateria meridionale rispetto a quella settentrionale. I valori riscontrati in POS07 (12.5 g/m²/d) e in POS04 (6.1 g/m²/d) sembrerebbero comunque indicare una certa influenza degli apporti relativi, rispettivamente, al torrente Marangone e al fiume Mignone.

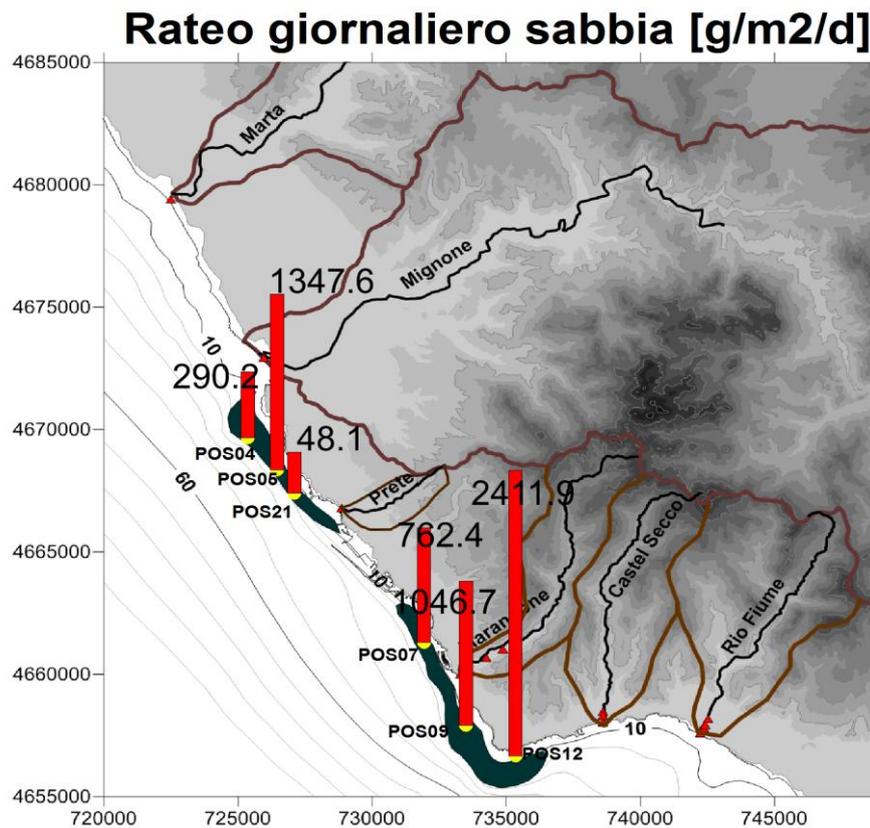


Fig.6.42 : Rateo sedimentario giornaliero della frazione sabbiosa nelle stazioni di campionamento (valore medio)

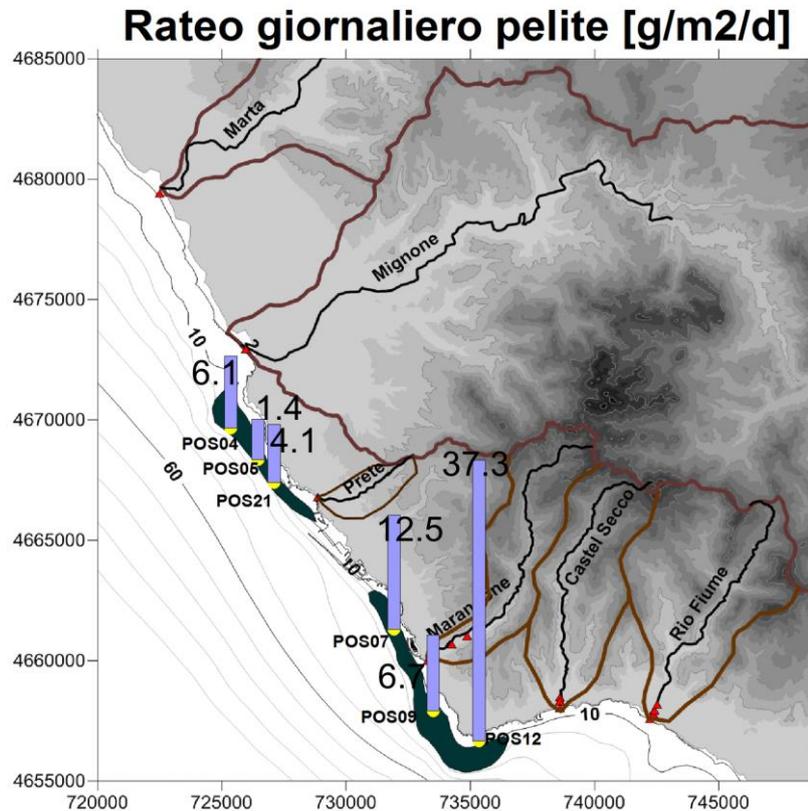


Fig. 6.43 : Rateo sedimentario giornaliero della frazione pelitica nelle stazioni di campionamento (valore medio)

Attraverso la misura dei ratei pelitici giornalieri è stata ricavata una stima dei ratei pelitici annuale (Fig. 6.44). Il pattern di distribuzione dei valori, pur considerando che la proiezione è basata su misure effettuate durante una sola stagione, conferma un tasso deposizionale maggiore per il SIC a sud del Porto di Civitavecchia rispetto al settore settentrionale. Il massimo deposizionale è nella stazione POS12 (13614 g/m²/yr) e il minimo è alla stazione POS05 (519 g/m²/yr).

In generale, a parte il valore di picco alla stazione POS12, si evidenzia una probabile influenza del torrente Marangone a sud (stazione POS07, 4555.8 g/m²/yr) e in misura minore dell'area del delta del Mignone (stazione POS04, 2237.2 g/m²/yr).

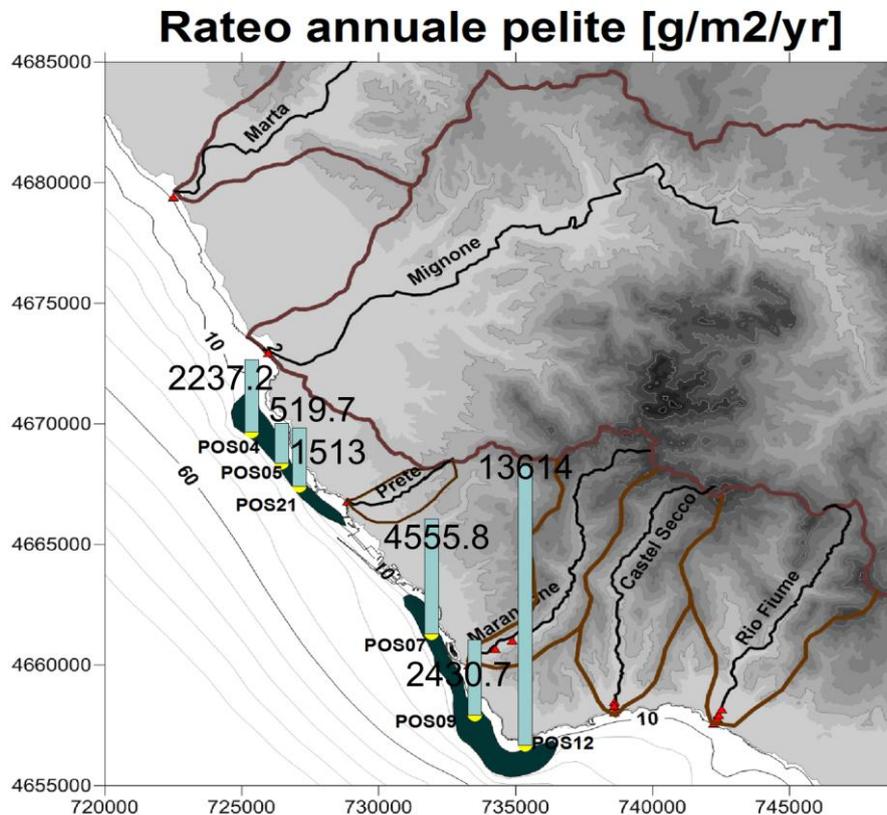


Fig.6.44 : Rateo sedimentario annuale della frazione pelitica nelle stazioni di campionamento (valore medio)

In tabella 6.8 e figura 6.45 sono stati analizzati i valori percentuali delle frazioni granulometriche considerate (ghiaia, sabbia e pelite) rispetto al totale dei ratei deposizionali misurati.

La percentuale minima di frazione ghiaiosa è alla stazione POS21 (1.3%), mentre il valore massimo è alla stazione POS07 (31%). La frazione sabbiosa presenta il massimo percentuale alla stazione POS04 (92.5%) e minimo alla stazione POS05 (75.5%) mentre la frazione pelitica ha massimo percentuale alla stazione POS21 (7.6%) e minimo alla stazione POS05 (0.1%). In generale le stazioni del SIC settentrionale, pur presentando ratei deposizionali minori rispetto alle stazioni meridionali, presentano un maggiore contributo percentuale della frazione pelitica. La distribuzione delle percentuali delle classi considerate confermano quindi un maggior idrodinamismo nel settore meridionale ed una influenza maggiore dell'apporto continentale per la zona nord dell'area di studio. Tutti i campioni considerati presentano comunque una predominanza delle granulometrie sabbiose.

Stazioni	% ghiaia	% sabbia	% pelite
POS21	1.3	91.1	7.6
POS05	24.5	75.5	0.1
POS04	5.5	92.5	1.9
POS07	31.0	67.9	1.1
POS09	17.7	81.8	0.5
POS12	10.7	87.9	1.4

Tab.6.8 : Percentuali delle classi considerate sul rateo totale misurato

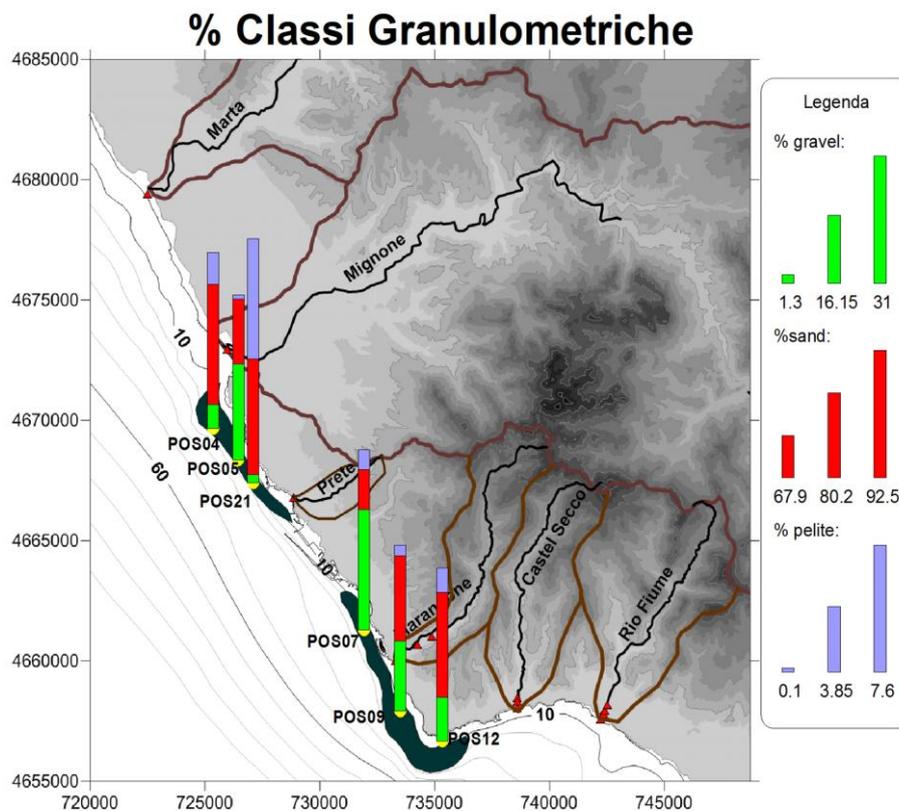


Fig. 6.45 : Distribuzione delle percentuali delle tre classi granulometriche considerate nelle stazioni di campionamento

Al fine di comprendere al meglio i risultati delle trappole sedimentarie è necessario osservare l'andamento delle forzanti meteorologiche durante il periodo di acquisizione.

Le condizioni meteorologiche che si sono verificate durante il periodo 19/02 – 15/04/2015 sono riassunte in figura 6.46. Per quanto riguarda le condizioni meteorologiche di vento e pioggia è stato possibile reperire una serie completa mentre per quanto riguarda le condizioni ondose i dati disponibili sono relativi a periodo 19/02 – 27/02 e 02/03 – 31/03/2015.

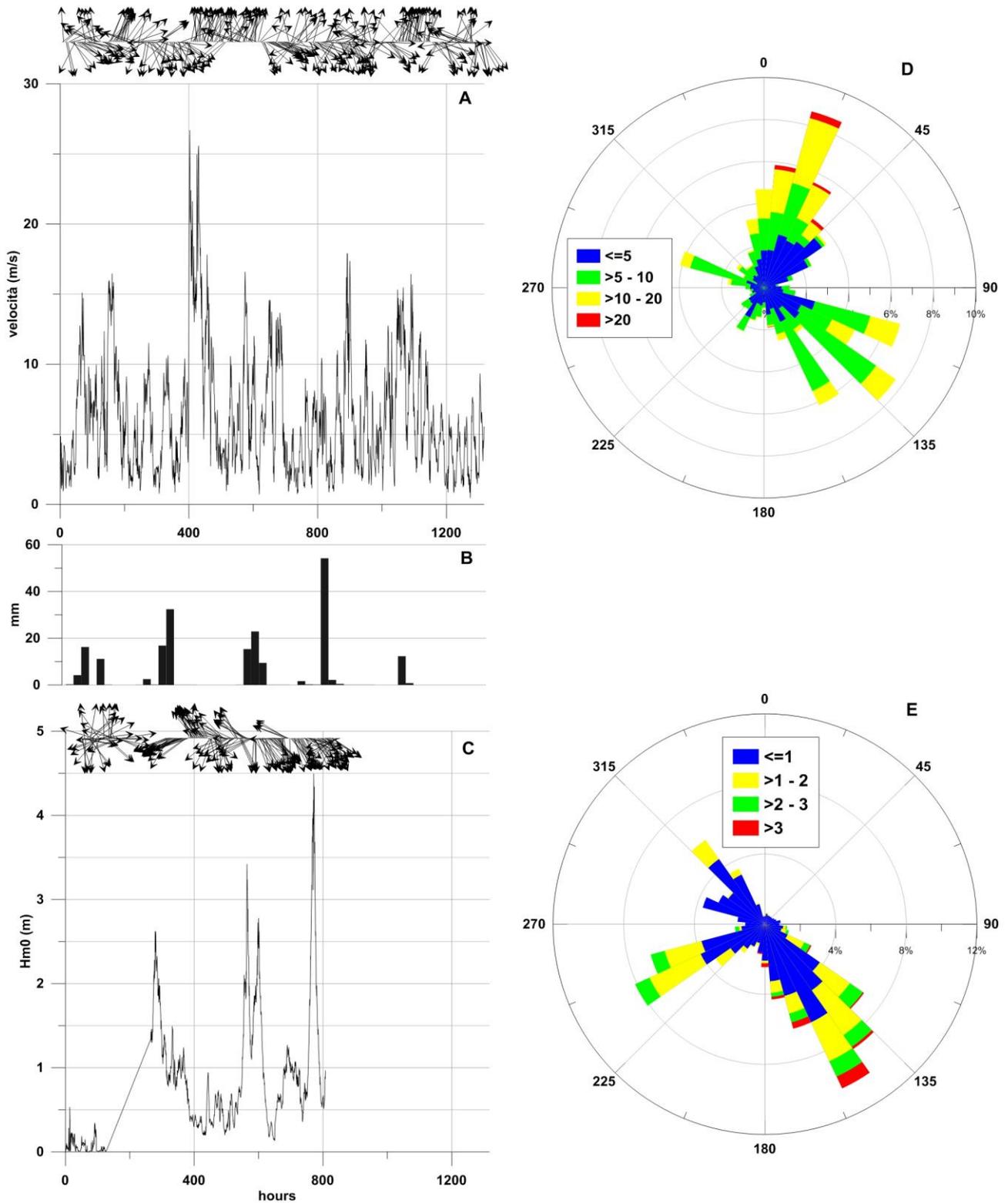


Fig. 6.46: Condizioni meteomarine che si sono verificate durante il periodo di permanenza delle trappole di sedimenti. A) Serie temporale anemometrica, B) Serie temporale pluviometrica, C) Serie temporale ondometrica, D) Clima anemometrico, E) Clima ondoso.

Per quanto riguarda le piogge è stato rappresentato l'andamento pluviometrico nei diversi bacini idrografici presi in esame in cui sono stati analizzati i dati di tutti i pluviometri presenti del servizio idrografico della Regione Lazio. Dall'elaborazione dei dati sono state ottenute le mappe di distribuzione della precipitazione cumulata e del numero di giorni di pioggia (Fig. 6.47).

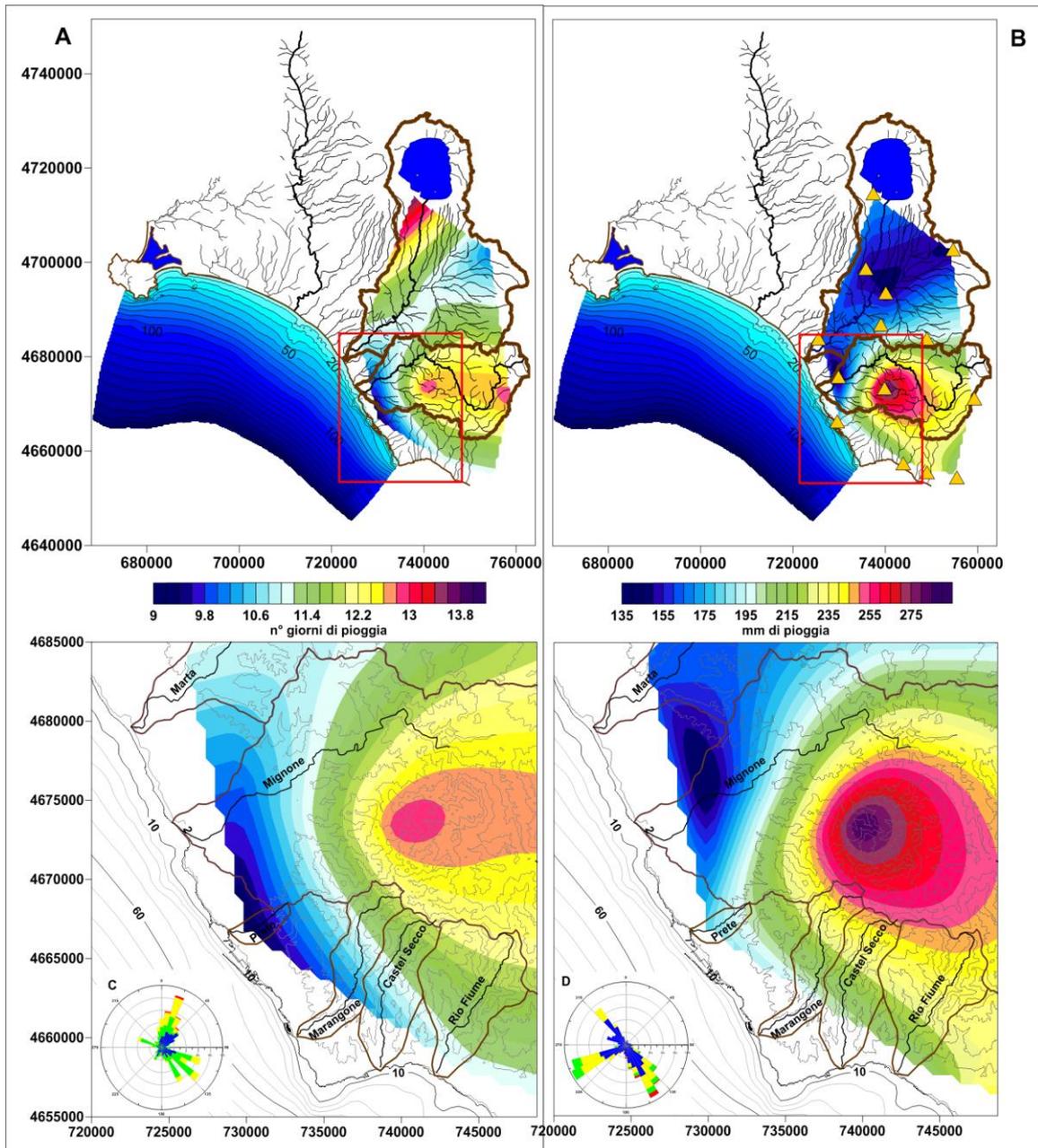


Fig. 6.47 : Distribuzione del regime pluviometrico occorso nel periodo di campionamento. I triangoli gialli indicano le stazioni pluviometriche considerate.

Dalle mappe è visibile una concentrazione dei fenomeni piovosi nel settore meridionale dell'area di studio rispetto alla parte settentrionale, in particolare lungo il versante sud del complesso montuoso dei monti della Tolfa dove si raggiungono massimi valori in corrispondenza della sommità. Tale comportamento è riconducibile all'effetto orografico sulle perturbazioni provenienti dai quadranti meridionali che risultano gli eventi prevalenti durante l'arco temporale considerato. I fenomeni piovosi sono legati a 3 eventi di mareggiata che si sono verificati durante il periodo di permanenza delle trappole sedimentarie. Le caratteristiche di queste tre mareggiate sono riassunte in tabella 6.9

Parametri/N° Evento	1	2	3
Data inizio	02/03/2015	15/03/2015	25/03/2015
Durata (hr)	27.00	54.00	22.00
Direzione media (°N)	243.65	141.39	151.11
Dev. Standard	5.51	15.18	19.21
H max (m)	2.62	3.42	4.50
H media (m)	1.93	1.94	2.96
Dev. Standard	0.39	0.50	0.86
Tp max (sec)	6.36	6.60	7.66
Tp medio (sec)	5.69	5.37	6.11
Dev. Standard	0.32	0.60	0.74

Tab.6.9 : Caratteristiche delle mareggiate che si sono verificate durante il periodo di permanenza delle trappole.

I tre eventi di forte intensità che hanno interessato l'area di studio sono stati caratterizzati da venti provenienti dai quadranti meridionali e con fenomeni di precipitazione della durata di circa 22 – 54 ore. In particolare l'evento proveniente da Scirocco è stato quello con maggiore intensità in cui il moto ondoso ha raggiunto altezze di oltre 4 m ed in cui si sono verificate precipitazioni di oltre 50 mm in un giorno. Durante il periodo di permanenza delle trappole sedimentarie si è inoltre verificato anche un intenso fenomeno proveniente da Maestrale (NW) in cui si sono raggiunte le intensità maggiori di circa 25 m/s in assenza di precipitazioni.

In generale tutti i campioni ottenuti dalle trappole di sedimento mostrano una forte influenza delle granulometrie sabbiose e ghiaiose che possono essere ricondotte alla risospensione del materiale del fondo. In particolare, i valori massimi del rateo deposizionale totale, coincidenti con la stazione POS12, che riguardano anche la frazione pelitica, sono presumibilmente influenzati dalla risospensione di materiale autoctono a causa delle particolari condizioni meteomarine accadute durante la campagna di campionamento. L'elevata componente organogena dei clasti, risulta inoltre

in accordo con i dati presenti in letteratura (Frezza et al., 2011).

I valori deposizionali mediamente più alti per il SIC meridionale hanno quindi una spiegazione plausibile che implica:

- ⤴ la maggiore presenza di fondali rocciosi meso e infralitorali, nella parte meridionale, che comporta una maggiore presenza di frammenti di origine animale e vegetale (foramol, frammenti di briozoi e di alghe calcaree) che sono soggetti a risospensione e trasporto;
- ⤴ il fatto che le praterie del SIC meridionale sono localizzate prevalentemente su fondale sabbioso (zone di accumulo di materiale organogeno e terrigeno) e precoralligeno che ha presumibilmente favorito l'accumulo, nelle trappole utilizzate, per effetto della risospensione;
- ⤴ le condizioni idrodinamiche dell'area, in particolare della stazione POS12, limitrofa a Capo Linaro, e caratterizzata da una maggiore esposizione all'azione del moto ondoso;
- ⤴ gli eventi di scirocco, che hanno interessato il periodo di campionamento, favoriscono nel settore meridionale, data l'incidenza del moto ondoso, lo sviluppo di correnti trasversali e una componente longitudinale diretta verso Capo Linaro.

6.4.1 Analisi granulometria dei sedimenti all'interno delle praterie di *Posidonia oceanica*

I risultati dell'analisi granulometrica dei sedimenti, prelevati nelle 6 stazioni fisse di monitoraggio all'interno dei due SIC d'interesse, mostrano sedimenti in gran parte appartenenti alle classi granulometriche delle ghiaie (2 mm - 64 mm) e delle sabbie (0.063 mm – 2 mm) e percentuali minime di sedimento fine (pelite < 1 %) (Tab. 6.10). In particolare, la stazione POS21 mostra il maggior contenuto di ghiaie (82.56 % del campione totale) mentre nella stazione POS12 è stata riscontrata la maggior percentuale di sabbie (96 % del campione totale).

Al fine della descrizione puntuale dei singoli campioni di sedimento analizzati, sono stati calcolati diversi parametri statistici: la deviazione standard (S), l'indice di asimmetria (Sk) e il coefficiente di Kurtosis. In generale è stata riscontrata una forte uniformità dei risultati in tutte le stazioni di campionamento.

I risultati del calcolo della deviazione standard (S) mostrano una forte uniformità nella distribuzione del diametro delle particelle in ogni campione di sedimento analizzato (sedimento moderatamente classato).

I valori ottenuti dal calcolo dell'indice di asimmetria (Sk) mostrano distribuzioni granulometriche con asimmetria positiva verso le frazioni granulometriche più fini in quasi tutte le stazioni di campionamento ad eccezione delle stazioni POS12 e POS21 che mostrano una lieve asimmetria negativa.

Inoltre, in tutti i campioni di sedimento analizzati è stata riscontrata una bassa dispersione delle classi granulometriche attorno al valore modale (distribuzione leptocurtica).

In figura 6.48 sono riportate le curve granulometriche dei campioni prelevati nelle 6 stazioni fisse di monitoraggio.

Parametri	POS21	POS07	POS09	POS05	POS12	POS04
% Ghiaia	82.56	40.9	49.5	10.1	4	5.7
% Sabbia	17.41	59.91	50.5	89.9	96	94.2
% Pelite	0.03	0	0	0	0	0.1
Mz	4.898	1.896	2.191	1.307	1.017	0.932
S	3.73	0.227	0.283	0.189	0.207	0.514
Sk	-0.2	0.092	0.057	0.214	-0.194	0.12
Kg	0.752	0.904	0.833	0.936	0.777	1.114
D50	4.898	1.763	1.987	1.29	0.881	0.808
D90	1.266	1.013	1.043	0.646	0.55	0.283
D10	8.456	3.068	3.785	2.002	1.779	1.817

Tab. 6.10 :classi granulometriche dei campioni prelevati nelle 6 stazioni fisse di monitoraggio.

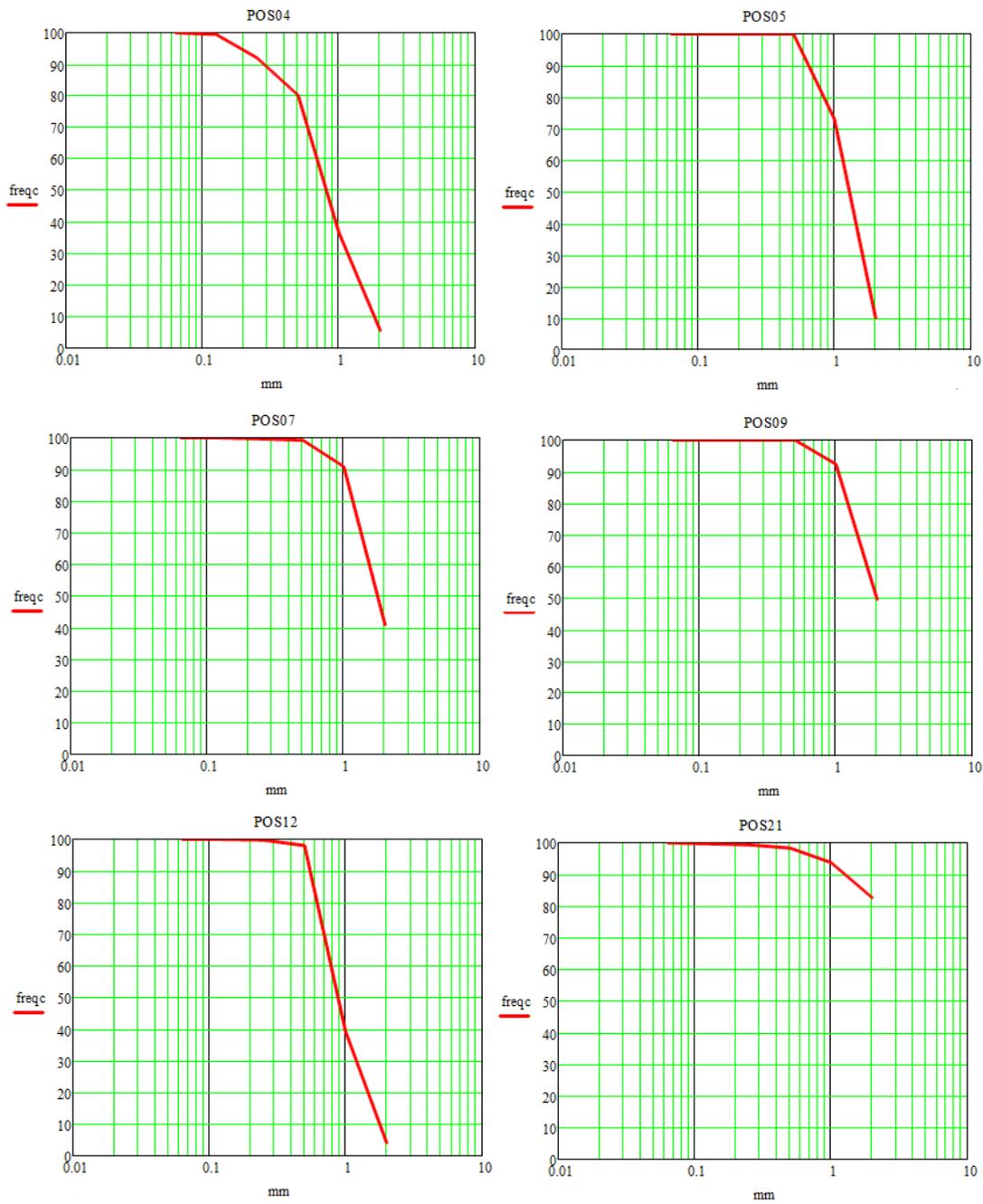


Fig. 6.48 : Curve granulometriche dei campioni prelevati nelle 6 stazioni fisse di monitoraggio.

6.4.2 Analisi della densità fogliare e fenologia delle praterie di *Posidonia oceanica*

In figura 6.49 sono riportati i risultati della densità (fasci fogliari per m²) delle praterie di *Posidonia oceanica*.

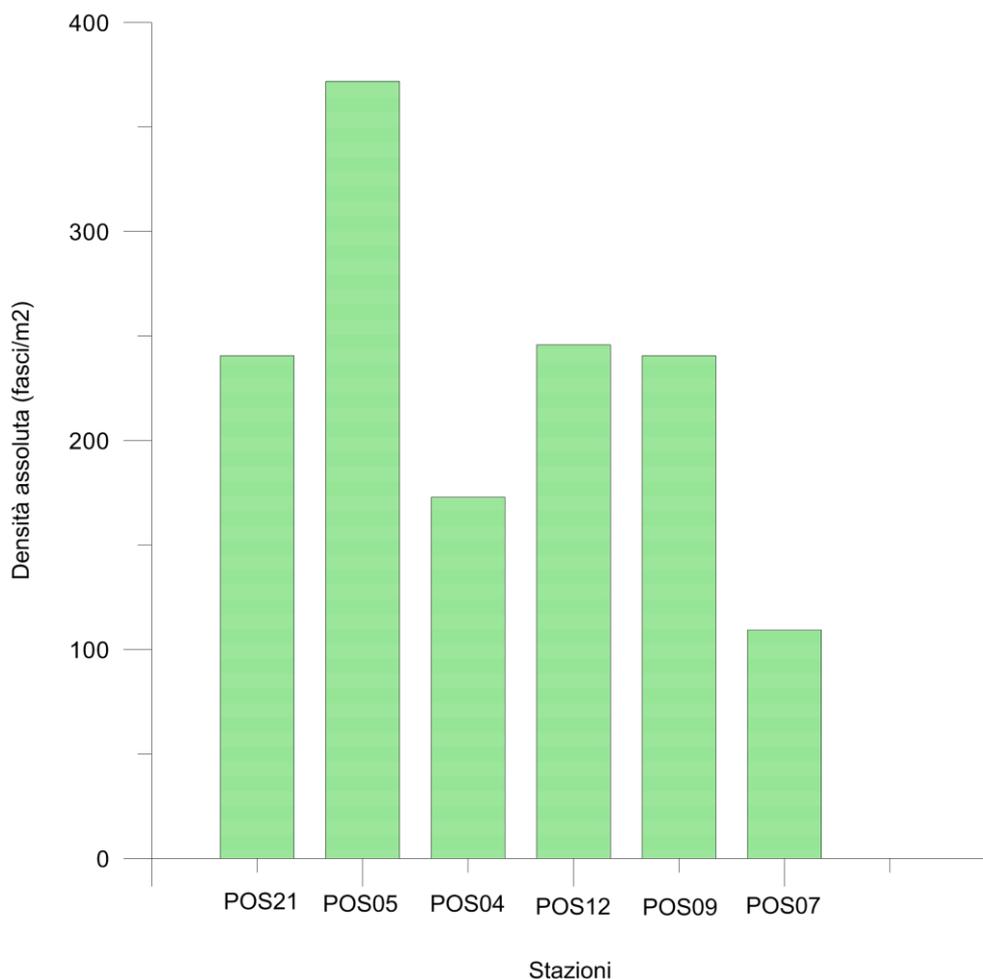


Fig. 6.49 : Densità assoluta nelle 6 stazioni monitorate

Per quanto riguarda il parametro di densità assoluta il valore medio più alto è stato registrato nella stazione POS05, situata nel SIC Nord, mentre il valore più basso è stato registrato nella stazione POS07, situata nel SIC Sud. Dalle analisi fenologiche non sono emerse differenze significative tra le stazioni relativamente al numero di foglie per fascio fogliare, alla larghezza media delle foglie ed ai rapporti tra le foglie appartenenti ai 3 diversi ranghi. Piccole differenze sono state registrate analizzando la lunghezza fogliare con range di valori che oscillano tra 13.4 cm (POS21) e 25.2 cm

(POS09). L'indice di superficie fogliare (LAI) varia tra 53.9 (POS21) e 116.7 (POS09). I valori di biomassa fogliare non hanno mostrato importanti variazioni tra le differenti stazioni.

6.5. Analisi delle simulazioni numeriche

Di seguito sono riportati i risultati relativi alle simulazioni numeriche relative al campo idrodinamico, al moto ondoso e alla dispersione del sedimento. I risultati delle simulazioni riportate in questo capitolo fanno riferimento allo scenario di Libeccio che rappresenta la condizione meteomarina dominante in questo settore del Mar Tirreno orientale. Le immagini relative agli altri scenari sono riportate in Allegato C (correnti marine), D (moto ondoso) e E (dispersione del sedimento).

6.5.1 Analisi delle correnti marine

In questo paragrafo sono descritti i risultati delle simulazioni che analizzano il campo idrodinamico superficiale indotto dall'effetto combinato di moto ondoso e vento in presenza di diversi scenari significativi per il tratto di costa in esame.

La validazione del modello DELFT3D-FLOW è stata effettuata utilizzando la corrente media nella colonna d'acqua in corrispondenza dei punti in cui sono stati misurati i profili di velocità con il correntometro ADCP. Il confronto tra valori misurati e quelli calcolati mostra una buona relazione con un valore del coefficiente di determinazione (R^2) pari a 0.85.

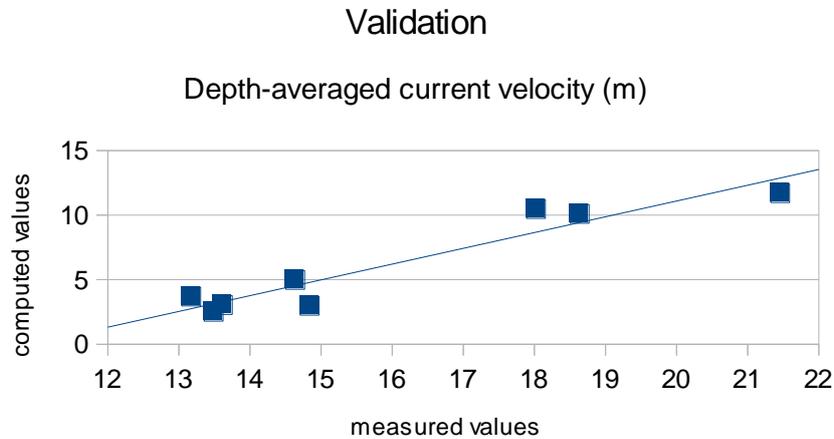


Fig. 6.50 : confronto tra dati misurati durante le campagne ADCP e dati calcolati dal modello DELFT3D-FLOW relativi all'altezza d'onda significativa.

Anche nella colonna d'acqua, il profilo di velocità calcolato dal modello DELFT3D-FLOW mostra lo stesso andamento rispetto a quello misurato in situ, anche se produce una leggera sovrastima dei valori a tutte le profondità.

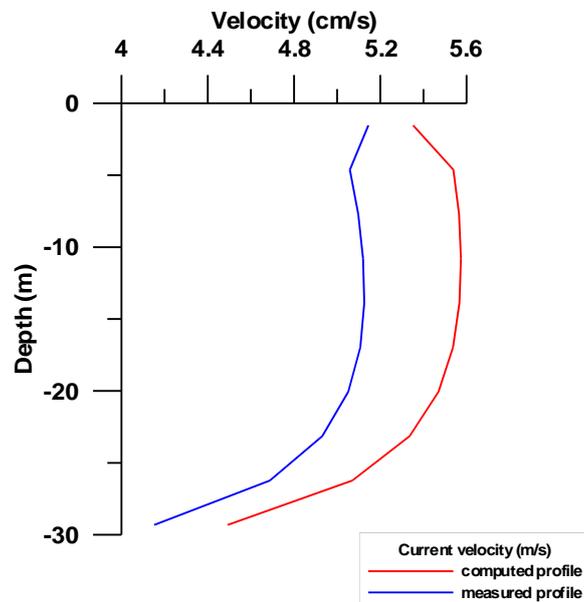


Fig. 6.51: confronto tra profili di velocità della corrente marina. In blu il profilo misurato dalla sonda ADCP e in rosso quello calcolato dal modello DELFT3D-FLOW.

Di seguito vengono riportati i risultati degli scenari di simulazione per ognuna delle ipotesi

progettuali considerate.

Situazione antecedente al 2012

Scenario Libeccio (236°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0.2 – 0.5 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è prossima alla costa con intensificazioni del flusso in corrispondenza di Capo Linaro, a nord del Porto di Civitavecchia e al traverso di Sant'Agostino. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva l'effetto ombra a nord dell'imboccatura portuale, determinato dall'antemurale Colombo, che genera una riduzione dell'intensità della corrente e la formazione di un vortice orario ben definito in corrispondenza del molo carbone (Fig. 6.52).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella zona di largo. Una maggiore intensificazione del flusso costiero si osserva in corrispondenza di Capo Linaro mentre il tratto costiero di Civitavecchia è caratterizzato da basse intensità della corrente probabilmente generate dall'effetto ombra prodotto da Capo Linaro sul questo settore costiero. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso pressoché unidirezionale verso Nord di lieve intensità (< 0.1 m/s) che subisce un'intensificazione procedendo verso largo ed in corrispondenza dell'antemurale del porto.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0.3 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa e comprende tutto il settore costiero esteso da Capo Linaro a Sant'Agostino dove si osservano le velocità maggiori soprattutto in corrispondenza di Capo Linaro. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso di intensità compreso tra 0.3 -0.6 m/s che subisce una riduzione significativa a nord dell'imboccatura portuale per effetto ombra prodotto dall'antemurale. Inoltre si osserva la formazione di un vortice orario ben definito a sud del Molo Carbone.

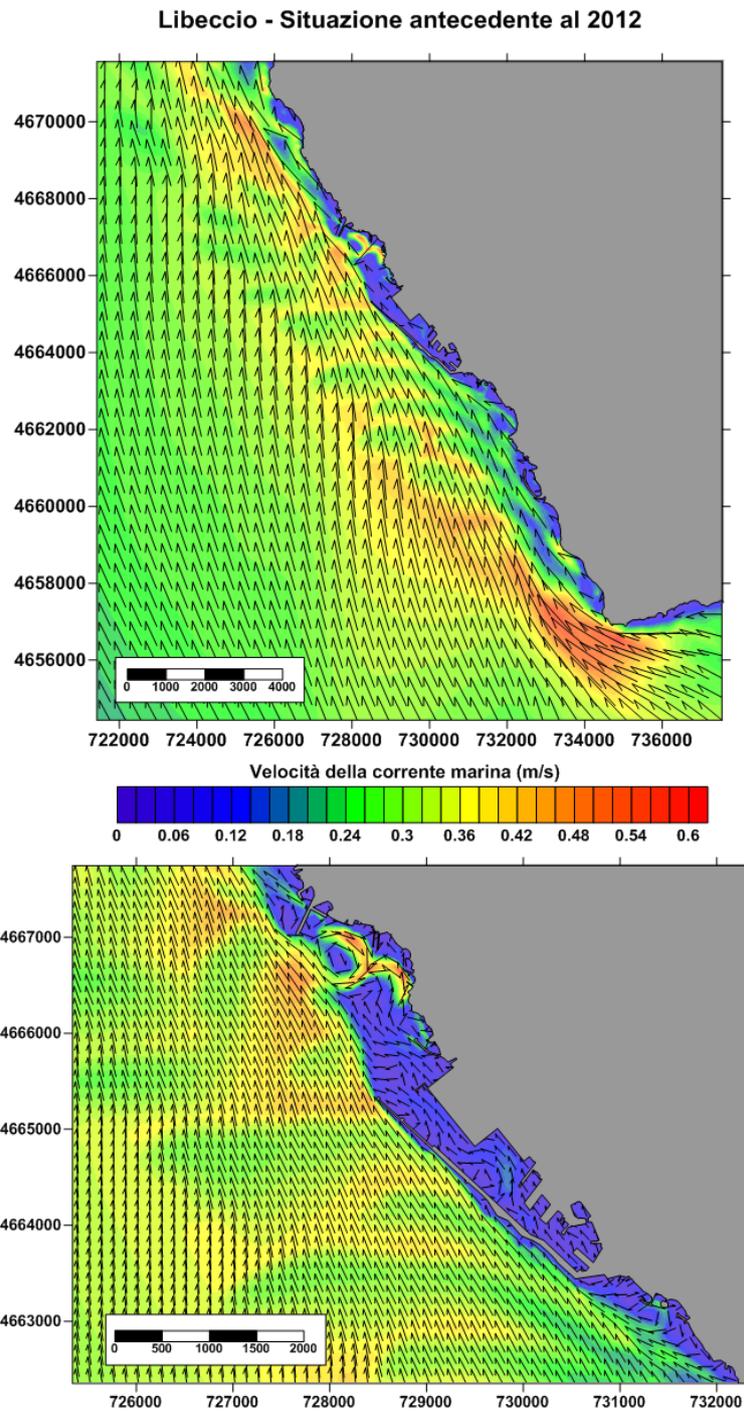


Fig. 6.52 : campo idrodinamico indotto dallo scenario di Libeccio (situazione antecedente al 2012).

Scenario Ponente (281°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da nord verso sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0 – 0.6 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa e comprende tutto il settore costiero esteso da Capo Linaro a Sant'Agostino dove si osservano le velocità maggiori soprattutto in corrispondenza di Capo Linaro e di Capo Sant'Agostino. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso di intensità compreso tra 0.2 -0.4 m/s dove il campo di velocità appare più intenso in corrispondenza dell'antemurale del porto e nord del molo carbone. Data la direzione del fenomeno anche all'interno dell'invaso portuale si osserva un incremento della velocità della corrente rispetto alle condizioni di calma osservate negli scenari precedenti.

Opere del 1° lotto funzionale

Scenario Libeccio (236°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0.2 – 0.5 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è prossima alla costa con intensificazioni del flusso in corrispondenza di Capo Linaro, a nord del Porto di Civitavecchia e al traverso di Sant'Agostino. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva l'effetto ombra a nord dell'imboccatura portuale, determinato dall'antemurale, che genera una riduzione dell'intensità della corrente subito a nord di questo e la formazione di un vortice orario ben definito in corrispondenza della costa a sud del molo carbone (Fig. 6.53).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella zona di largo. Una maggiore intensità del flusso costiero si osserva in corrispondenza di Capo Linaro mentre il tratto costiero di Civitavecchia è caratterizzato da basse intensità della corrente probabilmente generate dall'effetto ombra prodotto da Capo Linaro sul questo settore costiero. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso pressoché unidirezionale verso Nord di lieve intensità (< 0.1 m/s) che subisce un intensificazione procedendo verso largo ed in corrispondenza dell'antemurale del porto.

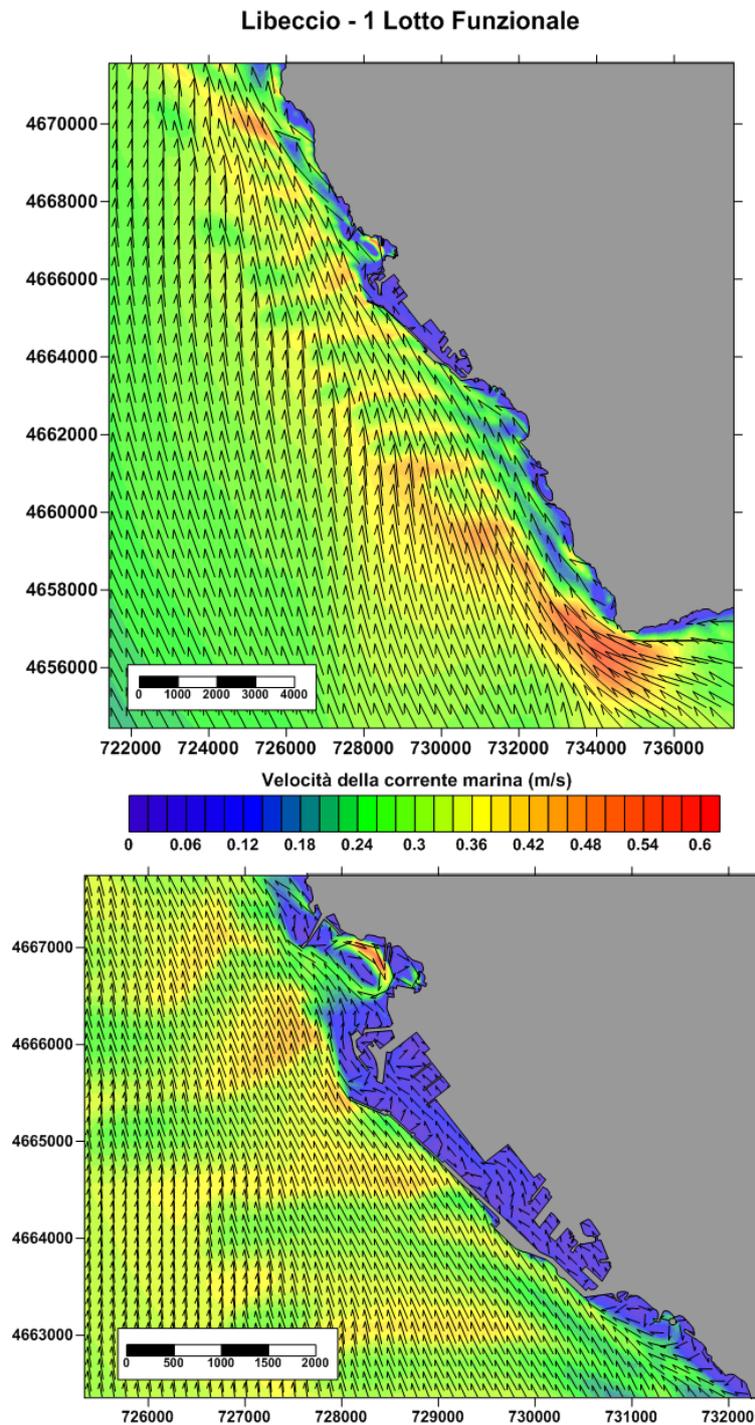


Fig.6.53 : campo idrodinamico indotto dallo scenario di Libeccio con le opere del 1LF.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0.3 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa ed in particolare nel settore costiero di Capo Linaro, porto di Civitavecchia e al traverso di Sant'Agostino. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso di intensità compreso tra 0.3 -0.7 m/s con le velocità massime distribuite a largo delle nuove banchine mentre una riduzione significativa si osserva nel tratto più prossimo alla costa a nord dell'imboccatura portuale per effetto ombra prodotto dall'antemurale e la formazione di un vortice orario ben definito a sud del Molo Carbone.

Scenario Ponente (281°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da nord verso sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0 – 0.6 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa e comprende tutto il settore costiero esteso da Capo Linaro a Sant'Agostino dove si osservano le velocità maggiori soprattutto in corrispondenza di Capo Linaro e di Capo Sant'Agostino. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso di intensità compreso tra 0.2 -0.4 m/s dove il campo di velocità appare più intenso in corrispondenza dell'antemurale del porto e nord del molo carbone. Data la direzione del fenomeno anche all'interno dell'invaso portuale si osserva un incremento della velocità della corrente rispetto alle condizioni di calma osservate negli scenari precedenti.

Darsena Energetica Grandi Masse (DEGM)***Scenario Libeccio (236°N)***

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0.2 – 0.5 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è prossima alla costa con intensificazioni del flusso in corrispondenza di Capo Linaro, in corrispondenza del Porto di Civitavecchia e al traverso di Sant'Agostino. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva l'effetto ombra a nord dell'imboccatura portuale, determinato dall'antemurale e dalla nuova struttura, che genera una riduzione dell'intensità della corrente subito a nord di queste (Fig. 6.54).

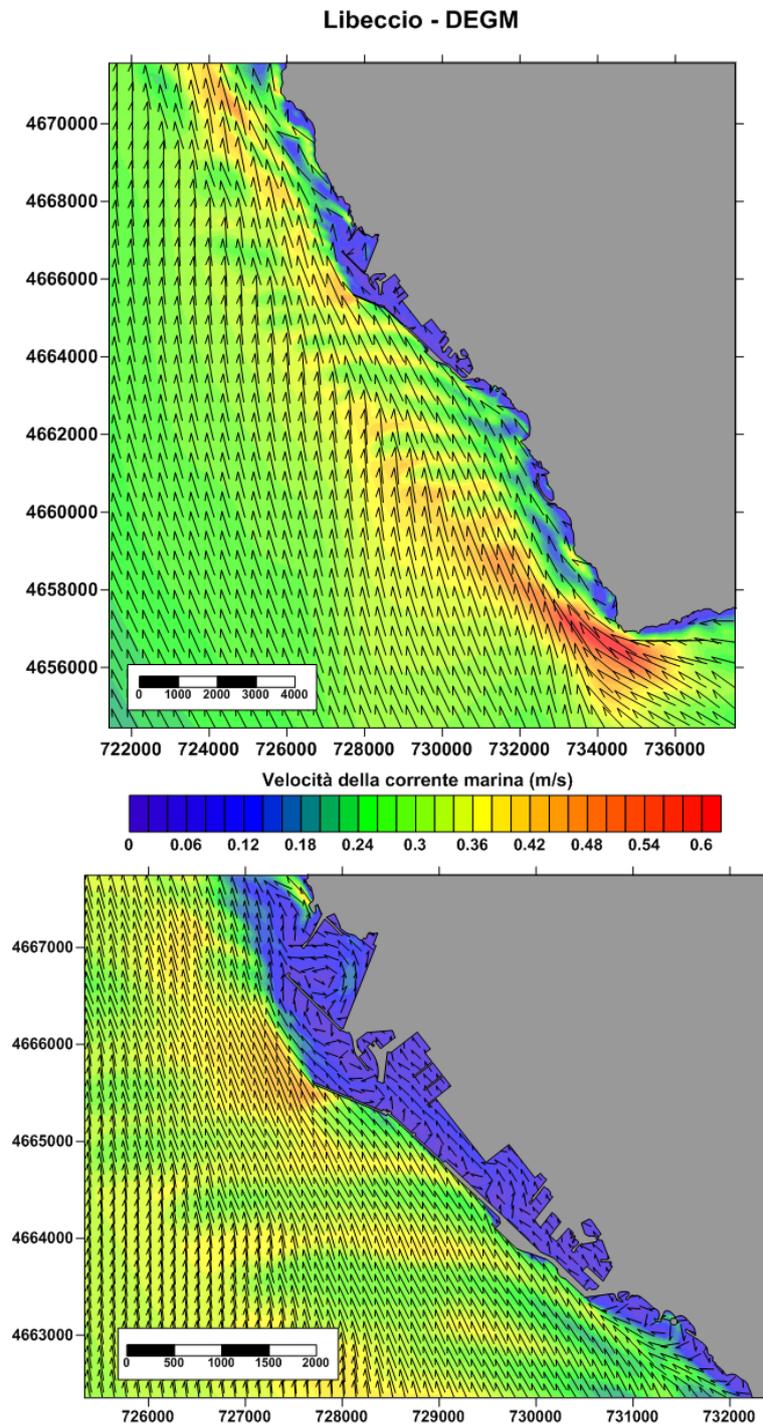


Fig. 6.54 : campo idrodinamico indotto dallo scenario di Libeccio con la DEGM.

Scenario Mezzogiorno (170°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella zona di largo. Una maggiore intensità del flusso costiero si osserva in corrispondenza di Capo Linaro mentre il tratto costiero di Civitavecchia è caratterizzato da basse intensità della corrente probabilmente generate dall'effetto ombra prodotto da Capo Linaro sul questo settore costiero.

Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso pressoché unidirezionale verso Nord di lieve intensità (< 0.1 m/s) che subisce un intensificazione procedendo verso largo ed in corrispondenza dell'antemurale del porto.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0.3 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa ed in particolare nel settore costiero di Capo Linaro, porto di Civitavecchia e al traverso di Sant'Agostino. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso di intensità compreso tra 0.3 -0.7 m/s con le velocità massime distribuite a largo delle nuove banchine e a ridosso dell'antemurale del porto.

Scenario Ponente (281°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da nord verso sud che presenta velocità comprese tra 0 – 0.6 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa e lungo il tratto costiero di Capo Linaro e Sant'Agostino si osservano le velocità maggiori. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso di intensità compreso tra 0.2 -0.4 m/s dove il campo di velocità appare più intenso a largo dell'antemurale del porto e lungo il nuovo molo della DEGM. Una significativa riduzione dell'intensità della corrente si osserva lungo il tratto di mare a ridosso dell'Antemurale Colombo. Data la direzione del fenomeno anche all'interno dell'invaso portuale si osserva un incremento della velocità della corrente rispetto alle condizioni di calma osservate negli scenari precedenti.

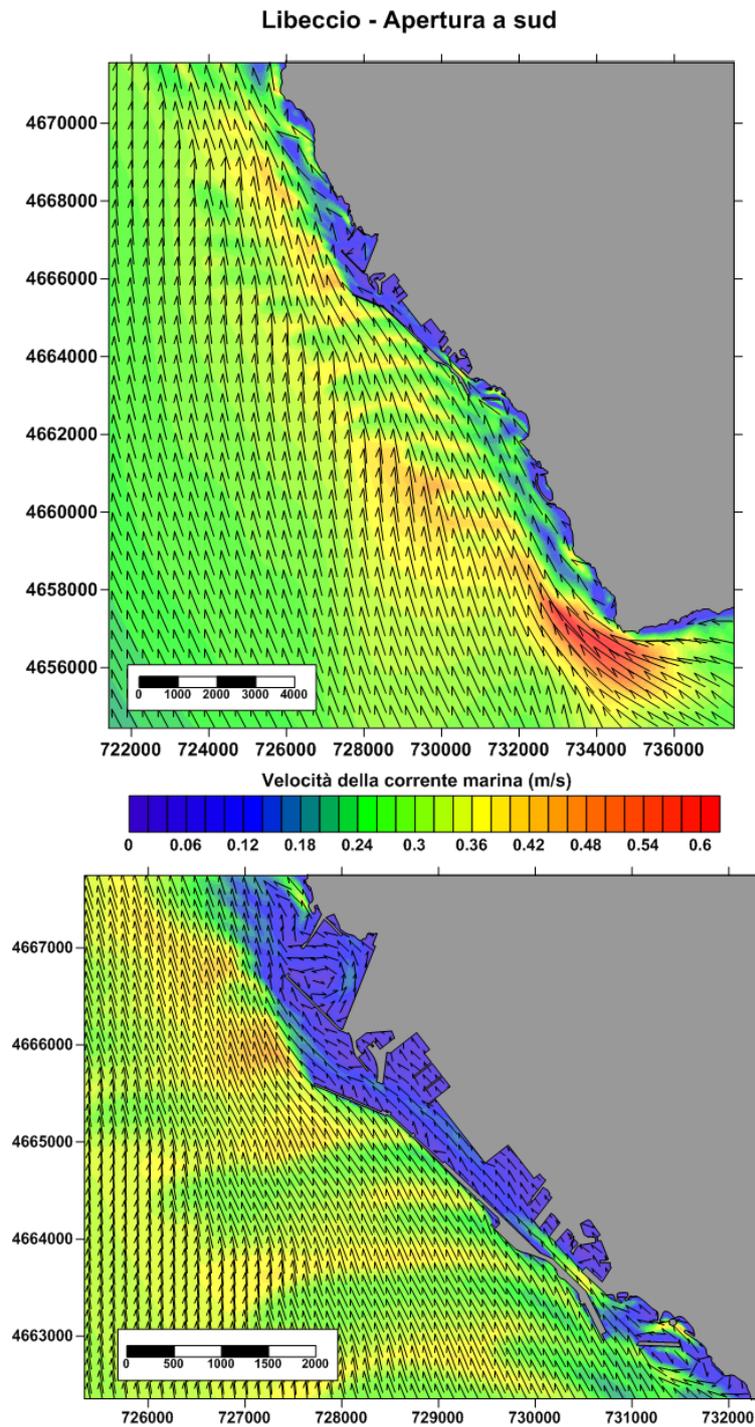


Fig. 6.55 : campo idrodinamico indotto dallo scenario di Libeccio con le opere del 2LF (Apertura a sud)

Opere del 2° lotto funzionale (Apertura a Sud)

Scenario Libeccio (236°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0.2 – 0.5 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è prossima alla costa con intensificazioni del flusso in corrispondenza di Capo Linaro, in corrispondenza del Porto di Civitavecchia e al traverso di Sant'Agostino dove però l'intensità della corrente subisce un'attenuazione rispetto alla condizione precedente. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso in ingresso del varco meridionale ed un incremento dell'intensità del campo idrodinamico a ridosso del litorale della Marina e Lega Navale (Fig. 6.55).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella zona di largo. Una maggiore intensità del flusso costiero si osserva in corrispondenza di Capo Linaro mentre il tratto costiero di Civitavecchia è caratterizzato da basse intensità della corrente probabilmente generate dall'effetto ombra prodotto da Capo Linaro sul questo settore costiero.

Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva, rispetto alla condizione precedente, un flusso in ingresso del varco meridionale ed un incremento dell'intensità del campo idrodinamico a ridosso del litorale della Marina e Lega Navale.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0.3 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa ed in particolare nel settore costiero di Capo Linaro, porto di Civitavecchia e al traverso di Sant'Agostino. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva, rispetto alla condizione precedente, un flusso in ingresso del varco meridionale ed un incremento dell'intensità del campo idrodinamico a ridosso del litorale della Marina e Lega Navale.

Scenario Ponente (281°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da nord verso sud che presenta velocità comprese tra 0 – 0.6 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa e lungo il tratto costiero di Capo Linaro e Sant'Agostino si osservano le velocità maggiori. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso di intensità compreso tra 0.2 -0.4 m/s dove il campo di velocità appare più intenso a largo dell'antemurale del

porto e lungo il nuovo molo della DEGM. Una significativa riduzione dell'intensità della corrente si osserva lungo il tratto di mare a ridosso dell'Antemurale Colombo. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva, rispetto alla condizione precedente, un flusso in uscita del varco meridionale ed una riduzione dell'intensità del campo idronamico a ridosso del litorale della Marina e Lega Navale.

6.5.2 Analisi del moto ondoso

In questo paragrafo sono descritti i risultati delle simulazioni che analizzano la propagazione del moto ondoso da largo verso costa in presenza di diversi scenari significativi per il tratto di costa in esame.

La validazione del modello SWAN è stata effettuata confrontando i dati acquisiti dalla boa ondometrica Ageotec, che dal 29 Aprile al 22 Giugno del 2013 si trovava in prossimità dell'imboccatura portuale, e i risultati ottenuti con il modello stesso. Il grafico di figura xx dimostra che esiste una stretta relazione tra valori misurati e valori computati di altezza d'onda ($R^2 = 0.92$).

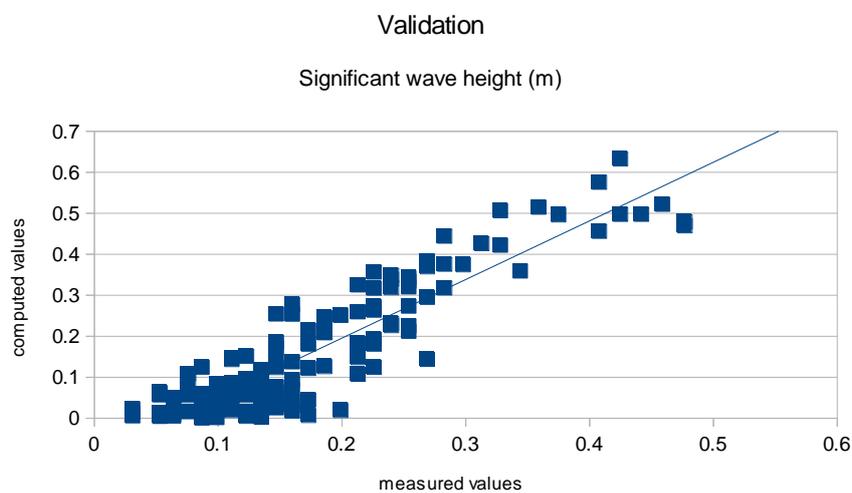


Fig. 6.56 : confronto tra dati misurati dalla boa Agiotec e dati calcolati dal modello SWAN relativi all'altezza d'onda significativa.

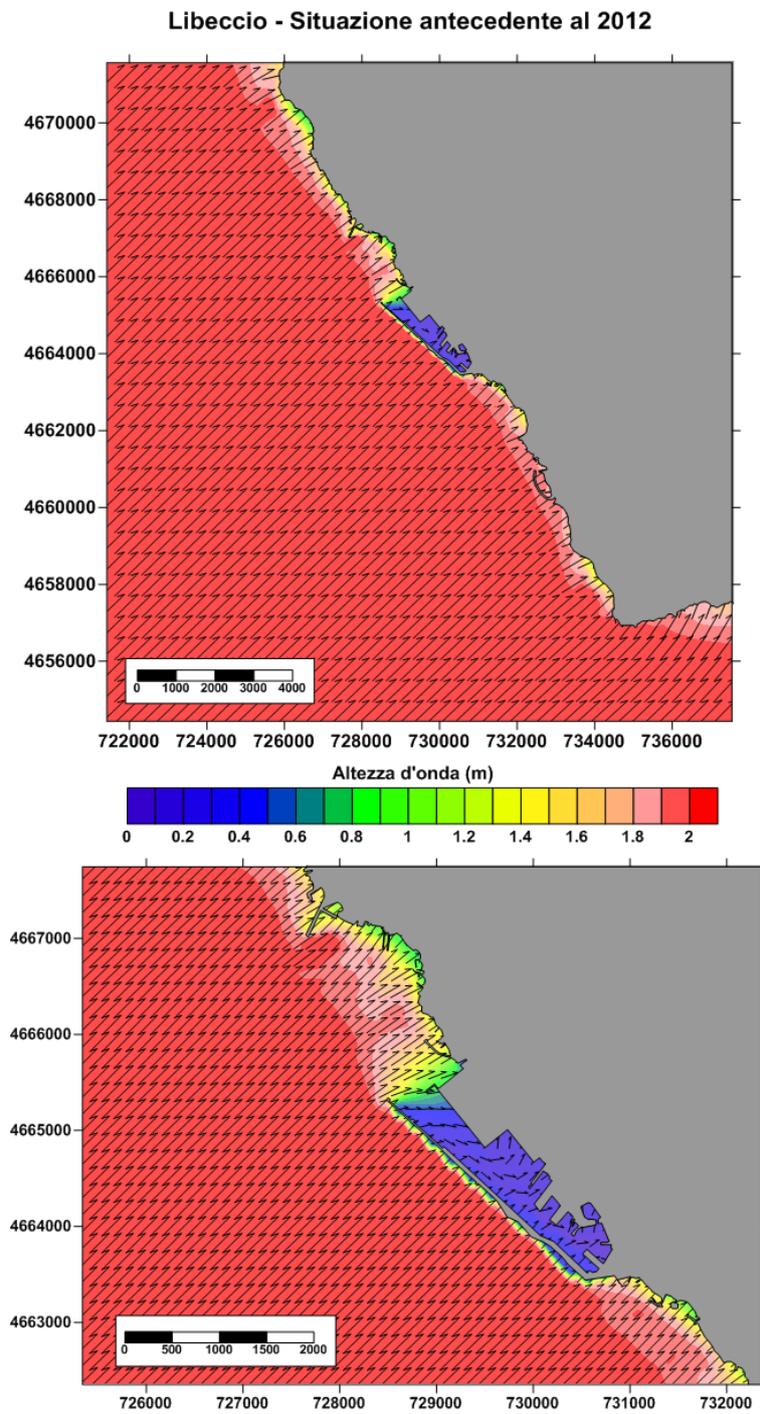


Fig. 6.57 : campo d'onda indotto dallo scenario di Libeccio (situazione antecedente al 2012)

Situazione antecedente al 2012

Scenario Libeccio (236°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prevalentemente perpendicolare a costa. Il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di dissipazione e concentrazione in funzione della morfologia del fondale. A sud di Capo Linaro invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte (Fig. 6.57).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di mezzogiorno si osserva un fronte d'onda che, rispetto all'orientazione del tratto costiero tra Capo Linaro e Sant'Agostino, procede parallelo a costa subendo un'importante rotazione lungo questo tratto costiero. Inoltre il capo, essendo più esposto rispetto ai litorali di Civitavecchia crea una zona di concentrazione del moto ondoso e determina un effetto ombra al tratto costiero di Civitavecchia che si traduce in una generale attenuazione del moto ondoso. Nel tratto meridionale al capo, i raggi d'onda sono perpendicolari a costa ed il moto ondoso si presenta di maggiore intensità. Nel tratto a nord del porto l'onda subisce una riduzione d'intensità nella zona di sottoflutto per effetto della struttura portuale.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio/mezzogiorno si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prossimo alla perpendicolare a costa ed il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di dissipazione e concentrazione relativamente alla morfologia del fondale. A sud del capo invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte. In corrispondenza del porto per effetto dell'antemurale si osserva un'attenuazione dell'intensità nella zona di sottoflutto.

Scenario Ponente (281°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di ponente si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza obliquo rispetto all'orientazione della costa, nel tratto tra Capo Linaro e Sant'Agostino, subendo per effetto della rifrazione un'importante rotazione. Il settore sud risulta estremamente riparato da questa direzione del moto ondoso. Nel dettaglio relativo all'area portuale è possibile vedere come questo fenomeno, data la sua direzione di provenienza, interessi anche l'invaso

portuale.

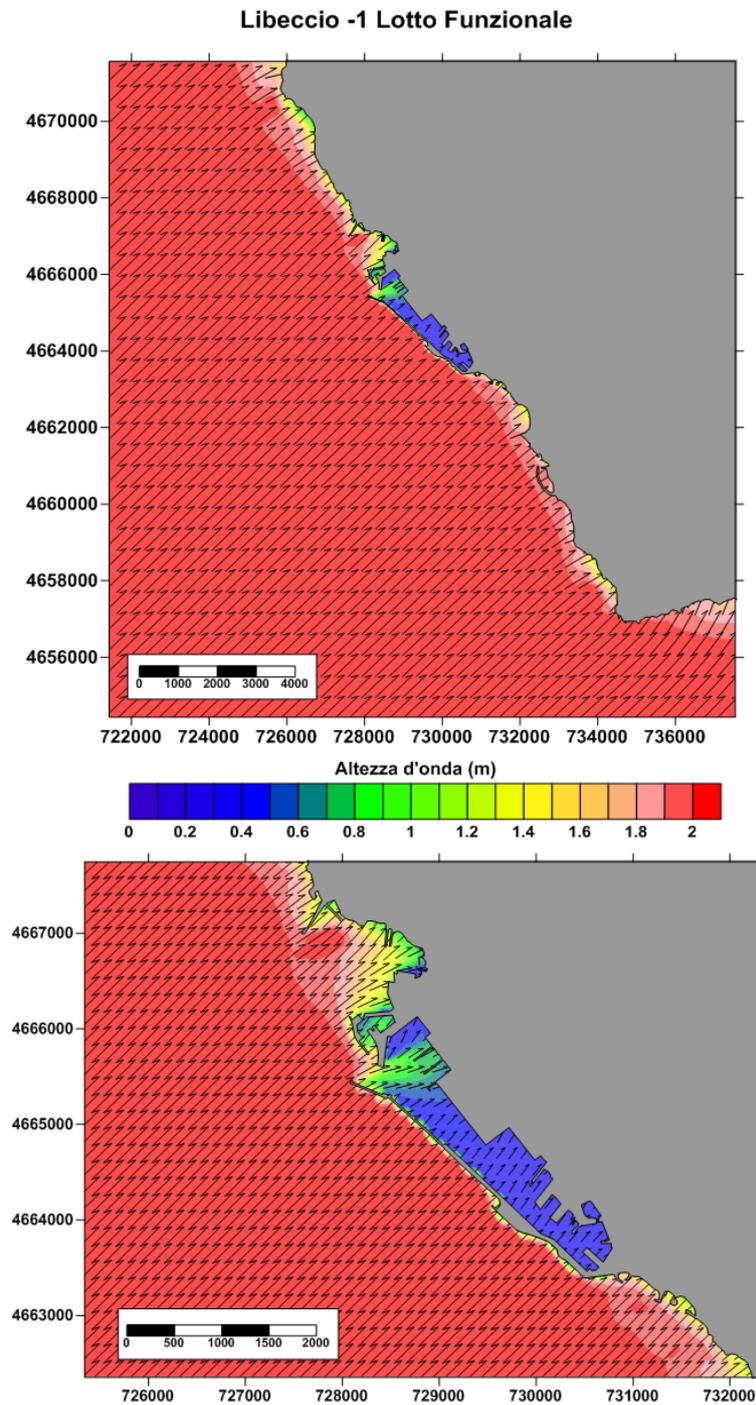


Fig. 6.58 : campo d'onda indotto dallo scenario di Libeccio con le opere del 1LF

Opere del 1° lotto funzionale

Scenario Libeccio (236°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prevalentemente perpendicolare a costa ed il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di dissipazione e concentrazione in funzione della morfologia del fondale. A sud del capo invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte. Nel tratto costiero in cui ricade il porto le nuove opere producono un'attenuazione del moto ondoso nella zona di sottoflutto a tali strutture (Fig. 6.58).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di mezzogiorno si osserva un fronte d'onda che, rispetto all'orientazione del tratto costiero tra Capo Linaro e Sant'Agostino, procede parallelo a costa subendo un'importante rotazione lungo questo tratto costiero. Inoltre il capo, essendo più esposto rispetto ai litorali di Civitavecchia crea una zona di concentrazione del moto ondoso e determina un effetto ombra al tratto costiero di Civitavecchia che si traduce in una generale attenuazione del moto ondoso. Nel tratto meridionale al capo, i raggi d'onda sono perpendicolari a costa ed il moto ondoso si presenta di maggiore intensità. Nel tratto a nord del porto l'onda subisce una ulteriore riduzione d'intensità, rispetto all'assetto precedente, per effetto della nuova struttura portuale.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio/mezzogiorno si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prossimo alla perpendicolare a costa ed il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di dissipazione e concentrazione relativamente alla morfologia del fondale. A sud del capo invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte. In corrispondenza del porto per effetto delle nuove opere si osserva un'attenuazione dell'intensità nella zona di sottoflutto.

Scenario Ponente (281°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di ponente si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza obliquo rispetto all'orientazione della costa, nel tratto tra Capo Linaro e Sant'Agostino, subendo per effetto della rifrazione una importante rotazione. Il settore sud risulta estremamente

riparato da questa direzione del moto ondoso. Nel dettaglio relativo all'area portuale è possibile vedere come questo fenomeno, data la sua direzione di provenienza, interessi l'invaso portuale anche in questa nuova configurazione.

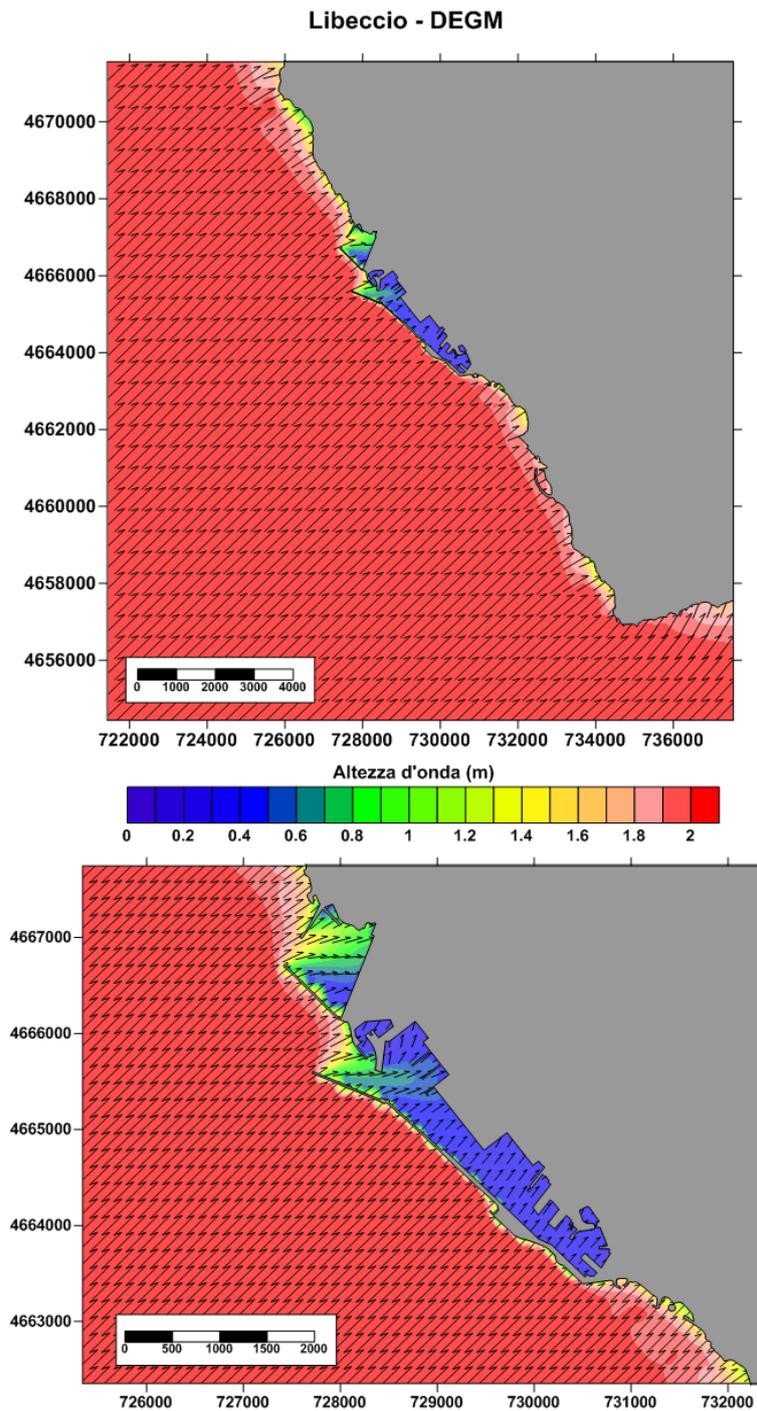


Fig. 6.59 : campo d'onda indotto dallo scenario di Libeccio con DEGM.

Darsena Energetica Grandi Masse (DEGM)

Scenario Libeccio (236°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prevalentemente perpendicolare a costa ed il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di dissipazione e concentrazione in funzione della morfologia del fondale. A sud del capo invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte. Nel tratto costiero del porto la nuova struttura portuale genera un invaso protetto in cui le onde si propagano per diffrazione (Fig. 6.59).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di mezzogiorno si osserva un fronte d'onda che, rispetto all'orientazione del tratto costiero tra Capo Linaro e Sant'Agostino, procede parallelo a costa subendo un importante rotazione lungo questo tratto costiero. Inoltre il capo, essendo più esposto rispetto ai litorali di Civitavecchia crea una zona di concentrazione del moto ondoso e determina un effetto ombra al tratto costiero di Civitavecchia che si traduce in una generale attenuazione del moto ondoso. Nel tratto meridionale al capo, i raggi d'onda sono perpendicolari a costa ed il moto ondoso si presenta di maggiore intensità. Nel tratto a nord del porto l'onda subisce una ulteriore riduzione d'intensità, rispetto all'assetto precedente, per effetto della nuova struttura portuale. Nel tratto costiero del porto, la nuova struttura portuale genera un invaso totalmente protetto da questi fenomeni ondosi.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio/mezzogiorno si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prossimo alla perpendicolare a costa ed il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di dissipazione e concentrazione relativamente alla morfologia del fondale. A sud del capo invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte. Nel tratto costiero del porto la nuova struttura portuale genera un invaso protetto in cui le onde si propagano per diffrazione.

Scenario Ponente (281°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di ponente si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza obliquo rispetto all'orientazione della costa, nel tratto tra Capo Linaro e Sant'Agostino,

subendo per effetto della rifrazione una importante rotazione. Il settore sud risulta estremamente riparato da questa direzione del moto ondoso. Nel dettaglio relativo all'area portuale è possibile vedere come questo fenomeno, data la sua direzione di provenienza, interessi anche il nuovo invaso portuale.

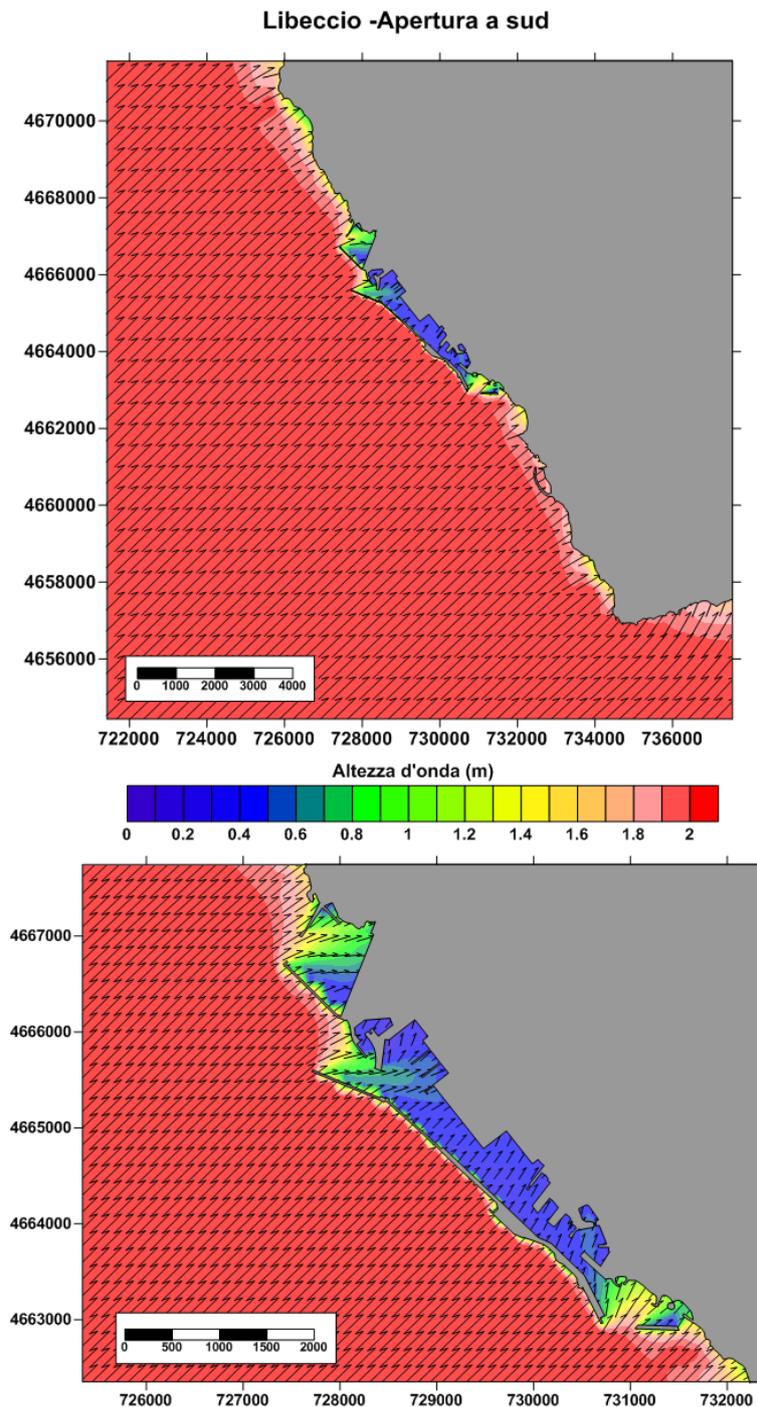


Fig.6.60 : campo d'onda indotto dallo scenario di Libeccio con le opere del 2LF (Apertura a sud)

Opere del 2° lotto funzionale (Apertura a Sud)

Scenario Libeccio (236°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prevalentemente perpendicolare a costa ed il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di dissipazione e concentrazione in funzione della morfologia del fondale. A sud del capo invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte. Nel tratto costiero del porto la nuova struttura genera una riduzione dell'intensità dell'onda lungo il tratto costiero della Marina e Lega Navale (Fig. 6.60).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di mezzogiorno si osserva un fronte d'onda che, rispetto all'orientazione del tratto costiero tra Capo Linaro e Sant'Agostino, procede parallelo a costa subendo un importante rotazione lungo questo tratto costiero. Inoltre il capo, essendo più esposto rispetto ai litorali di Civitavecchia crea una zona di concentrazione del moto ondoso e determina un effetto ombra al tratto costiero di Civitavecchia che si traduce in una generale attenuazione del moto ondoso. Nel tratto meridionale al capo, i raggi d'onda sono perpendicolari a costa ed il moto ondoso si presenta di maggiore intensità. Nel tratto a nord del porto l'onda subisce una ulteriore riduzione d'intensità, rispetto all'assetto precedente, per effetto della nuova struttura portuale. Nel tratto costiero del porto la nuova struttura genera una riduzione dell'intensità dell'onda lungo il tratto costiero della Marina e Lega Navale.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio/mezzogiorno si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prossimo alla perpendicolare a costa ed il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di dissipazione e concentrazione relativamente alla morfologia del fondale. A sud del capo invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte. Nel tratto costiero del porto la nuova struttura genera una riduzione dell'intensità dell'onda lungo il tratto costiero della Marina e Lega Navale.

Scenario Ponente (281°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di ponente si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza obliquo rispetto all'orientazione della costa, nel tratto tra Capo Linaro e Sant'Agostino,

subendo per effetto della rifrazione una importante rotazione. Il settore sud risulta estremamente riparato da questa direzione del moto ondoso. Nel dettaglio relativo all'area portuale è possibile vedere come la nuova struttura generi una riduzione dell'intensità dell'onda lungo il tratto costiero della Marina e della Lega Navale.

6.5.3 Risultati delle simulazioni relative alla dispersione del sedimento

Il modello DELFT3D-WAQ è stato utilizzato per calcolare la concentrazione di solido sospeso (mg/l) e il tasso di sedimentazione ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) presente nell'area di studio, considerando quattro differenti sorgenti di sedimento come:

- ♣ i principali corsi d'acqua presenti lungo il tratto di costa oggetto di indagine (Scenario 1);
- ♣ le attività di dragaggio per la costruzione delle opere del 1° Lotto Funzionale (Scenario 2);
- ♣ le attività di dragaggio per la costruzione della Darsena Energetica Grandi Masse (Scenario 3);
- ♣ le attività di dragaggio per la costruzione delle opere del 2° Lotto Funzionale (Apertura a sud) (Scenario 4).

In ognuno dei 4 scenari è stata analizzata la dispersione del materiale in sospensione riproducendo le 4 condizioni meteomarine riportate in tabella 5.8.

Scenario 1

Durante il Libeccio il sedimento proveniente dai fiumi si distribuisce in maniera uniforme lungo la fascia costiera con valori massimi di circa 5 mg/l a sud del molo carbone e in corrispondenza del porto di Riva di Traiano. Le zone con i più elevati valori del tasso di sedimentazione ($> 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) si trovano in prossimità di Punta del Pecoraro e nei pressi della foce del Marangone (Fig. 6.61).

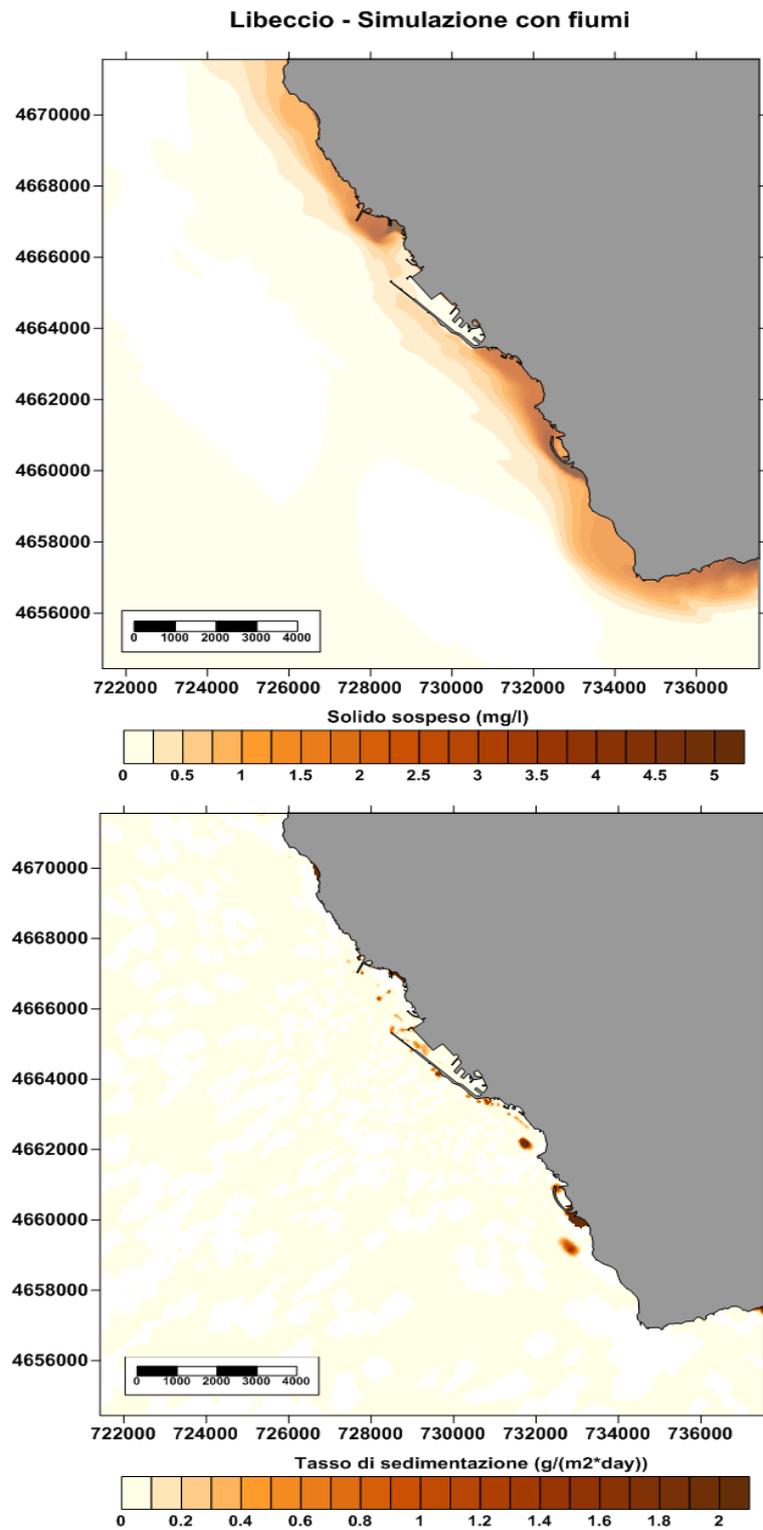


Fig.6.61 : distribuzione del solido in sospensione (in alto) e del tasso di sedimentazione (in basso) dovuto al trasporto dei principali corsi d'acqua del tratto di costa oggetto di studio (Libeccio)

Nello scenario di Mezzogiorno la zona con elevati valori di solido sospeso è più estesa di quella prodotta dal Libeccio. Le aree in cui si rinvergono le concentrazioni più alte sono tuttavia le stesse rispetto a quelle esaminate nel caso precedente. Le condizioni meteomarine riprodotte in questo scenario determinano un'elevata sedimentazione lungo una zona che si estende per circa 4 km parallelamente a costa, dal porto di Civitavecchia fino a Capo Linaro. Elevati valori del tasso di sedimentazione (circa $2.25 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) sono presenti anche in corrispondenza di Punta S. Agostino. Una simile distribuzione del solido sospeso si verifica anche durante lo scenario di Libeccio-Mezzogiorno in cui non si ha più una netta separazione tra le acque costiere, caratterizzate da elevate concentrazioni di materiale in sospensione, e quelle di largo che presentano invece bassi valori. In questo caso le zone con i più elevati valori di sedimentazione si trovano a sud di Capo Linaro ($1.4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$), nei pressi della foce del fiume Marangone ($> 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) e all'interno del porto di Civitavecchia ($1.1 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$).

La condizione di Ponente determina una distribuzione estesa ed omogenea di solido sospeso lungo la fascia costiera e concentrazioni che risultano essere le più elevate ($> 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) tra quelle riscontrate negli altri scenari. La maggior parte del sedimento proveniente dai corsi d'acqua presenti nell'area di studio si deposita all'interno del porto di Riva di Traiano e in quello di Civitavecchia (tasso di sedimentazione $> 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$).

Scenario 2

Durante lo scenario di Libeccio, la dispersione del sedimento proveniente dalle attività di dragaggio per la costruzione del 1° Lotto Funzionale è diretta verso nord, anche se una parte del materiale dragato arriva all'interno del porto di Civitavecchia. La zona dove si ha la massima concentrazione di solido sospeso (circa 19 mg/l) si trova tra l'imboccatura del porto e il molo della centrale ENEL dove sono state effettuate le operazioni di dragaggio. Nella stessa area e all'interno del porto di Civitavecchia si trovano anche i più elevati valori del tasso di sedimentazione ($> 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) (Fig. 6.62).

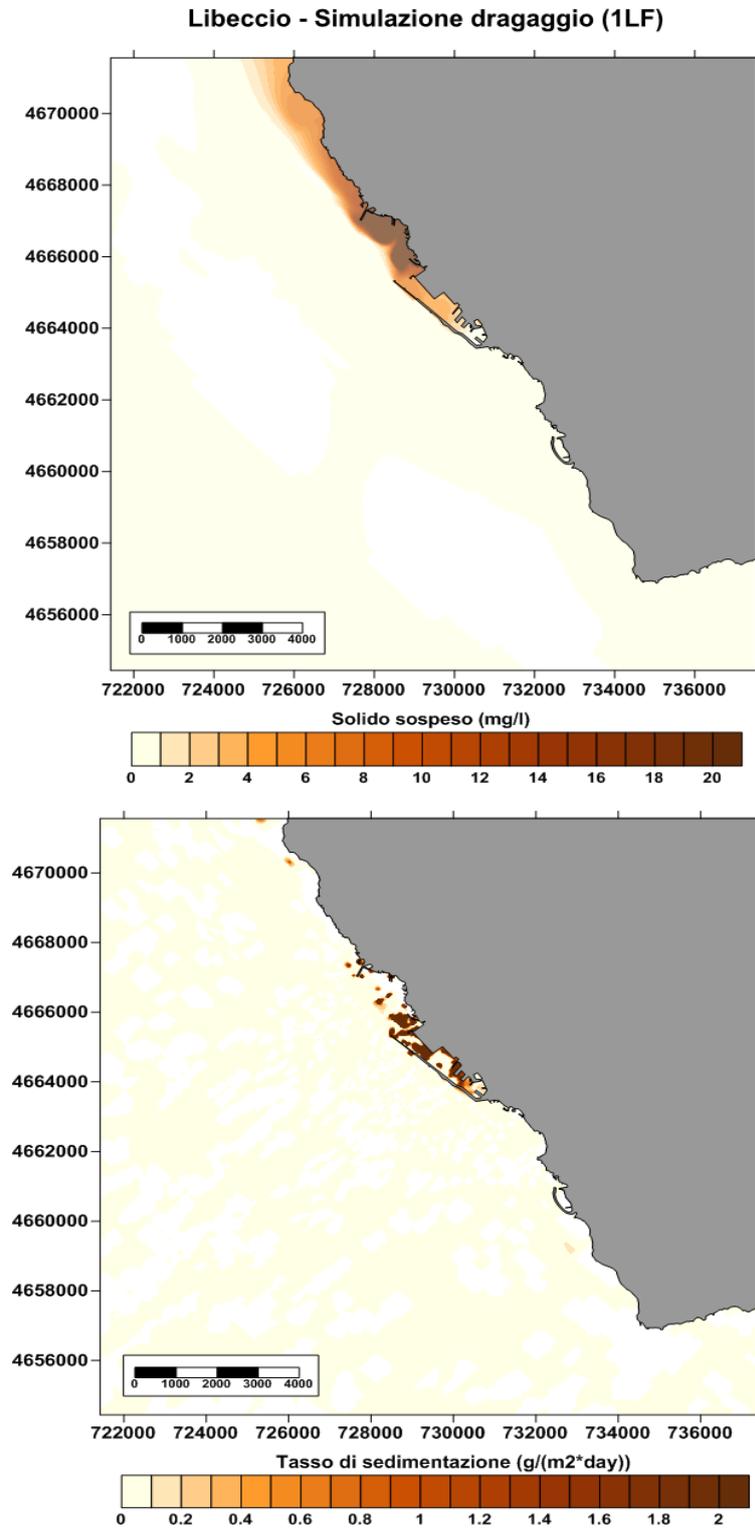


Fig.6.62 : distribuzione del solido in sospensione (in alto) e del tasso di sedimentazione (in basso) dovuto alle operazioni di dragaggio per le opere del 1LF (Libeccio)

Nelle condizioni meteomarine che caratterizzano lo scenario di Mezzogiorno la maggior parte del sedimento dragato si disperde all'interno del porto di Civitavecchia mentre una frazione minore viene trasportata verso nord. La concentrazione del solido sospeso all'interno del porto risulta essere quindi quella più elevata con valori maggiori di 20 mg/l, mentre in corrispondenza di Punta Sant'Agostino si registrano valori di circa 5 mg/l. Questa condizione favorisce anche una significativa risospensione di sedimento presente nella zona a sud dove sono presenti concentrazioni di solido sospeso di circa 2.5 mg/l. Così come nella parte a nord, anche in questa zona sono presenti elevati valori del tasso di sedimentazione ($> 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) che si concentrano in un'area parallela alla linea di costa.

La distribuzione del solido sospeso determinata durante la condizione di Libeccio-Mezzogiorno è simile a quella analizzata nello scenario precedente. Le principali differenze riguardano la mancanza del processo di risospensione nella zona a sud e le minori concentrazioni (circa 2 mg/l) nella parte a nord dell'area di studio. A causa di tali differenze la maggior parte del materiale movimentato nelle operazioni di dragaggio si deposita all'interno della zona portuale.

Durante lo scenario di Ponente il sedimento si disperde verso sud dove raggiunge concentrazioni di circa 2 mg/l in corrispondenza di Capo Linaro e all'interno del porto in cui sono presenti i valori più elevati (circa 17 mg/l). La maggior parte del materiale prodotto dalle attività di dragaggio depona all'interno del porto di Civitavecchia (tasso di sedimentazione di circa $1.7 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) e in quello di Riva di Traiano (tasso di sedimentazione di circa $1.8 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) dove le velocità della corrente marina sono molto basse.

Scenario 3

Considerato che il punto di immissione dei sedimenti prodotti dalle attività di dragaggio per la costruzione della Darsena Energetica Grande Masse è molto vicino a quello che riproduce i lavori per le opere del 1°Lotto Funzionale, i risultati delle simulazioni dello “Scenario 2” e dello “Scenario 3” risultano molto simili tra loro. Tuttavia i valori di solido sospeso e del tasso di sedimentazione calcolati nelle simulazioni relative allo “Scenario 3” sono maggiori di quelli relativi allo “Scenario 2” in quanto il volume dragato per la DEGM è circa cinque volte maggiore di quello movimentato per le opere del 1LF (5340000 m^3 vs 1120000 m^3). Va inoltre sottolineato che la costruzione della DEGM determina nelle condizioni di Mezzogiorno una zona che si estende per circa 2 km a nord del molo della centrale ENEL caratterizzata da elevati valori del tasso di

sedimentazione ($> 4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$).

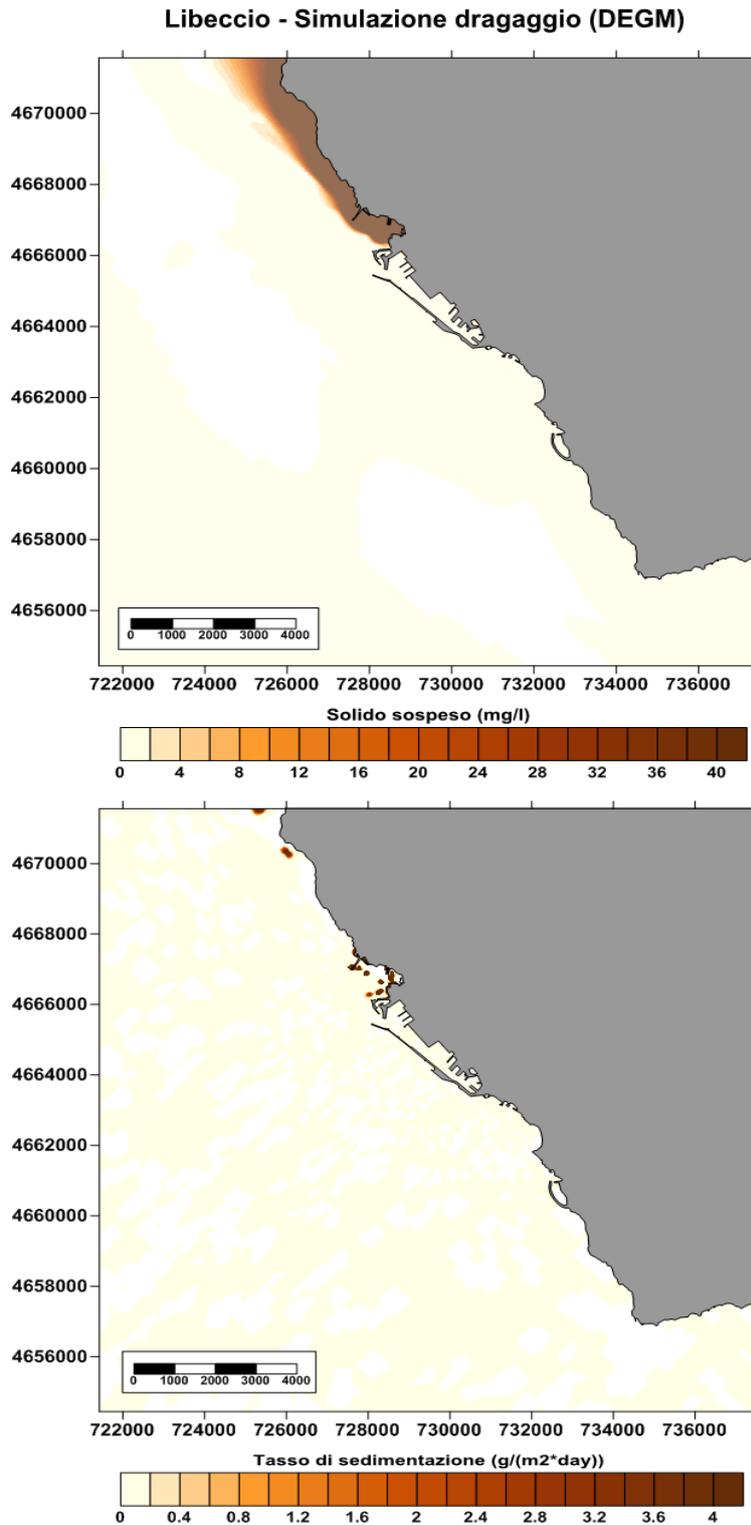


Fig.6.63 : distribuzione del solido in sospensione (in alto) e del tasso di sedimentazione (in basso) dovuto alle operazioni di dragaggio per la DEGM (Libeccio)

Scenario 4

Durante lo scenario di Libeccio, la dispersione del sedimento proveniente dalle attività di dragaggio per la costruzione del 2° Lotto Funzionale (Apertura a sud) è diretta verso nord con la maggior parte del materiale che transita all'interno del porto di Civitavecchia. In quest'area si registrano quindi alte concentrazioni di solido sospeso ($> 20 \text{ mg/l}$) ed elevati valori del tasso di sedimentazione ($> 4 \text{ g/(m}^2\text{*day)}$) (Fig. 6.64).

Anche nelle condizioni di Mezzogiorno il sedimento prodotto dalle attività di dragaggio transita all'interno dell'area portuale raggiungendo Punta Sant'Agostino dove si riscontrano valori di circa 6 mg/l . Questo scenario favorisce i processi di risospensione del sedimento nella zona a sud dove la concentrazione di solido sospeso è minore di 4 mg/l . Tale quantità risulta comunque sufficiente per determinare nella stessa zona alti valori del tasso di sedimentazione ($1.8 \text{ g/(m}^2\text{*day)}$). La maggior parte del materiale prodotto dalle attività di dragaggio deposita nella parte a nord del porto di Civitavecchia ($> 4 \text{ g/(m}^2\text{*day)}$) ed in corrispondenza di Punta Sant'Agostino (circa $2.8 \text{ g/(m}^2\text{*day)}$). La distribuzione del solido sospeso ottenuta dalle condizioni di Libeccio-Mezzogiorno è simile a quella prodotta dagli scenari di Libeccio e Mezzogiorno. La deposizione della maggior parte del materiale avviene all'interno del porto e nella zona in cui verrà costruita la Darsena Energetica Grandi Masse.

La condizione di Ponente favorisce la dispersione della maggior parte del sedimento verso la zona meridionale dell'area di studio. Le concentrazioni maggiori di solido sospeso si riscontrano tra il porto di Civitavecchia e Punta del Pecoraro dove raggiungono valori di circa 18 mg/l . La maggior parte del materiale prodotto dalle attività di dragaggio depone all'interno del porto di Riva di Traiano con valori del tasso di sedimentazione che superano i $4 \text{ g/(m}^2\text{*day)}$.

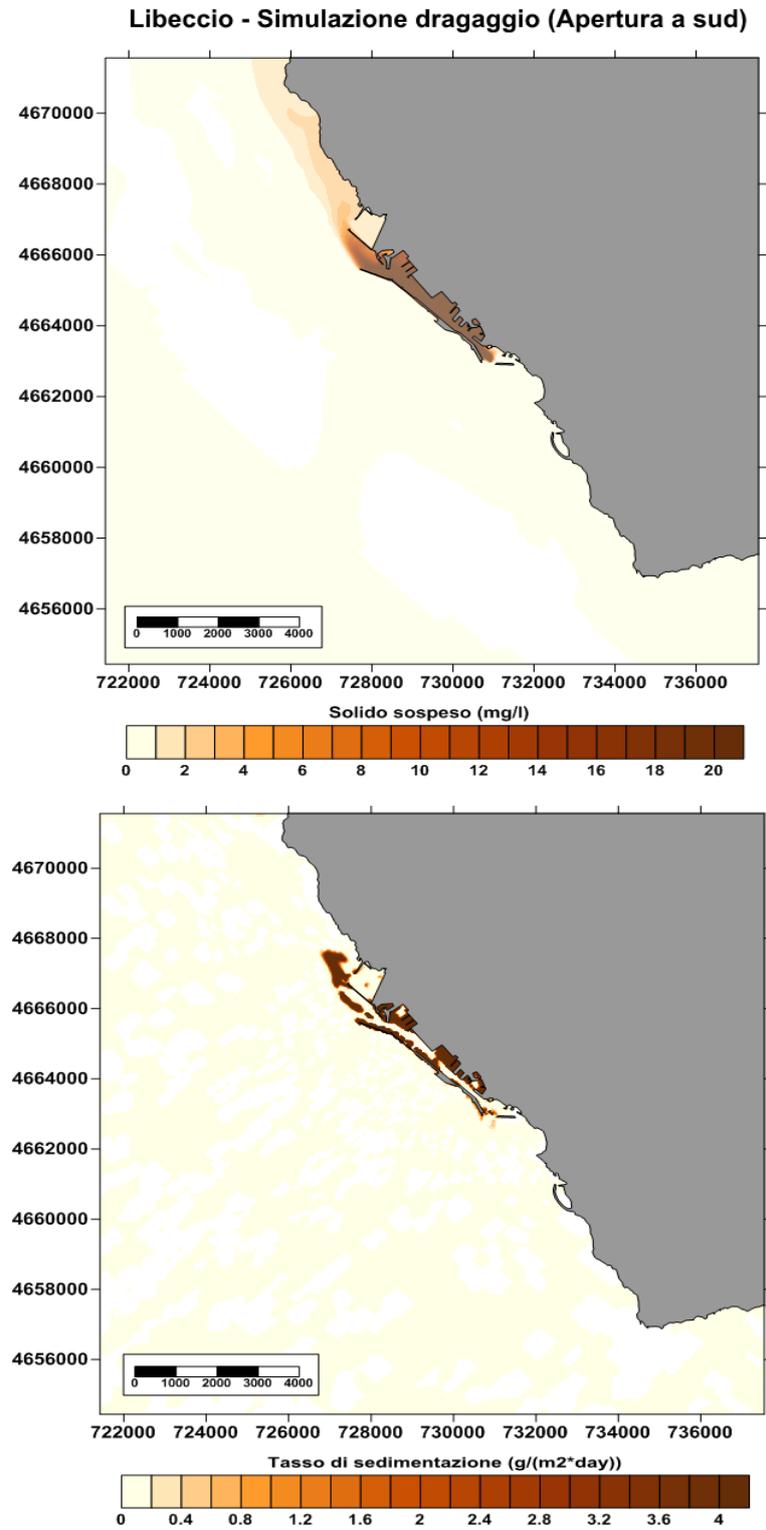


Fig.6.64 : distribuzione del solido in sospensione (in alto) e del tasso di sedimentazione (in basso) dovuto alle operazioni di dragaggio per le opere del 2LF (Apertura a sud) (Libeccio).

6.6. Stima dei degli impatti potenziali sui SIC

La stima degli impatti potenziali sugli habitat e sulle specie protette all'interno dei SIC IT6000005 e IT6000006 è stata effettuata attraverso la messa a punto dell'indice D3I (Dredging Indirect Impacts Index) che integra i risultati delle simulazioni della dispersione del sedimento proveniente da fonti naturali (fiumi) ed antropiche (dragaggi). Analogamente a quanto riportato nel paragrafo precedente, l'indice sintetico è stato calcolato tenendo conto di quattro diverse sorgenti di sedimento come:

- ♣ i principali corsi d'acqua presenti nell'area di studio (Scenario 1);
- ♣ le operazioni di dragaggio per la costruzione delle opere del 1° Lotto Funzionale (Scenario 2);
- ♣ le operazioni di dragaggio per la costruzione della Darsena Energetica Grandi Masse (Scenario 3);
- ♣ le operazioni di dragaggio per la costruzione delle opere del 2° Lotto Funzionale (Apertura a sud) (Scenario 4).

Scenario 1

Il sedimento che viene immesso dai corsi d'acqua presenti nella zona di indagine determina un'alta probabilità di impatto nella parte settentrionale del SIC IT6000005, sia a causa degli effetti prodotti dal materiale in sospensione sia per quelli dovuti ad una elevata sedimentazione. Le mappe della CLASSE 2 (Medio impatto) e della CLASSE 3 (Alto impatto) mostrano in questa zona una probabilità maggiore del 50 %. Nel SIC a sud invece gli alti impatti e i medi impatti sono ridotti e confinati nella zona antistante la foce del Marangone. Va inoltre evidenziato che l'area antistante l'imboccatura nord del porto di Civitavecchia, in cui sono inserite le nuove opere del 1LF e della DEGM, ha la probabilità del 40 % di subire un “medio impatto”.

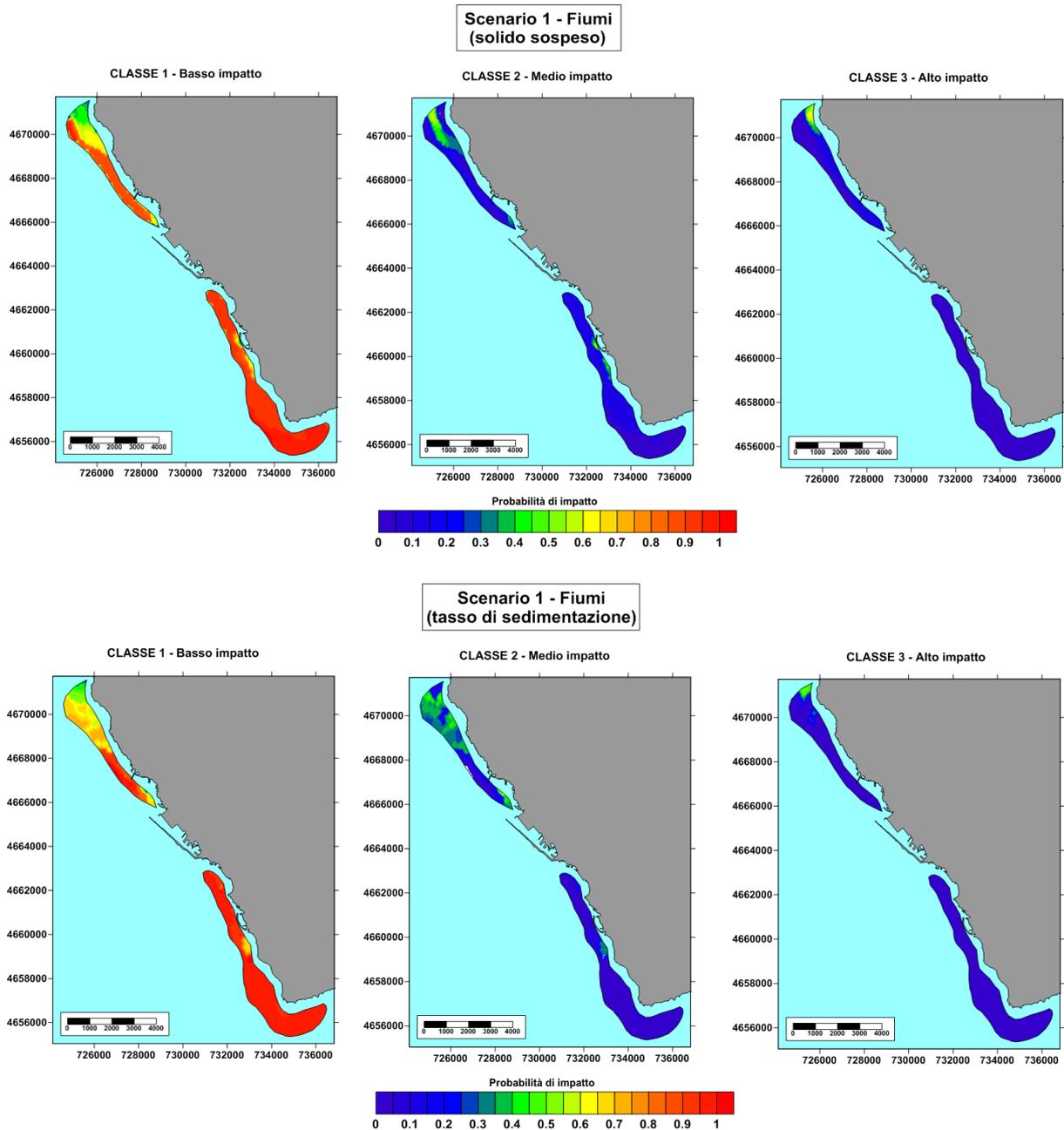


Fig. 6.65 : Mappe dell'indice D3I per bassa, media e alta probabilità d'impatto dovuti all'apporto solido fluviale. In alto gli impatti generati dal sedimento in sospensione, in basso quelli dovuti al tasso di sedimentazione.

Scenario 2

Le attività di dragaggio relative alla realizzazione del 1LF determinano una concentrazione di solido sospeso che produce un medio impatto, con probabilità maggiore del 50 %, nella metà meridionale del SIC a nord. Nella stessa area, gli effetti prodotti dall'elevato tasso di sedimentazione

sono meno estesi rispetto a quelli dovuti all'aumento di torbidità, anche se nella zona prossima alle operazioni di dragaggio si riscontra una zona con significative probabilità ($> 60\%$) di alto impatto. Le operazioni di dragaggio non provocano effetti significativi nel SIC IT6000006 in quanto le probabilità di ricadere nella CLASSE1 (Basso impatto) sono quasi del 100% nell'intera superficie.

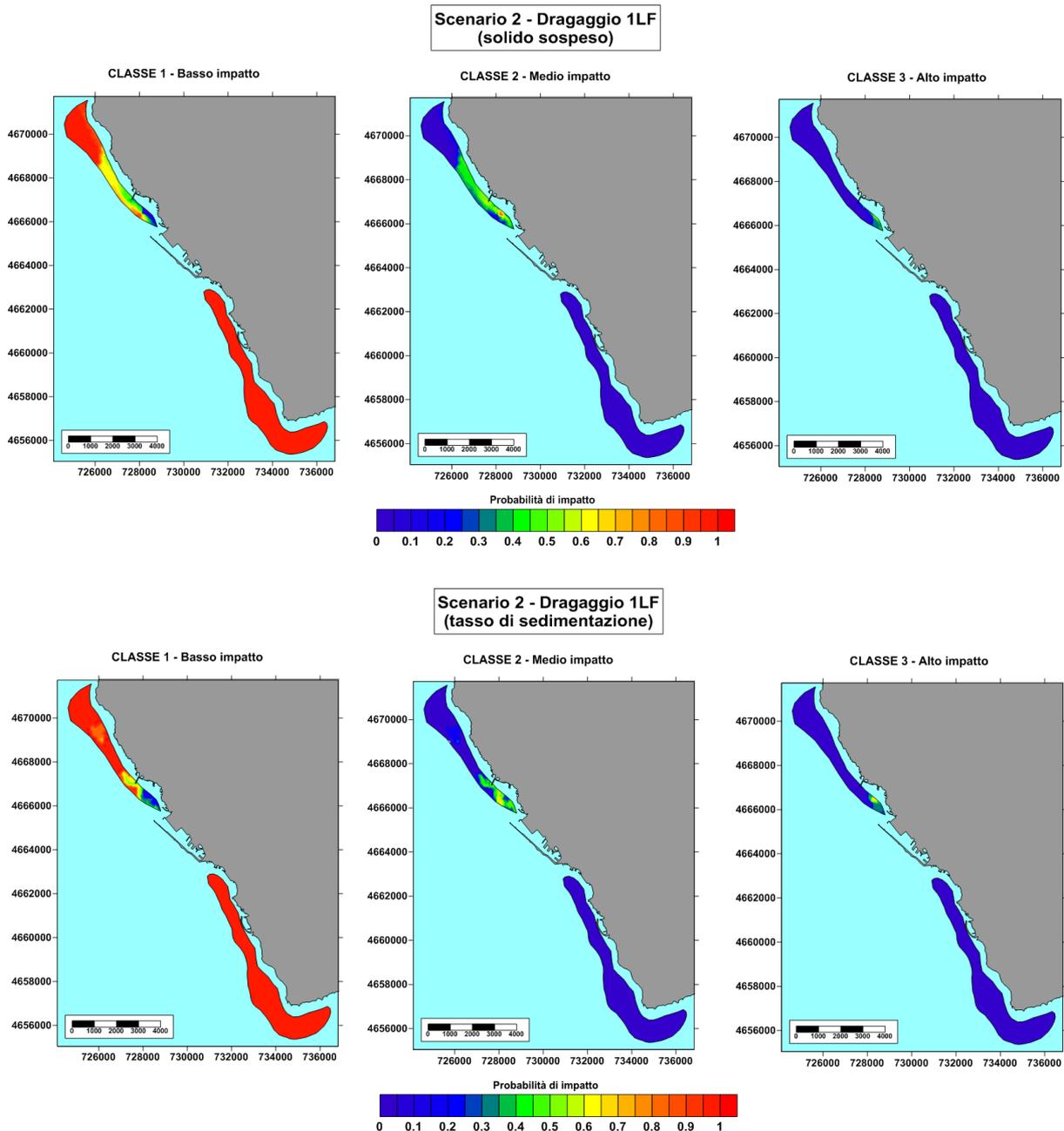


Fig. 6.66 : Mappe dell'indice D3I per bassa, media e alta probabilità d'impatto dovuti alle operazioni di dragaggio per le opere del 1LF. In alto gli impatti generati dal sedimento in sospensione, in basso quelli dovuti al tasso di sedimentazione.

Scenario 3

Le operazioni di dragaggio per la costruzione della DEGM determinano un'alta probabilità di alti e medi impatti nell'intera superficie del SIC a nord, sia da un punto di vista del materiale in sospensione sia per quanto riguarda il tasso di sedimentazione.

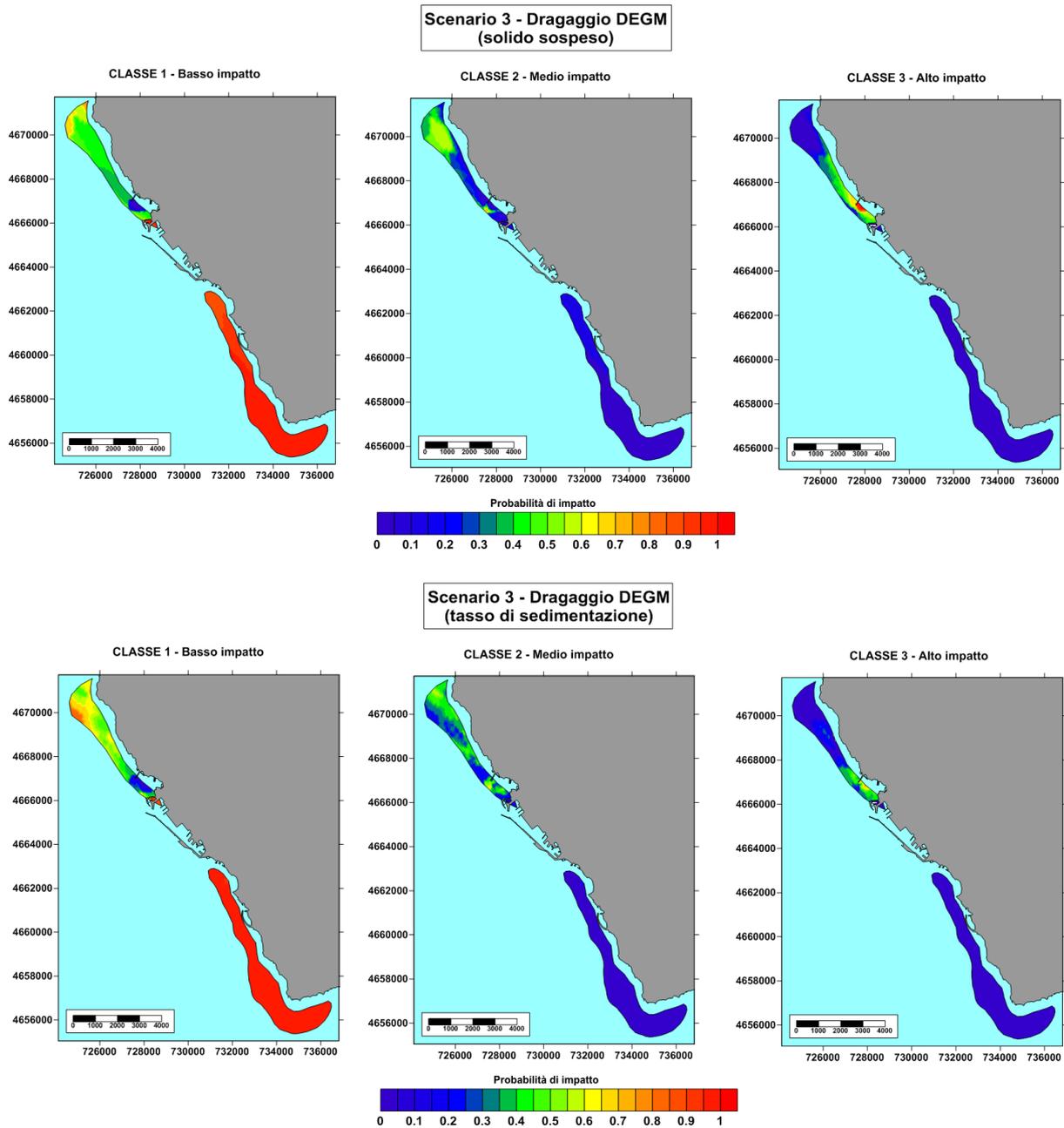


Fig. 6.67 : Mappe dell'indice D3I per bassa, media e alta probabilità d'impatto dovuti alle operazioni di dragaggio per le opere della DEGM. In alto gli impatti generati dal sedimento in sospensione, in basso quelli dovuti al tasso di sedimentazione.

In particolare si verifica una probabilità molto elevata (tra il 60 e il 90 %) di ricadere nella CLASSE 3 nella zona a sud del SIC IT6000005, mentre nella sua parte a nord viene registrata una probabilità maggiore (circa il 55 %) di ricadere nella CLASSE 2. Anche in questo scenario il SIC IT6000006 non subisce impatti dalle attività di dragaggio, ad esclusione della sua parte settentrionale dove ci sono basse probabilità (circa il 5 %) che si possono verificare medi e alti impatti.

Scenario 4

I lavori di dragaggio effettuati per l'apertura a sud del porto di Civitavecchia (2° Lotto Funzionale) producono un aumento di torbidità e di sedimentazione della parte a nord del SIC IT6000006 generando un alta probabilità di medi impatti. In questa area infatti si riscontra una moderata probabilità di ricadere nella CLASSE 2, mentre la possibilità che si verifichino alti impatti è molto bassa (< 5 %). La superficie del SIC a nord è caratterizzata quasi esclusivamente da bassi impatti, ad eccezione della sua parte meridionale dove si registrano moderate probabilità di ricadere nella CLASSE 2 e nella CLASSE 3 (circa il 40 %).

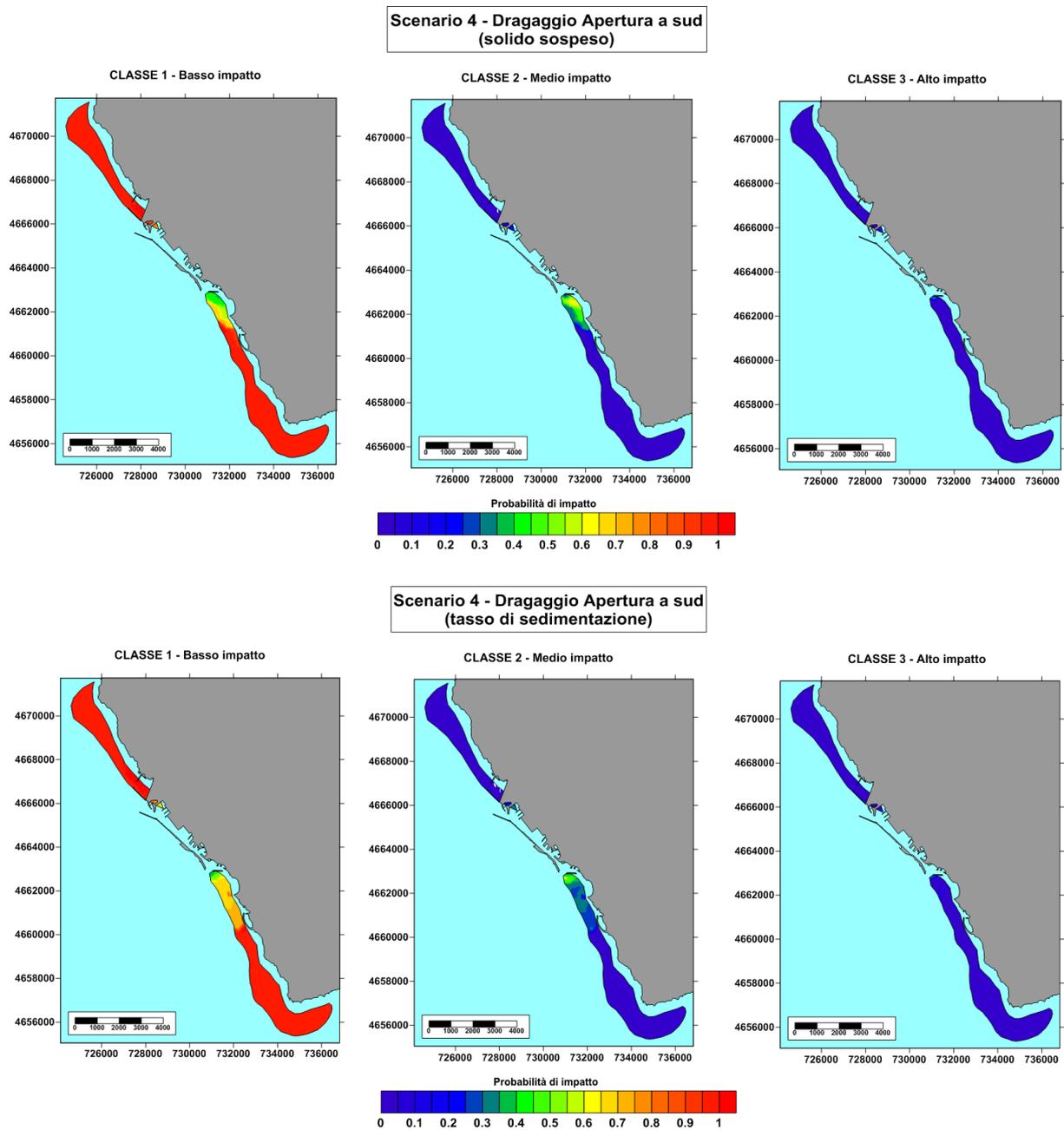


Fig. 6.68 : Mappe dell'indice D3I per bassa, media e alta probabilità d'impatto dovuti alle operazioni di dragaggio per le opere del 2LF (Apertura a sud). In alto gli impatti generati dal sedimento in sospensione, in basso quelli dovuti al tasso di sedimentazione.

7. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dalle attività previste nel progetto di ricerca P.E.D.A.S. (Potential Effects of Dredging Activities on SIC) hanno messo in luce che la metodologia, che prevede l'integrazione tra dati in-situ, osservazioni satellitari e modelli matematici, risulta idonea per analizzare gli impatti potenziali delle attività di dragaggio sulle specie e sugli habitat protetti ai sensi della Direttiva 92/43/CEE (Direttiva Habitat).

Il progetto ha tenuto conto soltanto degli effetti del sedimento fine prodotto dalla costruzione delle nuove opere previste dal PRP del 2004 in quanto le altre possibili fonti di impatto presenti nell'area di studio non hanno alterato negli ultimi anni in maniera significativa la struttura e le funzioni delle comunità presenti nei SIC IT6000005 e IT6000006. Per quanto riguarda le centrali termoelettriche infatti un rapporto CESI del 2002 (riportato in allegato A) evidenzia come la nuova posizione delle prese a mare e degli scarichi delle acque di raffreddamento di TVS e TVN, a seguito della costruzione delle nuove banchine ENEL e della DEGM, non comporterà problemi di ricircolo termico e di conseguenza non ci saranno effetti significativi sugli habitat e sulle specie protette all'interno del SIC IT6000005. Per quanto attiene all'attività di pesca, dati raccolti negli ultimi anni e interviste ai pescatori hanno dimostrato che gli stock ittici non hanno subito una significativa diminuzione.

Al fine di valutare gli impatti dovuti all'aumento di torbidità e del tasso di sedimentazione nelle aree occupate dai SIC IT6000005 e IT6000006 sono stati effettuati quattro diversi scenari che riproducono:

1. l'input dei principali corsi d'acqua presenti nel tratto di costa oggetto di studio;
2. le operazioni di dragaggio per la costruzione delle opere del 1° Lotto Funzionale;
3. le operazioni di dragaggio per la costruzione della Darsena Energetica Grandi Masse;
4. le operazioni di dragaggio per la costruzione delle opere del 2° Lotto Funzionale (Apertura a sud).

La scelta di questi scenari ha consentito di discriminare gli effetti connessi alle torbide fluviali da quelli prodotti dalle operazioni di dragaggio e di analizzare gli impatti connessi con la realizzazione delle opere previste dal PRP del 2004 tenendo conto dell'ordine in cui è prevista la loro costruzione che risulta la seguente: 1° Lotto Funzionale, Darsena Energetica Grandi Masse e 2° Lotto

Funzionale (Apertura a sud).

In questo studio l'utilizzo di modelli matematici ha consentito di analizzare il solido sospeso e il tasso di sedimentazione all'interno dell'area di studio ed in particolare in corrispondenza dei SIC IT6000005 e IT6000006. I risultati delle simulazioni relativi alla corrente marina (DELFT3D-FLOW) e al moto ondoso (SWAN) sono stati validati con i dati raccolti in situ attraverso lo strumento ADCP e con quelli acquisiti dalla boa ondometrica Agiotec. Entrambi i modelli dimostrano una elevata performance nel riprodurre l'altezza d'onda significativa ($R^2 = 0.92$) e la velocità della corrente marina ($R^2 = 0.85$). L'elevata performance dei modelli idrodinamici favorisce anche la corretta riproduzione dei processi di dispersione, sedimentazione e risospensione del sedimento fine. I risultati ottenuti dal modello DELFT3D-WAQ risultano infatti confrontabili con i valori di solido sospeso analizzati da campioni raccolti lungo la colonna d'acqua e con i dati relativi al tasso di sedimentazione stimati attraverso il materiale raccolto nelle trappole per sedimento.

Le simulazioni numeriche che riproducono la dispersione del materiale fine hanno evidenziato che è sempre presente un gradiente perpendicolare alla costa, con concentrazioni più elevate in prossimità della linea di riva e più basse nella zona di largo. I fiumi producono una distribuzione omogenea lungo l'intero tratto di costa oggetto di studio con valori più elevati che si riscontrano durante le condizioni di Ponente; le operazioni di dragaggio determinano invece alte concentrazioni nella parte nord, in corrispondenza del SIC IT6000005, o nella zona sud, in corrispondenza del SIC IT6000006, a seconda delle forzanti meteomarine considerate nelle simulazioni. Confrontando i risultati relativi alla dispersione del materiale dragato appare evidente come i valori di solido sospeso più elevati si verificano durante i lavori per la realizzazione della Darsena Energetica Grandi Masse in quanto comporta una movimentazione di sedimento pari a circa 5 volte quello previsto per la costruzione delle opere del 1° Lotto Funzionale (5340000 m^3 vs 1120000 m^3). La sedimentazione del materiale fine trasportato dai corsi d'acqua avviene principalmente in corrispondenza delle zone limitrofe alle foci fluviali, mentre la deposizione del sedimento fine prodotto dalle attività di dragaggio si verifica principalmente all'interno del porto di Civitavecchia o, in misura minore e durante le condizioni di Ponente, in quello di Riva di Traiano. Intensi processi di risospensione del sedimento si verificano durante il Mezzogiorno che genera estese aree con elevati valori del tasso di sedimentazione sia nella parte meridionale (dal porto di Civitavecchia a Capo Linaro) che in quella settentrionale (in corrispondenza di Punta Sant'Agostino) dell'area di studio.

La stima degli impatti potenziali sugli habitat e sulle specie protette all'interno dei SIC IT6000005 e IT6000006 è stata effettuata attraverso la messa a punto dell'indice D3I (Dredging Indirect Impacts Index) che integra i risultati delle simulazioni della dispersione del sedimento proveniente dai corsi d'acqua e dalle attività di dragaggio. I valori di solido sospeso e del tasso di sedimentazione che delimitano le tre classi di impatto (CLASSE 1 :“Basso impatto”, CLASSE 2 :“Medio impatto”, CLASSE 3 :“Alto impatto”) sono stati scelti in maniera arbitraria, senza tener conto delle soglie critiche per la sopravvivenza della *Posidonia oceanica*, della *Pinna nobilis* e delle biocostruzioni coralligene che allo stato attuale delle conoscenze non risultano ancora ben definiti. Di conseguenza, attraverso i risultati dell'indice D3I, possono essere definite quali tra le quattro sorgenti considerate ha una maggiore probabilità di impatto all'interno dei due SIC analizzati. Tra le due aree protette quella che subisce i maggiori impatti dovuti sia alle torbide fluviali che alle attività di dragaggio è il SIC IT6000005. All'interno di questa area si registrano infatti moderate probabilità (comprese tra il 30 e il 50 %) di ricadere nella CLASSE 3 che possono essere imputate all'azione dei corsi d'acqua che causano effetti nella parte settentrionale e alle attività di dragaggio (1LF e DEGM) che influenzano la zona meridionale. Il SIC IT6000006, localizzato a sud del porto di Civitavecchia, riceve l'impatto maggiore dal materiale dragato per la realizzazione del 2° Lotto Funzionale (Apertura a sud) e dal sedimento fine che fuoriesce dalla foce del Marangone. In entrambi in casi comunque la probabilità che si verifichi un alto impatto è minore del 5 %.

BIBLIOGRAFIA

Airoldi, L. & Cinelli, F. 1997. Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 215, 269–288.

Angelucci A., Borelli G. B., Burrigato F., Tortora P. 1979. Risultati preliminari delle indagini “placers” nel tratto di piattaforma continentale compreso tra Torre Valdaliga ed il promontorio dell’Argentario. *Atti del Convegno Scientifico CNR “Oceanografia e Fondi Marini”*, Roma 5-7 Marzo 1979: 1-13.

Anselmi B., Brondi A., Ferretti O., Rabottino L. 1976. Studio mineralogico e sedimentologico della costa compresa fra Ansedonia e la foce del Fiume Mignone. *Soc. It. Min. Petr. Rendiconti*, 32: 311-348.

Benoit, G., Corneau, A., 2005. A sustainable future for the Mediterranean. In: *The Blue Plan’s Environment and Development Outlook*. Earthscan, London, UK, p. 450.

Berriolo G., Sirito G., 1985. Individuazione dell’equilibrio psammografico di dettaglio, interpretazione dell’evoluzione storica e previsione dell’ulteriore evoluzione litoranea. Studio generale sul regime delle spiagge laziali e delle isole pontine, Studio Volta di Savona per conto della Regione Lazio, pp 131-132.

Bianchi, C. N., 1997. Climate change and biological response in the marine benthos. *Proceedings of the Italian Association for Oceanology and Limnology* 12(1): 3–20.

Bianchi, C. N., 2002. Bioconstruction in marine ecosystems and Italian marine biology. *Biologia marina mediterranea* 8(1): 112–130.

Bianchi, C. N. & C. Morri, 2004. Climate change and biological response in Mediterranean Sea ecosystems – a need for broad-scale and long-term research. *Ocean Challenge* 13(2): 32–36

- Blomqvist, S., Hakanson, L., 1981. A review on sediment traps in aquatic environments. Arch. Hydrobiol. 91 (1), 101–132.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I: Model description and validation. J. Geophys. Res. 104, 7649-7666.
- Brondi A., Grauso S., Zarlenga F., 1988 – Le omogeneità geologico-territoriali del paesaggio italiano quale strumento di conoscenza ambientale.- Rapporto interno ENEA.
- Brondi A., Di Maio A., Manfredi Frattarelli F., 2002 – Influenza dell'ambiente fisico continentale sulla contaminabilità dell'ambiente sedimentario marino. - Indagine sulla contaminazione di metalli pesanti e idrocarburi nei sedimenti superficiali dei mari italiani. CONISMA.
- Brondi, A., Di Maio, A., Marcelli, M., 2008. Principi logici per il monitoraggio dell'ambiente costiero. Geologia dell'Ambiente 2, 19-35.
- Carboni M.G., Matteucci R., Tortora P. 1980. La piattaforma costiera dell'alto Lazio: dalla foce del fiume Marta a Torre Sant'Agostino. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. Serie A, 87: 193-230
- Centoducati G., Tarsitano E., Bottalico A., Marvulli M., Lai O.R., Crescenzo G. 2007. Monitoring of the Endangered *Pinna nobilis* Linné, 1758 in the Mar Grande of Taranto (Ionian Sea, Italy). Environmental Monitoring and Assessment, 131: 339-347.
- Cocito S., Ferdeghini F. 2001. Carbonate standing stock and carbonate production of the bryozoan *Pentapora fascialis* in the north-western Mediterranean. Facies, 45: 25-30.
- 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 continentale. Regione Lazio. Tip. Borgia. Roma: 40-61.

Dalla Via, J., Sturmbauer, C., Schonweger, G., Sotz, E., Mathekowitsch, S., Stifter, M., Rieger, R., 1998. Light gradients and meadow structure in *Posidonia oceanica*: ecomorphological and functional correlates. Marine Ecology Progress Series 163, 267–278.

Drew, E.A., 1978. Factors affecting photosynthesis and its seasonal variation in the seagrasses *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers, and *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Mediterranean. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 31, 173–194

Duarte, C.M., 1991. Seagrass depth limits. Aquatic Botany 40, 363–377.

Frezza V., Mateu-Vicens G., Gaglione G., Baldassarre A., Brandano M. 2011. Mixed carbonate-siliclastic sediments and benthic foraminiferal assemblages from *Posidonia oceanica* seagrass meadows of the central Tyrrhenian continental shelf (Latium, Italy). Ital.J.Geosci. Boll.Soc.Geo.It. Vol.130, No.3, 352-369.

Gacia, E., Granata, T.C. , Duarte, C.M., 1999. An approach to measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. Aquatic Botany 65, 255–268.

Gervais, M., Balouin, Y, Belon, R., 2012. Morphological response and coastal and coastal dynamics associated with major storm events along Gulf of Lions Coastline, France. Geomorphology 143-144 69-80.

Giraud G. 1977. Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doctorat 3e cycle, Université Aix-Marseille II, 1-150.

Gordon, D.M., Grey, K.A., Chase, S.C., Simpson, C.J., 1994. Changes to the structure and productivity of a *Posidonia sinuosa* meadow during and after imposed shading. Aquatic Botany 47, 265–275.

- Hardgrave, B.T., Burns, N.M., 1979. Assessment of sediment trap collection efficiency. *Limnol. Oceanogr.* 24, 1124–1136.
- Hayes D., Wu P.Y., 2001. Simple approach to TSS source strength estimates. In *Proceedings of the WEDA XXI Conference, Houston, TX*, pp. 25-27.
- Holthuisen, L.H., Booij, N., Ris, R.C., 1989. A prediction model for stationary, short crested waves in shallow water with ambient current. *Coastal Engineering* 13, 23-54.
- Holthuisen, L.H., Booij, N., Ris, R.C., 1993. A spectral wave model for the coastal zone. *Proceeding of the 2nd International Symposium on the Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans*, pp. 630-641.
- Irving, A. D. & Connell, S. D. 2002. Sedimentation and light penetration interact to maintain heterogeneity of subtidal habitats: algal versus invertebrate dominated assemblages. *Marine Ecology Progress Series*, 245, 83-91.
- Krone, R., 1962. Flume studies of transport of sediment in estuarial shoaling processes (Final report). Tech. rep., University of California, Hydraulics Engineering and Sanitary Engineering Laboratory, Berkeley, USA. 148, 151, 152, 271
- La Monica G. B., Raffi R., 1996. Morfologia e sedimentologia della spiaggia e della piattaforma continentale interna. In: *Il Mare del Lazio. Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Regione Lazio Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità: 62-105*
- Laboral J. 1987. Marine biogenic construction in the Mediterranean. *Sci. Rep. Port-Cros.Natl.*, 13: 97-126
- Lesser, G.R., Roelvink, J.A., van Kester, J.A.T.M., Stelling, G.S., 2004. Development and validation of a three dimensional morphological model. *Coastal Eng.* 51, 883-915.

Lorenzen C.J. (1967). Determination of chlorophyll and phaeopigments spectrophotometric equations. *Limnology Oceanography*, 22(4)709-722.

Los, F.J., Tatman, S., Minns, A.W., 2004. Flyland—A Future Airport in the North Sea? An Integrated Modelling Approach for Marine Ecology, 6th International Conference on Hydroinformatics - Liong, Phoon & Babovic (eds.) World Scientific 2004, ISBN 981-238-787-0

Manzanera, M., Perez, M., Romero, J., 1995. Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach. In: Proceedings of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 95, October 24–27 1995, Taragona, Spain

Manzanera, M., Pérez, M., Romero, J., 1998. Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation* 4, 67–70.

Mendoza, E.T., and Jimenez, J.A., 2006. Storm-Induced Beach Erosion Potential on the Catalanian Coast. *Journal of Coastal Research*, 48, 81-88.

Noli A., De Girololamo P., Sammarco P., 1996. Parametri meteomarini e dinamica costiera. In: Il Mare del Lazio. Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Regione Lazio Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità , pp 285-315.

Rodi, W., 1993. Turbulence models and their application in hydraulics. A state of the art review. CRC Press.

Partheniades, E., 1962. A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water. Ph.D. thesis, University of California, Berkeley, USA. 182 p. 148, 152, 271

Richardson, C.A., Kennedy, H.A., Duarte, C.M., Proud, S.V.P., 1999. Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from S.E. Spanish Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* meadows. *Mar. Biol.* 133, 205 – 212.

Ruiz, J.M., Romero, J., 2003. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine*

Pollution Bulletin 46, 153–1523.

Tortora P. 1989 (a). I fondali antistanti la costa di Montalto di Castro (alto Lazio): caratteristiche ed evoluzione tardo-quadernaria. *Il Quaternario*, 2,2: 175-187.

Tortora P. 1989 (b). La sedimentazione olocenica nella piattaforma continentale interna tra il Promontorio di Monte Argentario e la Foce del Fiume Mignone (Tirreno centrale). *Giornale di Geologia*, ser. 3, vol. 51/1: 93 117.

Van Gils, J.A.G., Ouboter M.R.L., De Rooij M.N., 1993. Modelling of water and sediment quality in the Scheldt Estuary. *Netherland J. Aquat. Ecol.* 27(2-4), 257-265.

Zavodnik D, Hrs-Brenko M, Legac M 1991. Synopsis on the fan shell *Pinna nobilis* L. in the eastern Adriatic Sea. In: Boudouresque CF, Avon M, Gravez V (eds) *Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée*. GIS Posidonie, Marseille, p 169–178



Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

ALLEGATO A

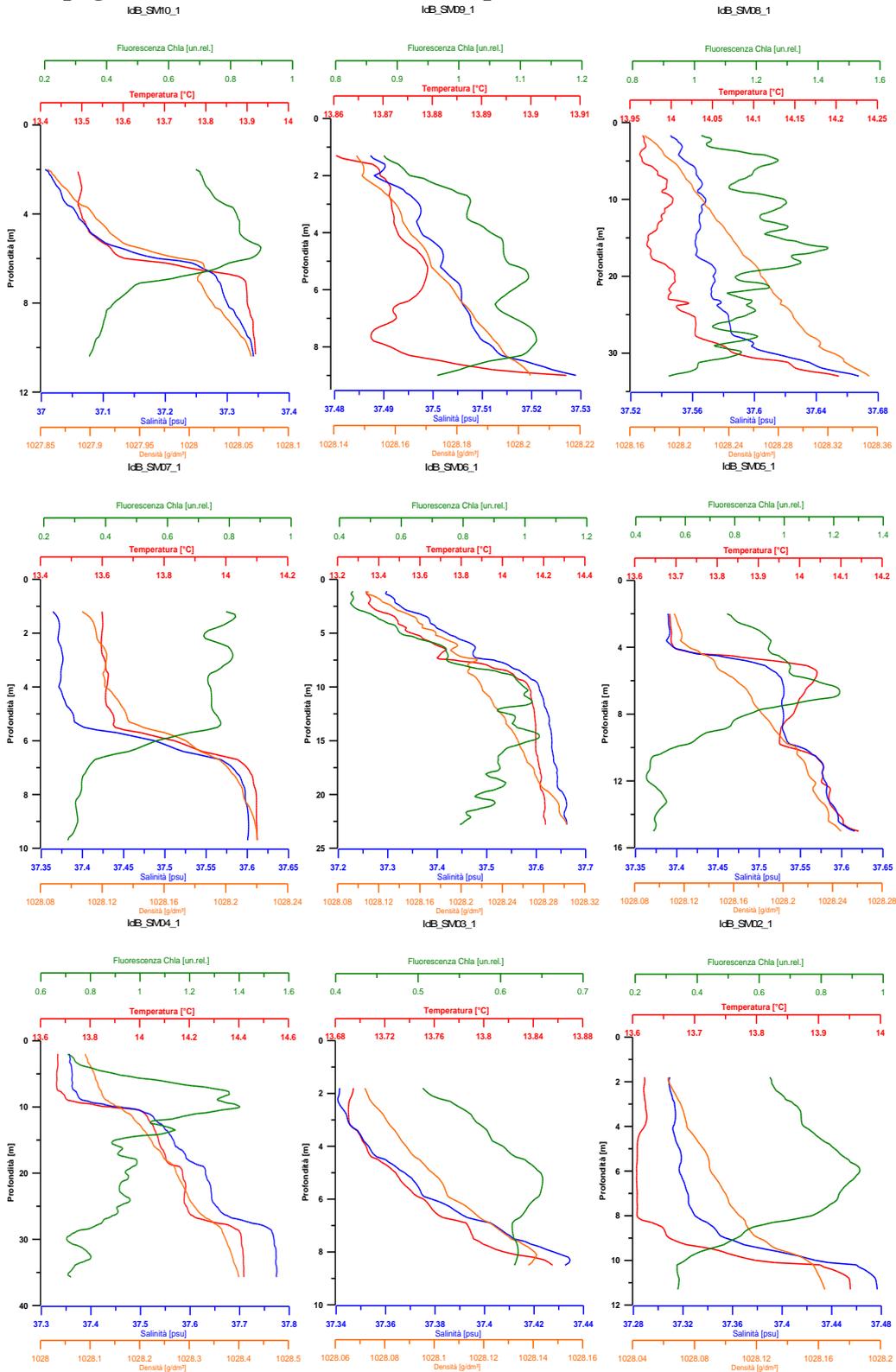
Studio relativo alla “Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento delle centrali di Torrevaldaliga Nord e Sud in Presenza delle Nuove Banchine Enel e con Scarico TVS Esterno alla Darsena” (Rapporto CESI, 2002)

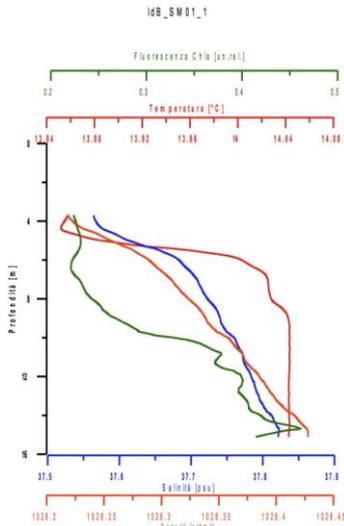


Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

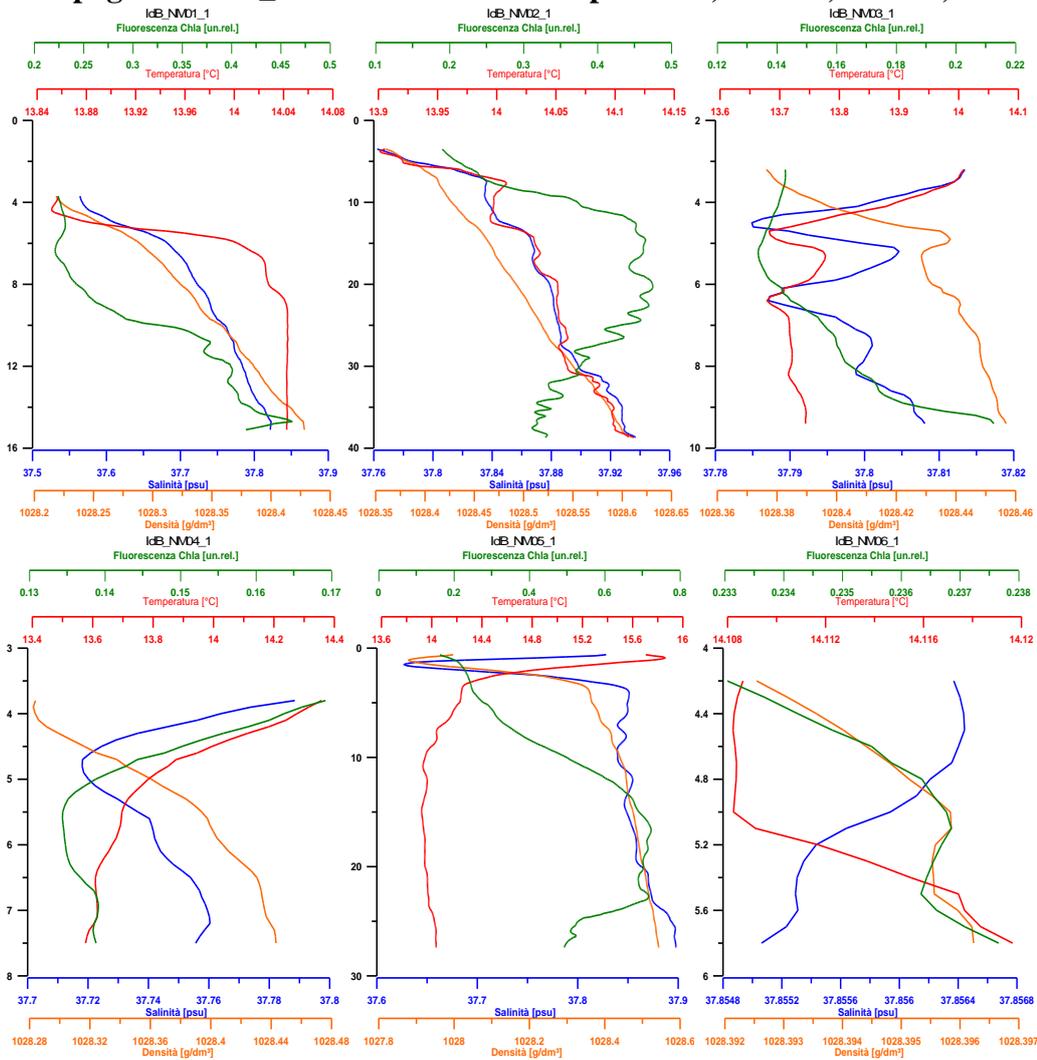
ALLEGATO B

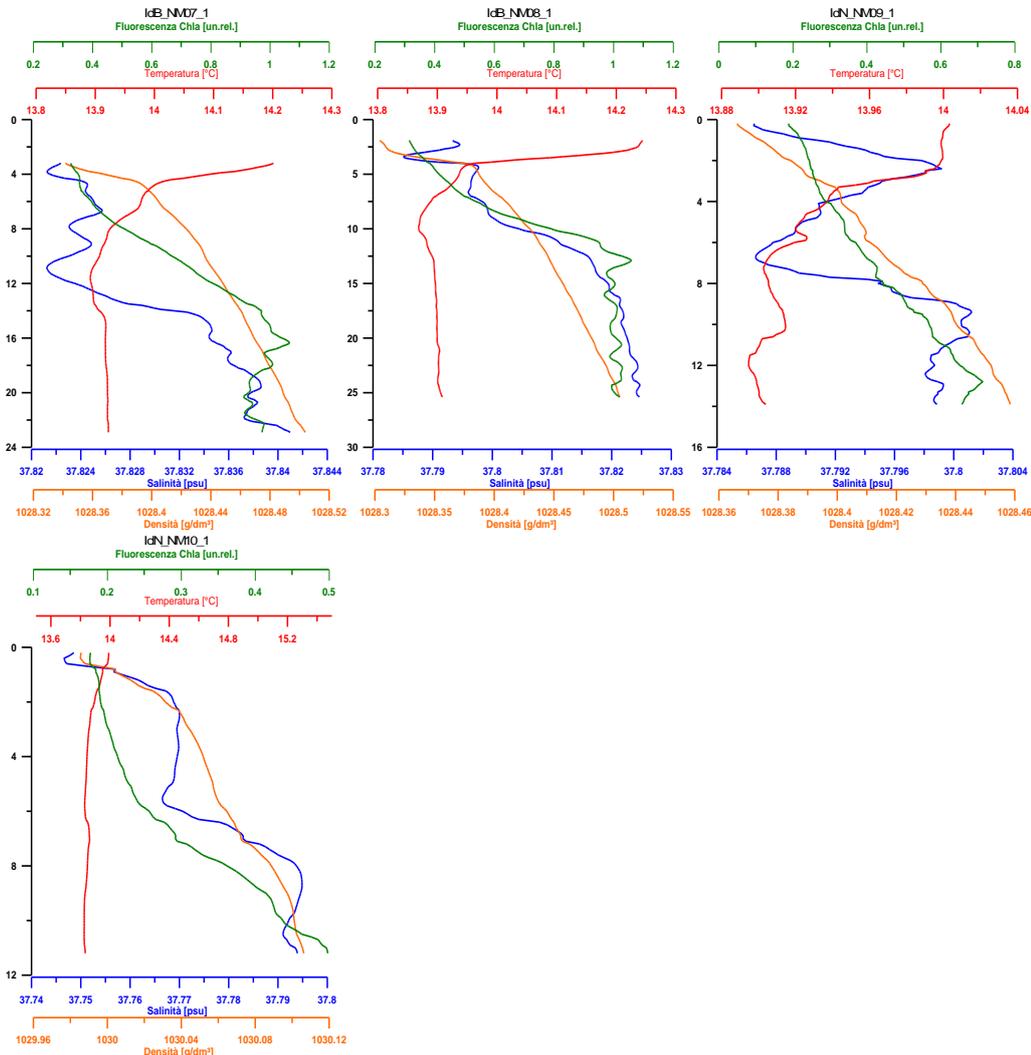
Campagna SUD_1 - Profili Verticali temperatura, salinità, densità, fluorescenza clorofilla *a*.



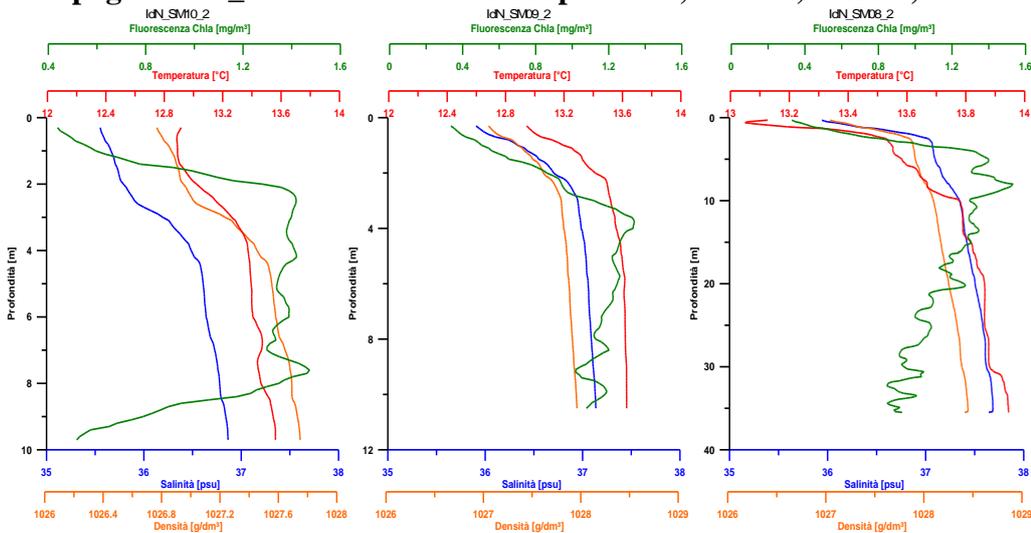


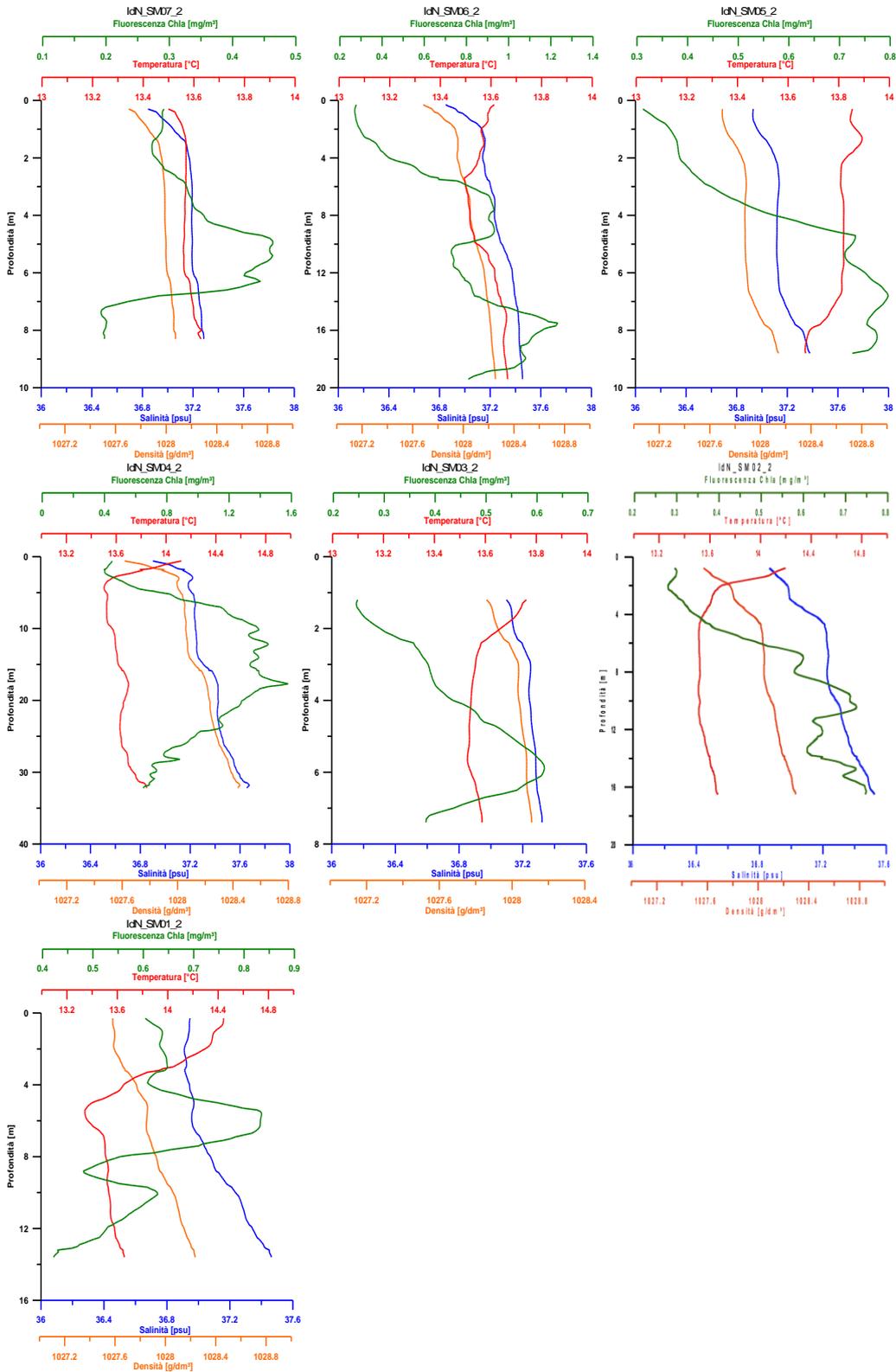
Campagna NORD_1 - Profili Verticali temperatura, salinità, densità, fluorescenza clorofilla *a*



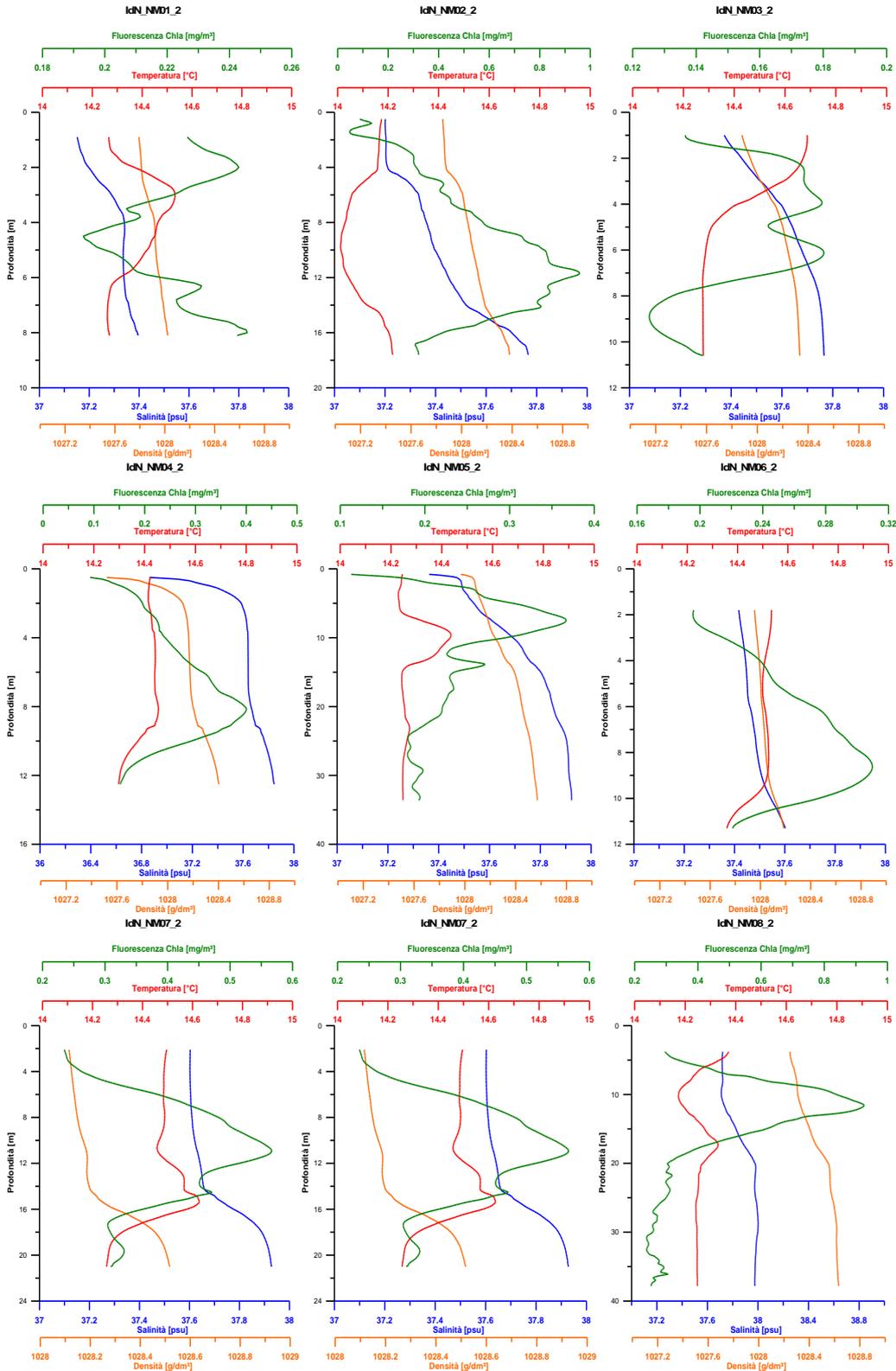


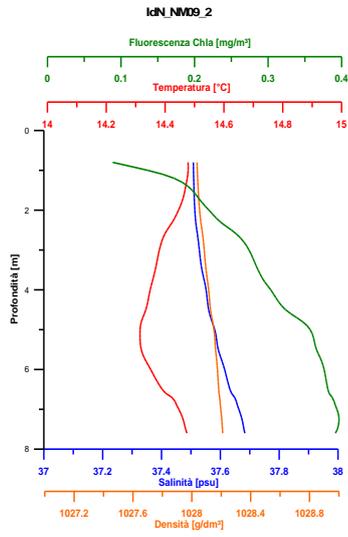
Campagna SUD_2 - Profili Verticali temperatura, salinità, densità, fluorescenza clorofilla α



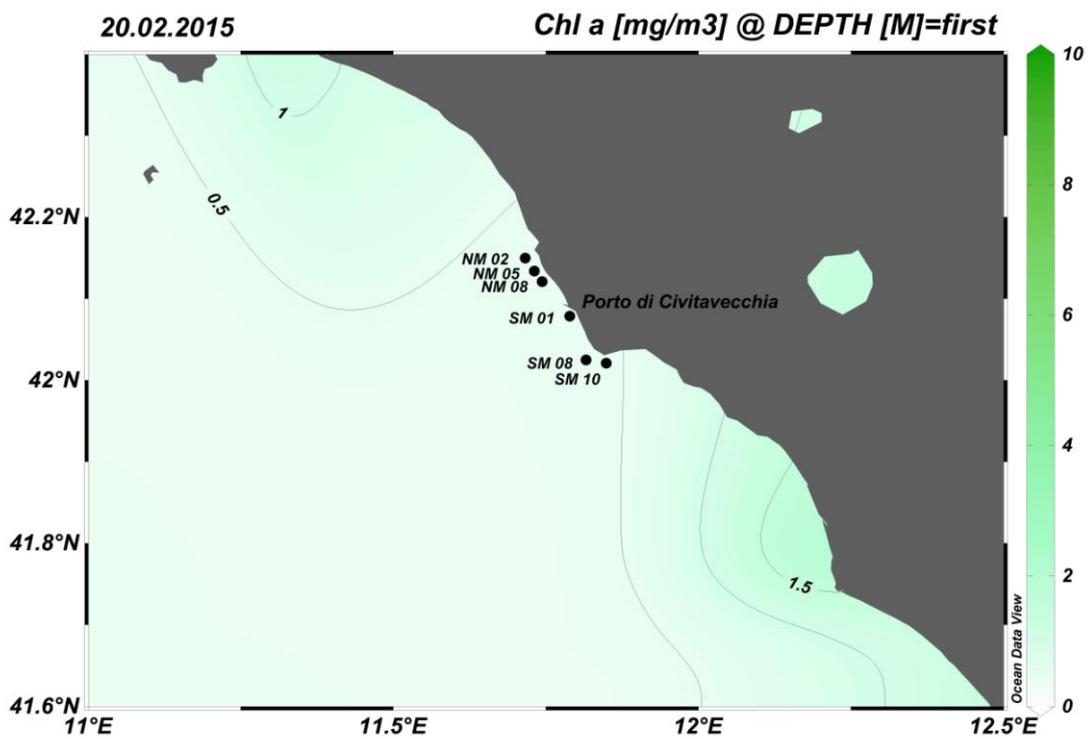
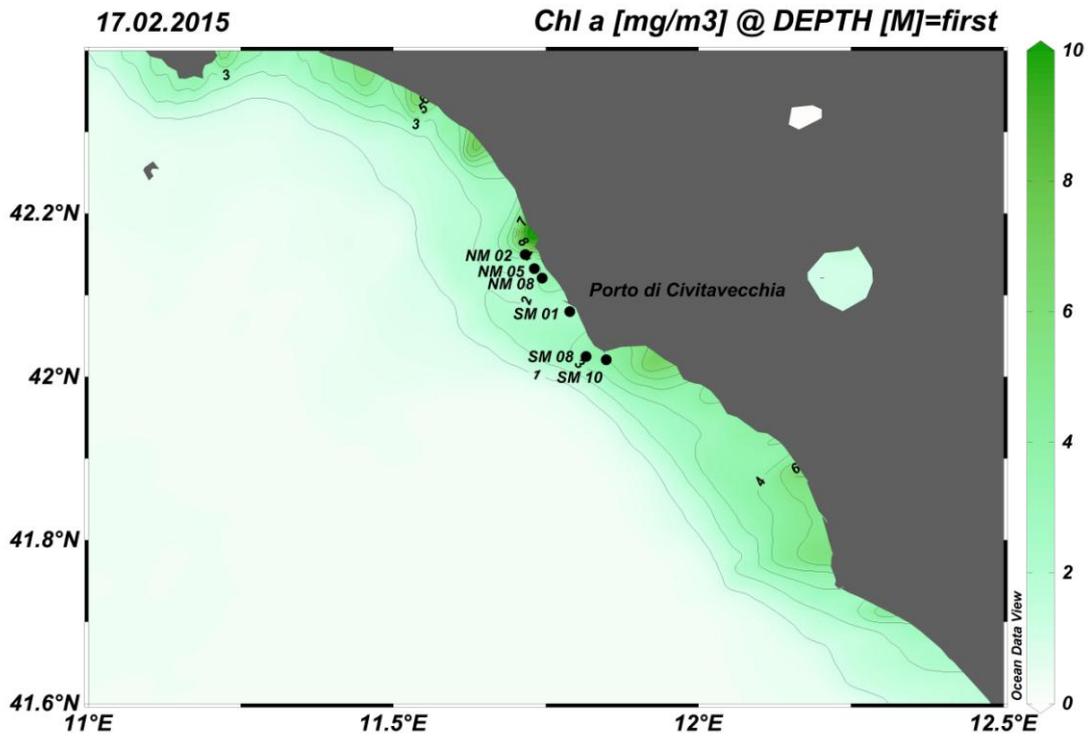


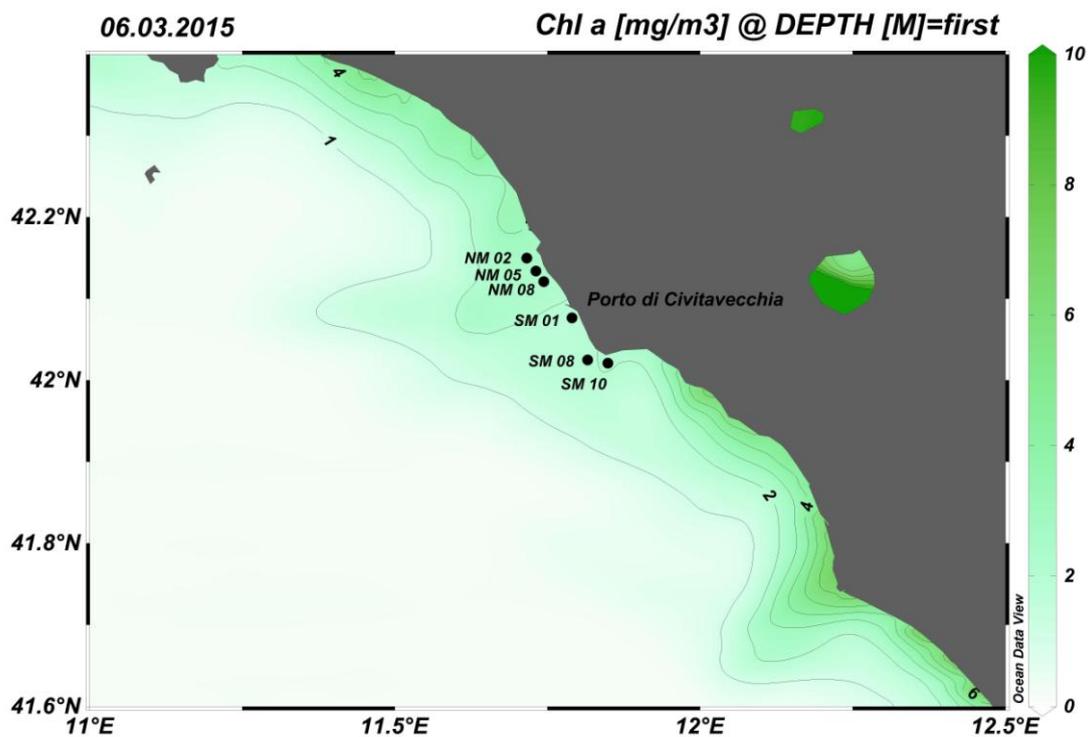
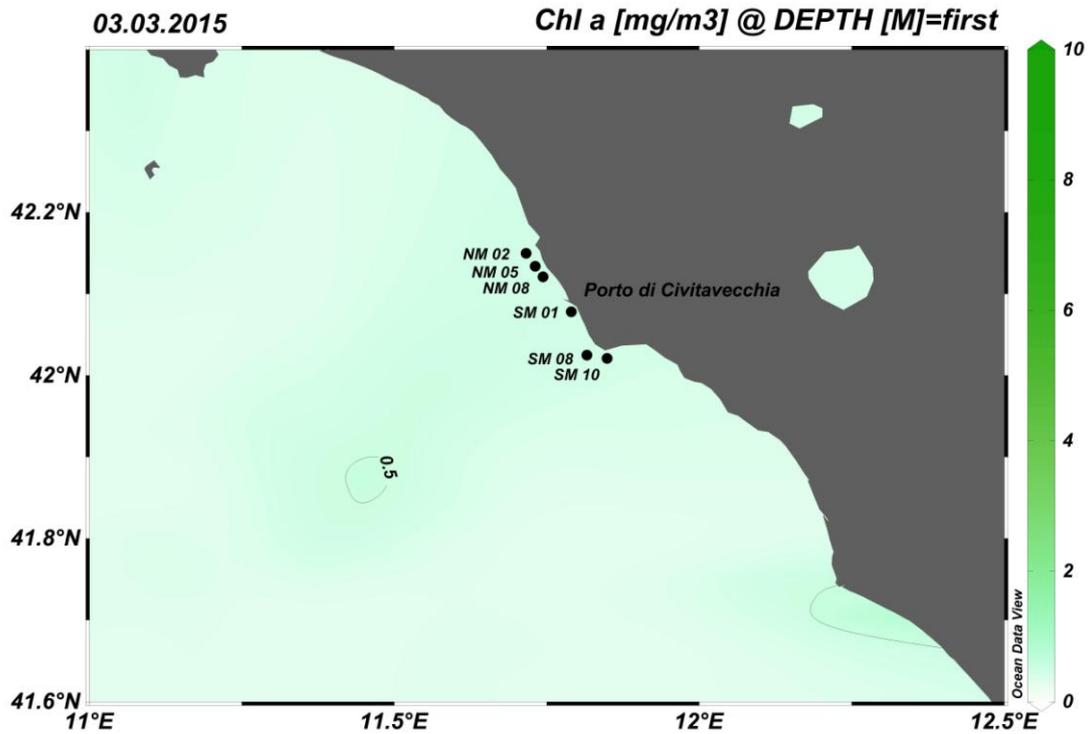
Campagna NORD_2 - Profili Verticali temperatura, salinità, densità, fluorescenza clorofilla *a*

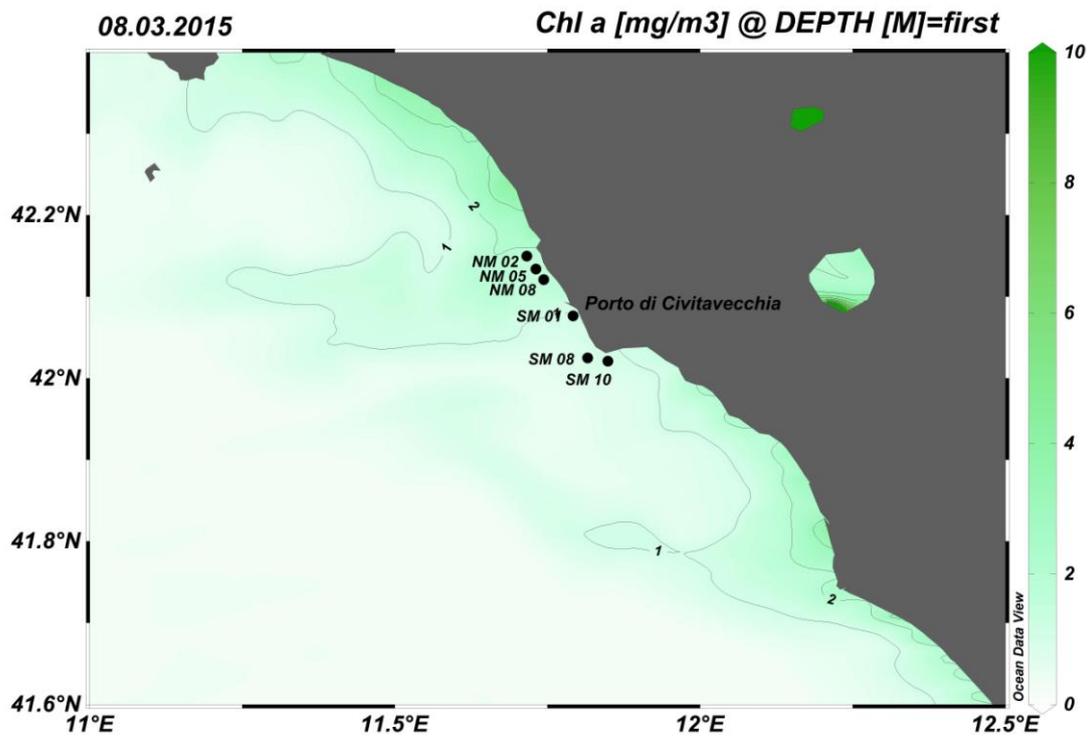
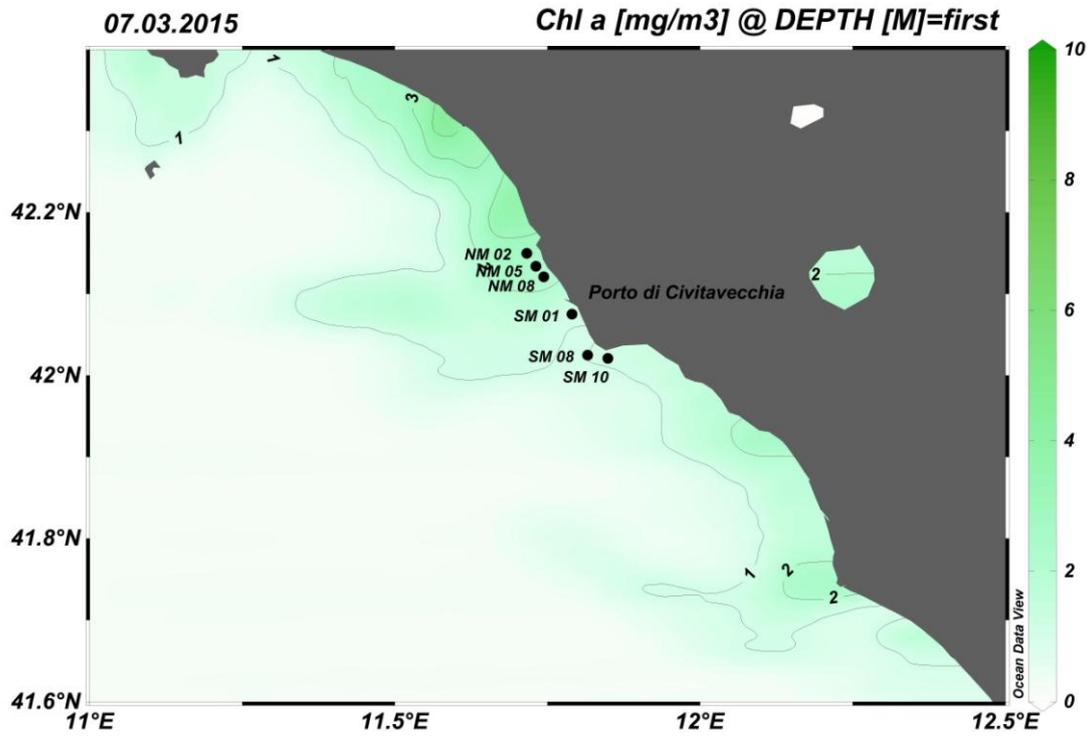


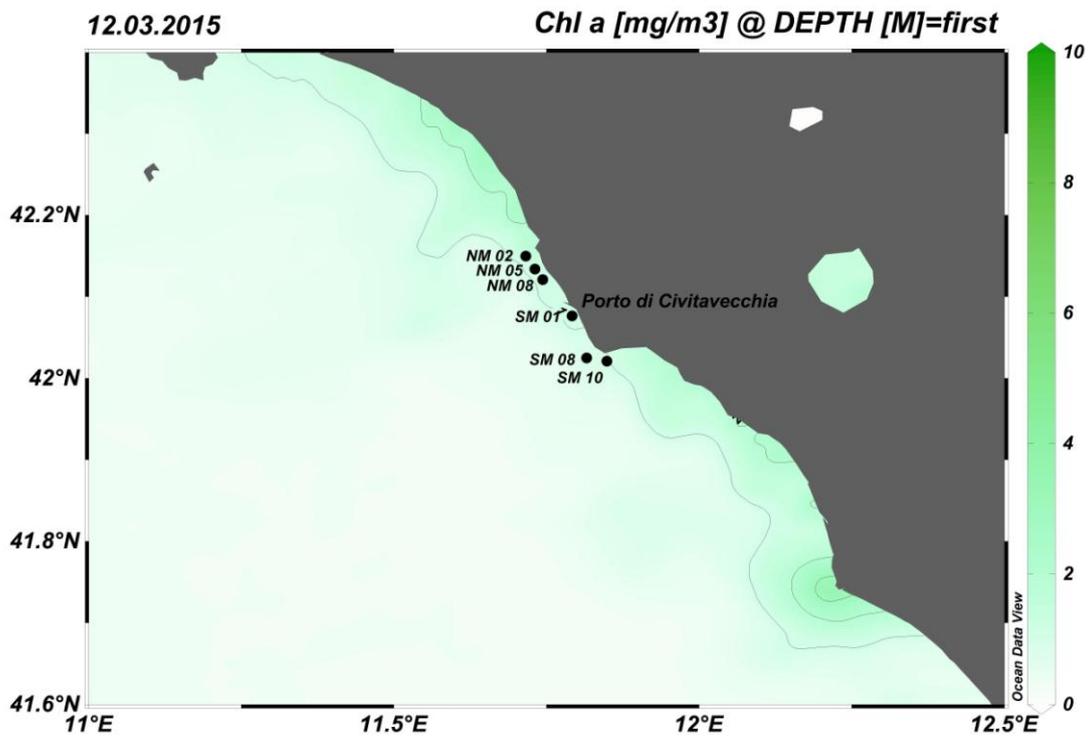
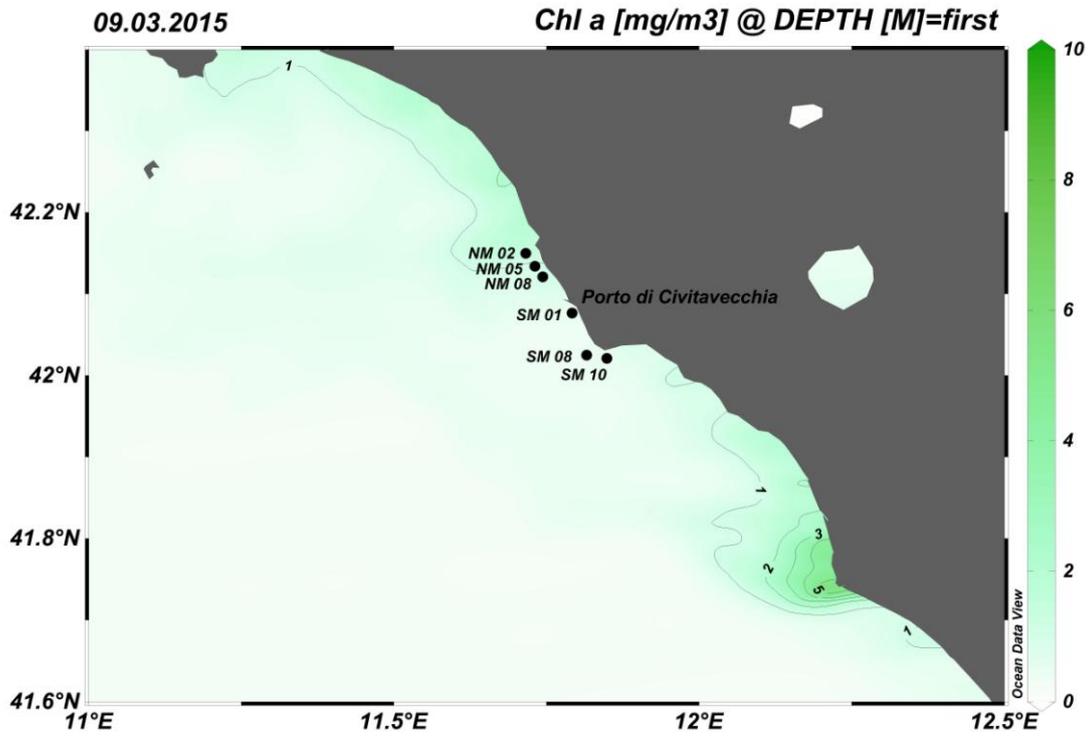


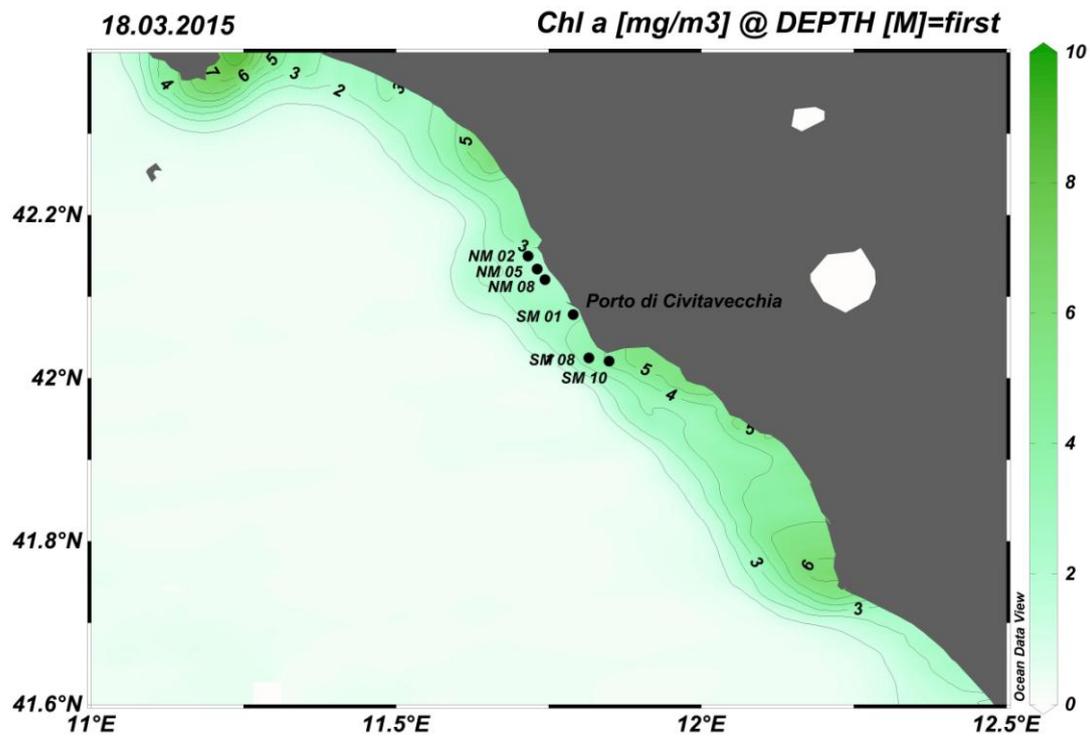
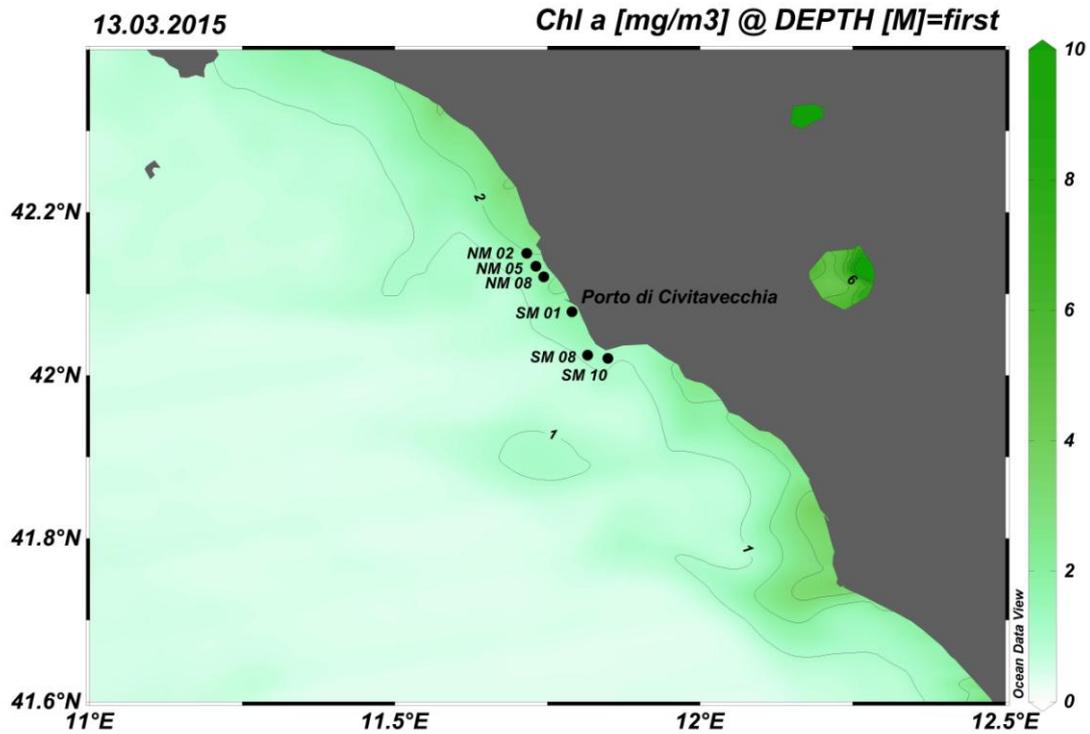
Mappe satellitari di distribuzione della Clorofilla a.

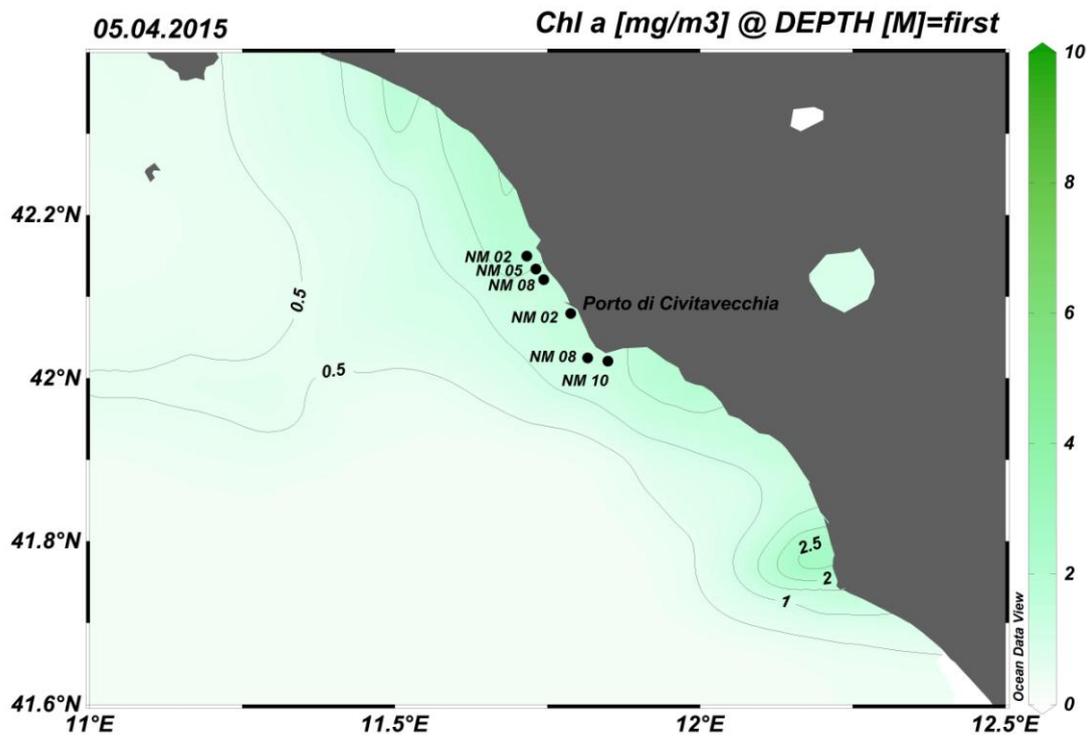
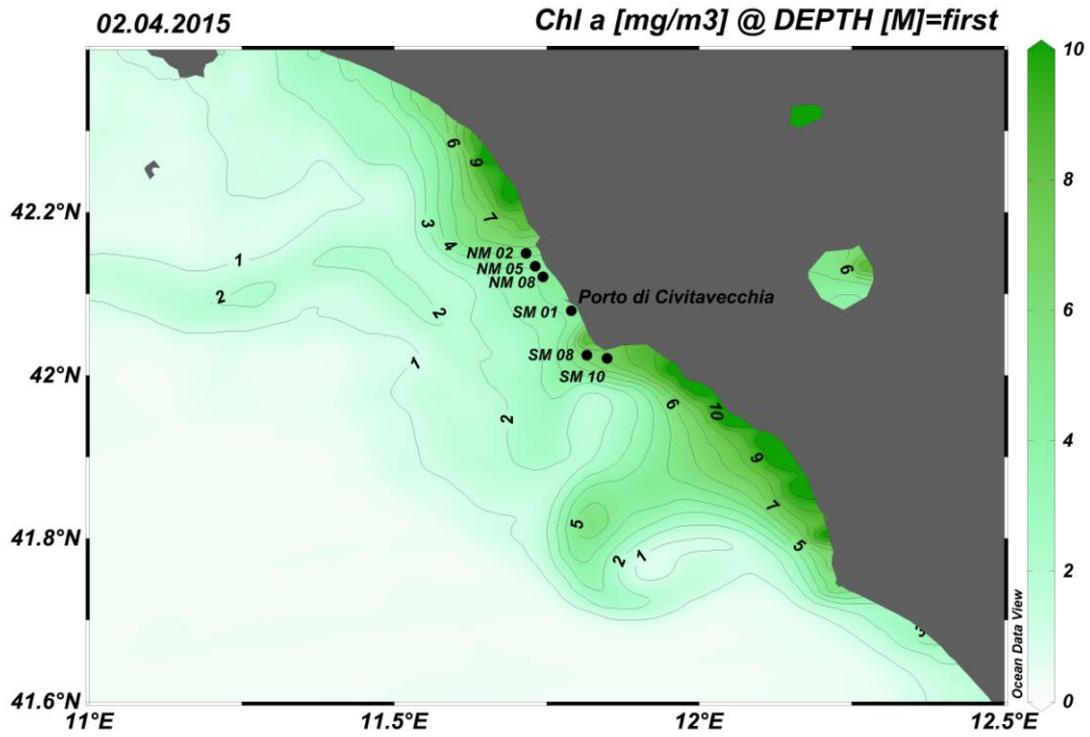


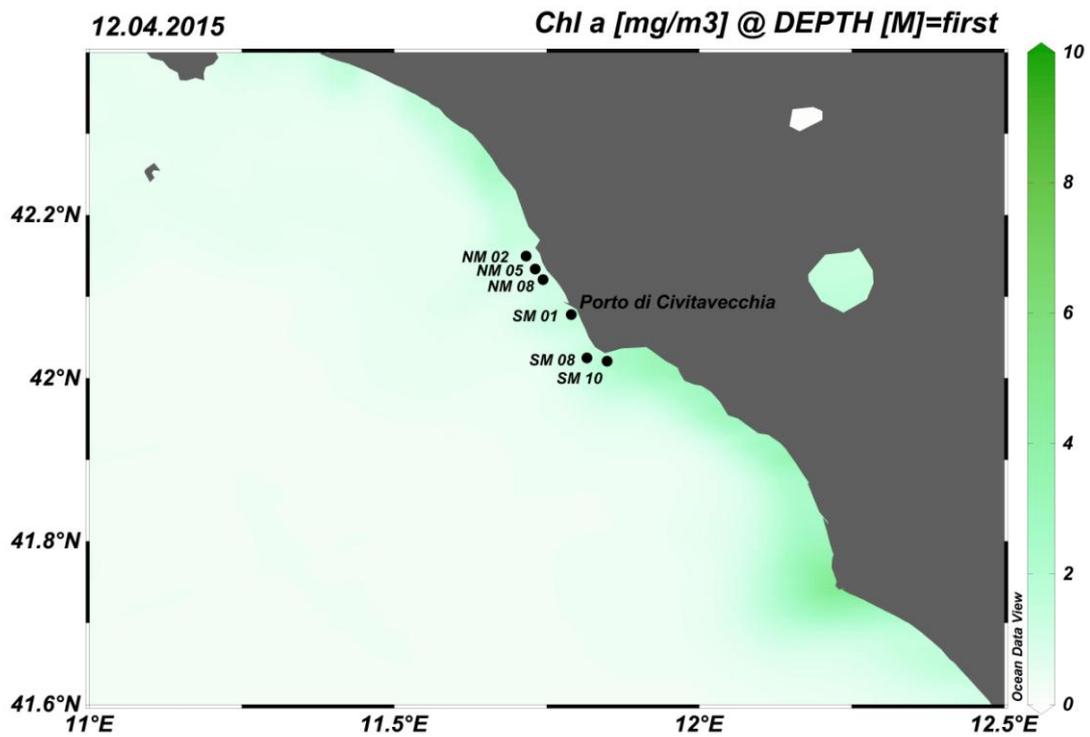
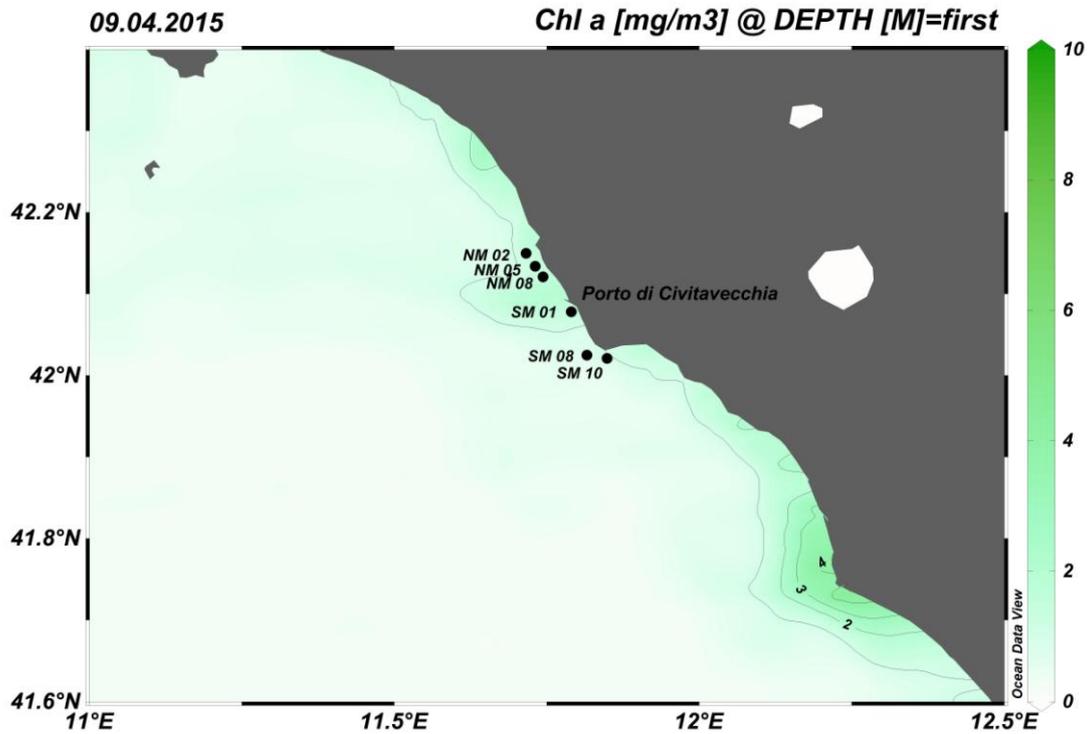




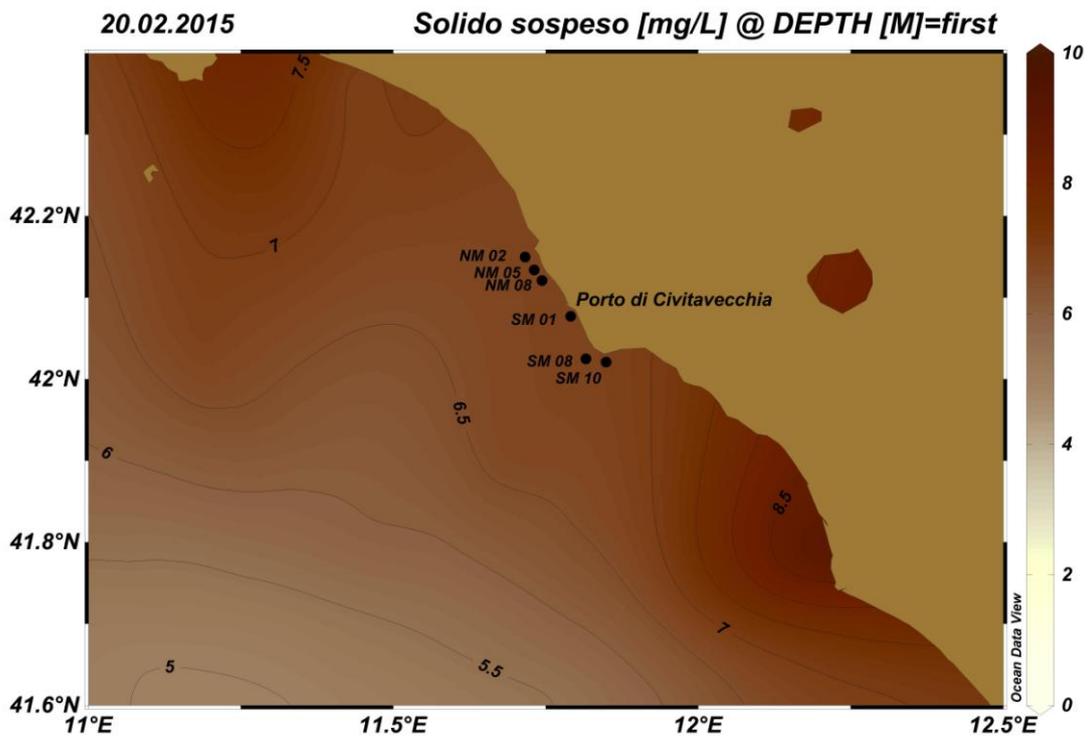
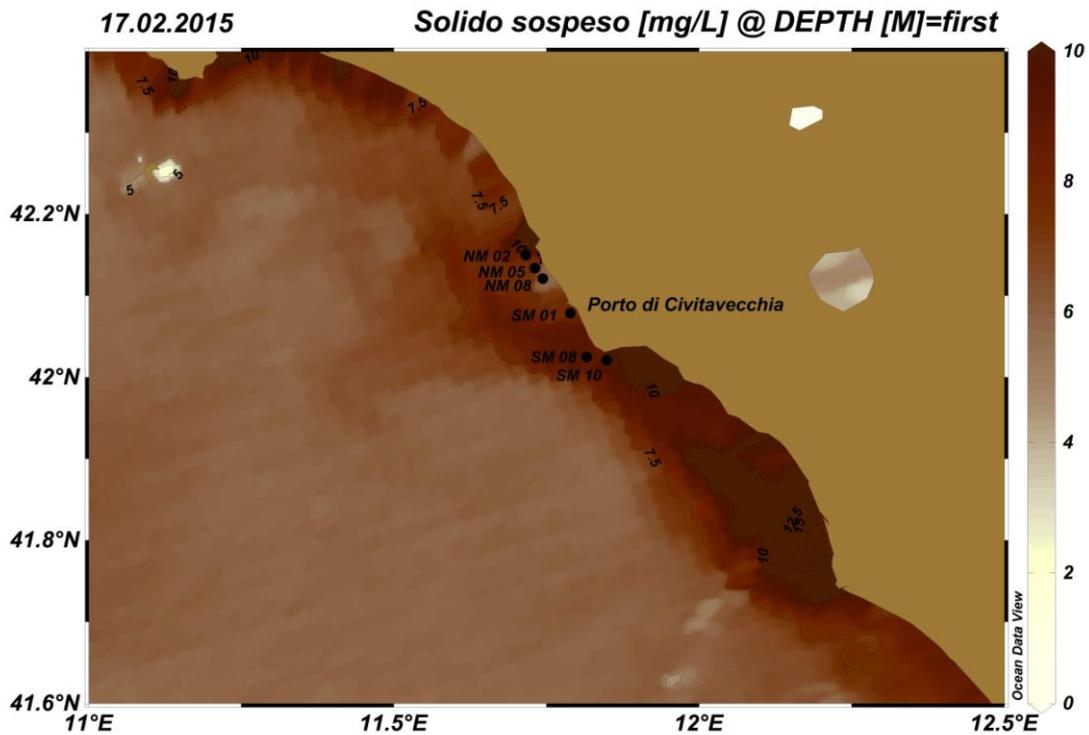


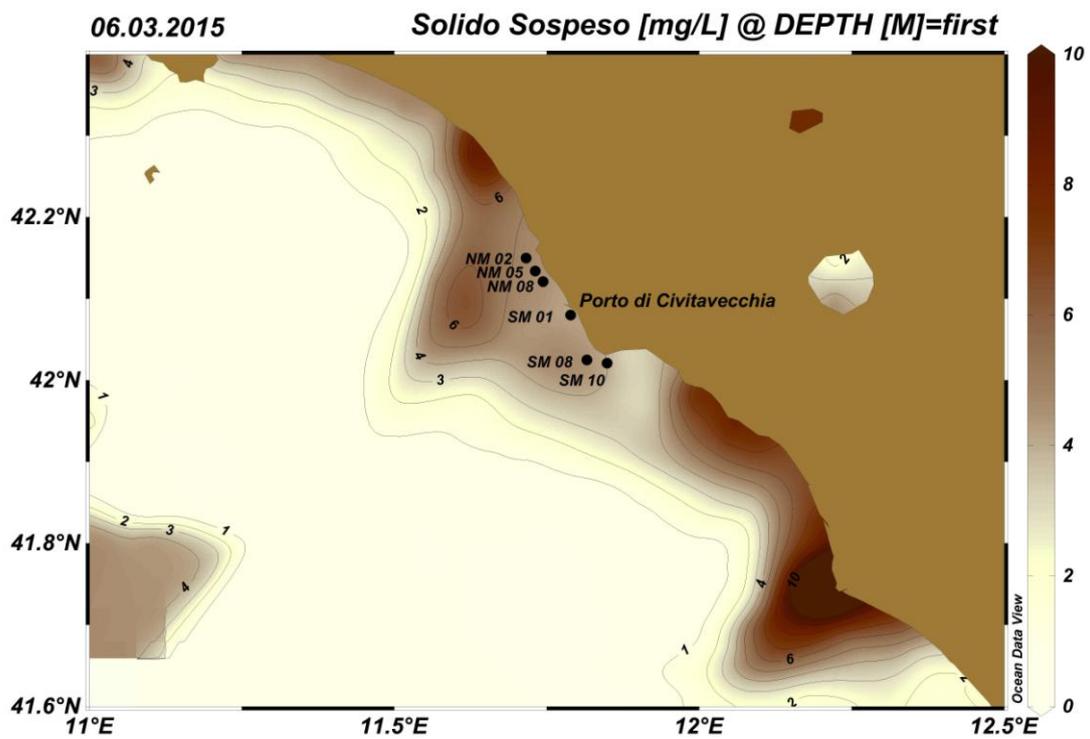
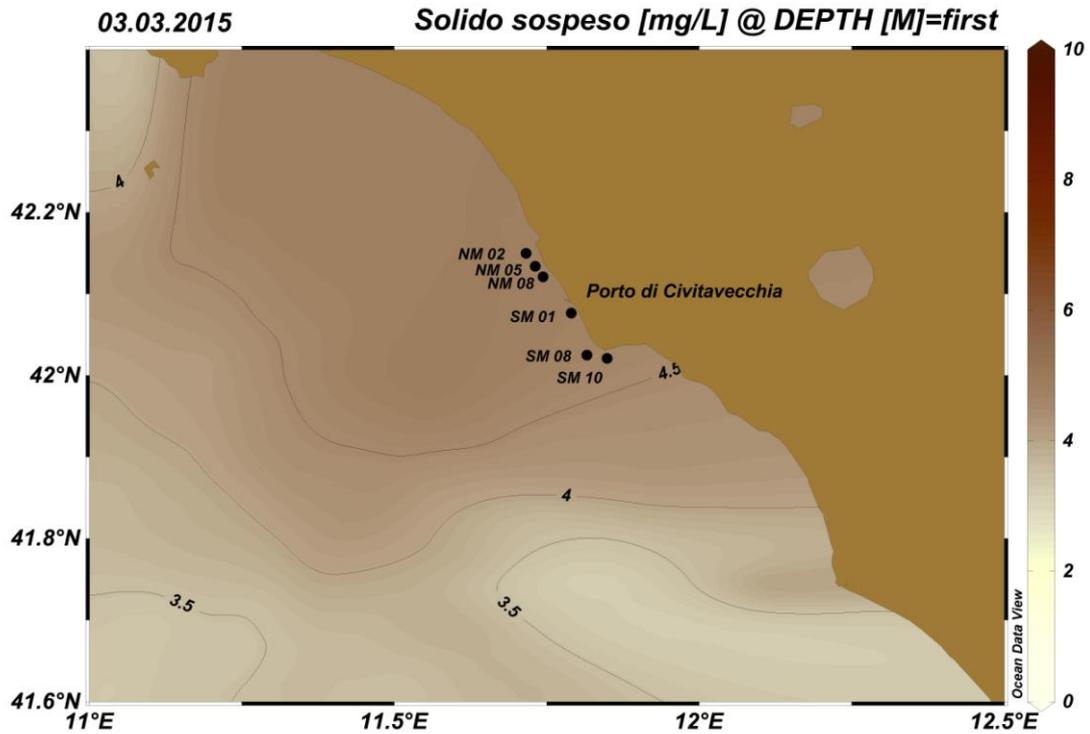


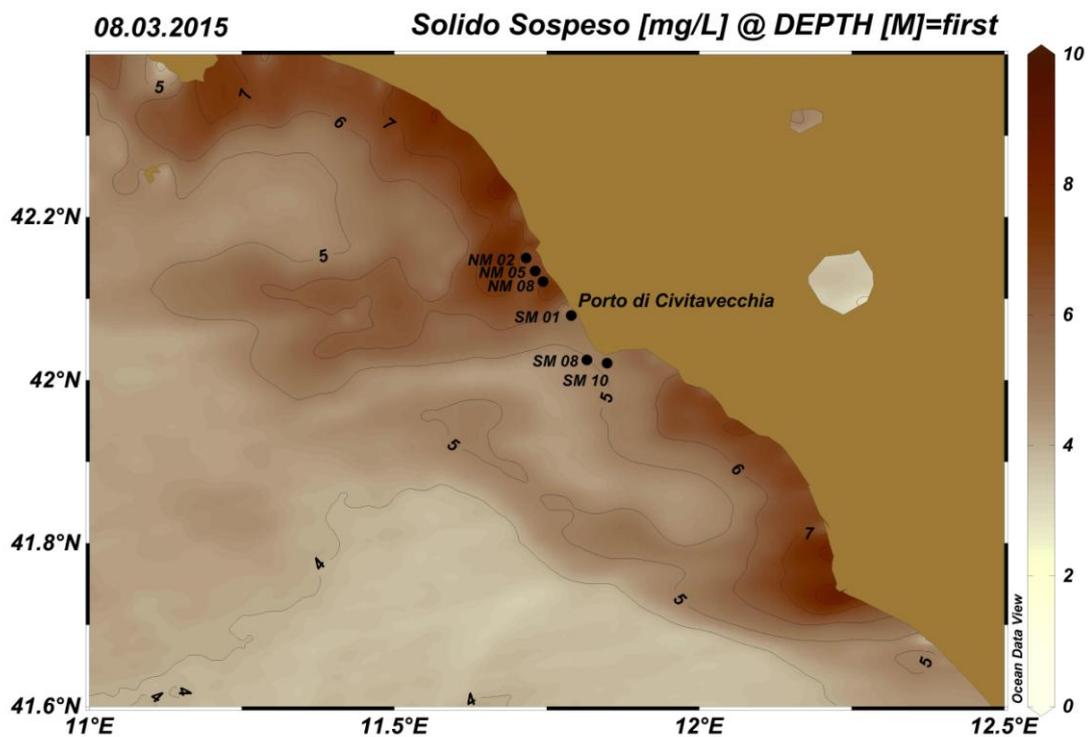
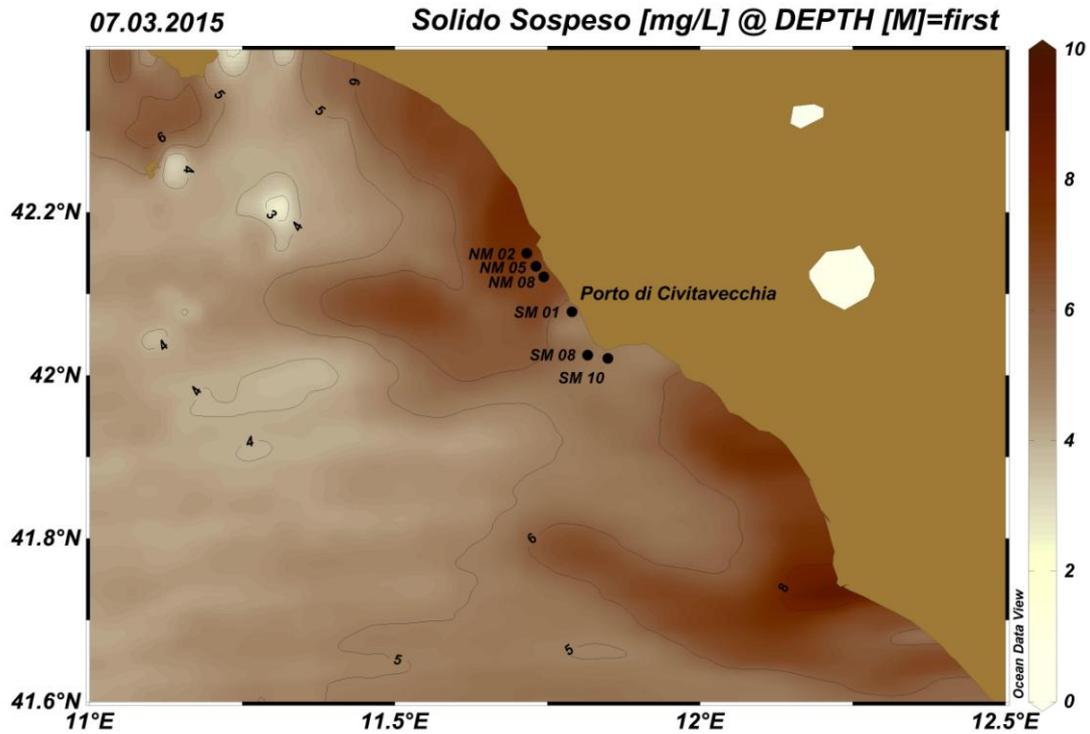


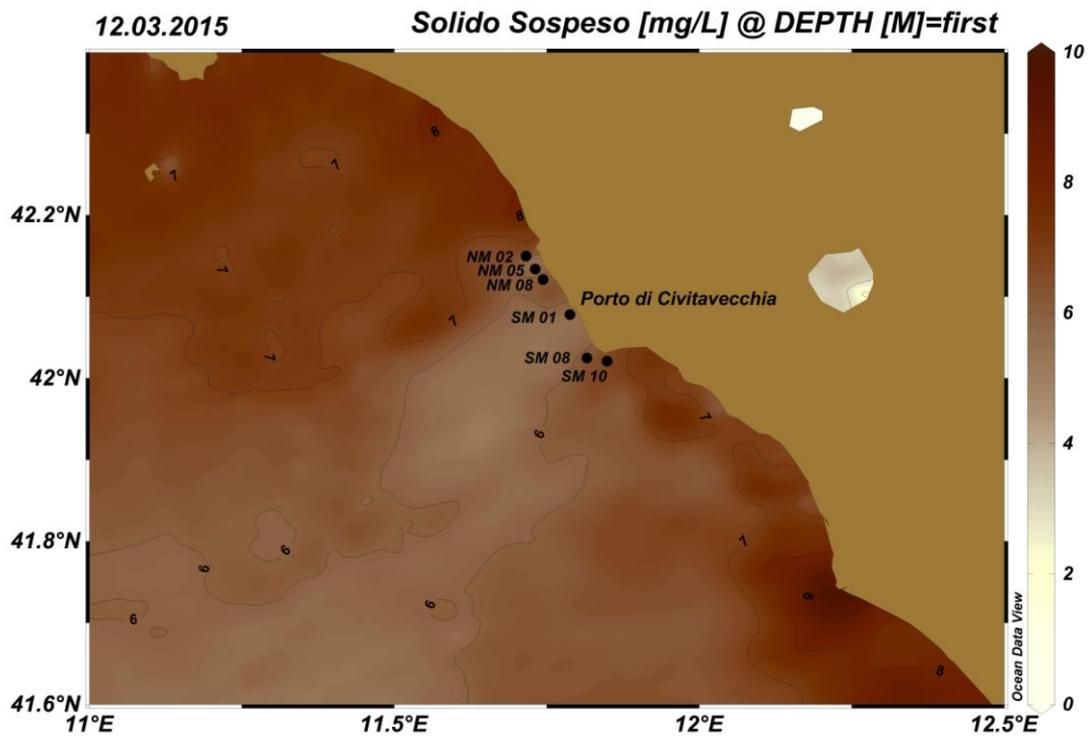
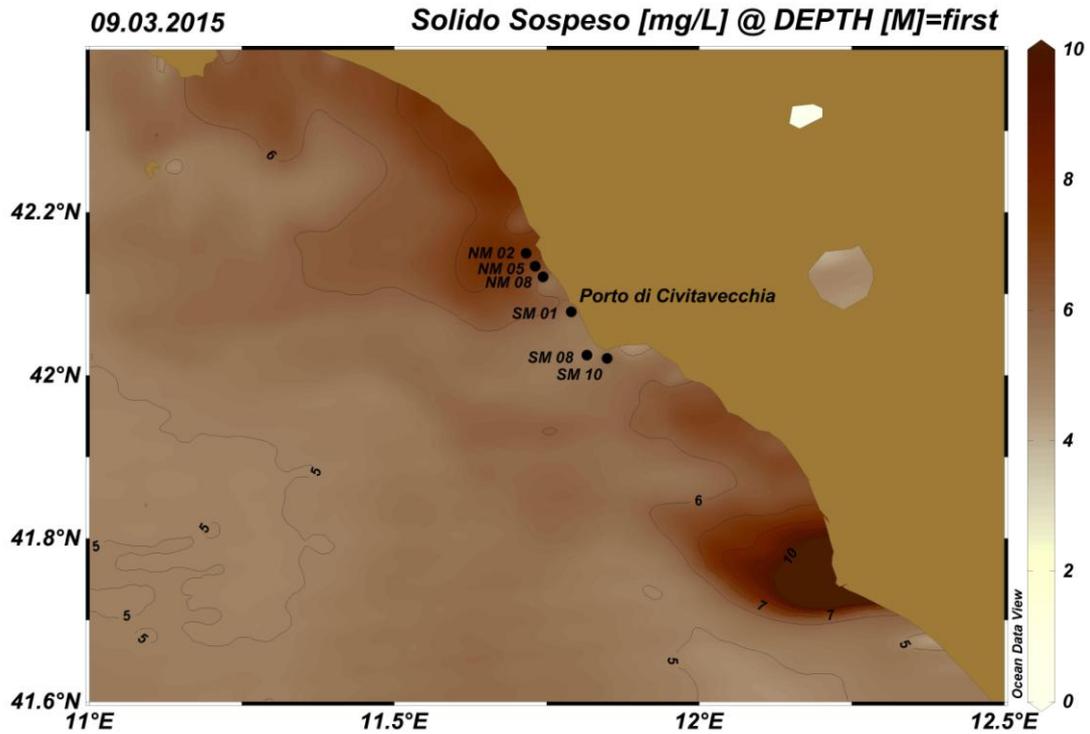


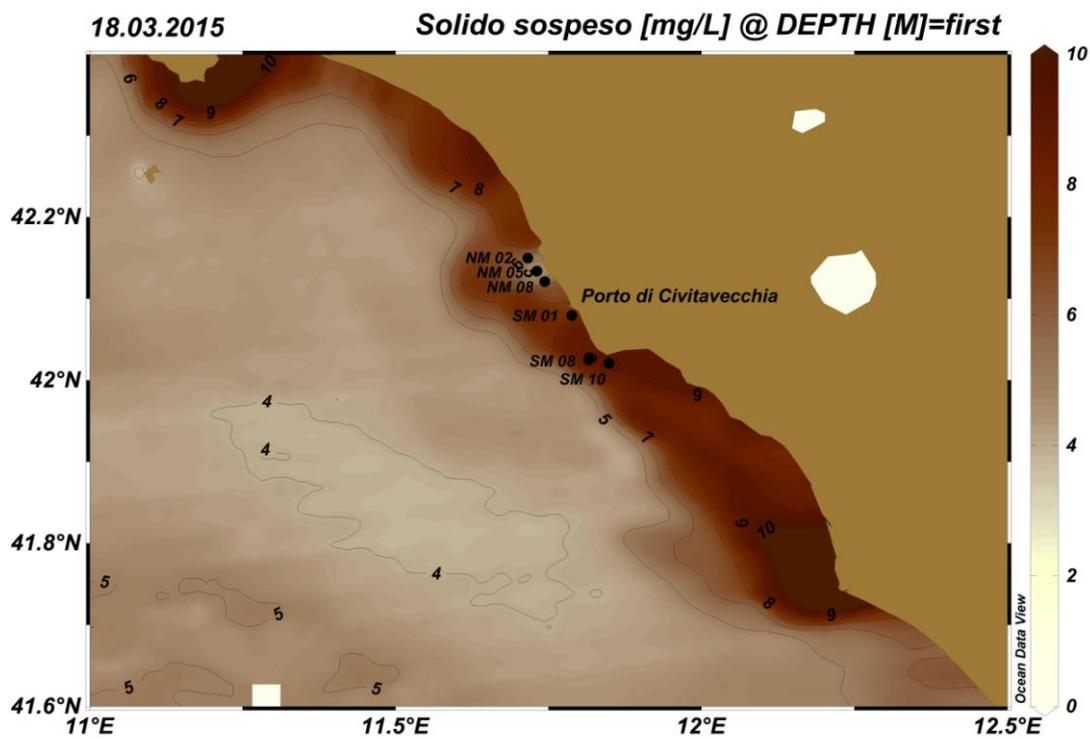
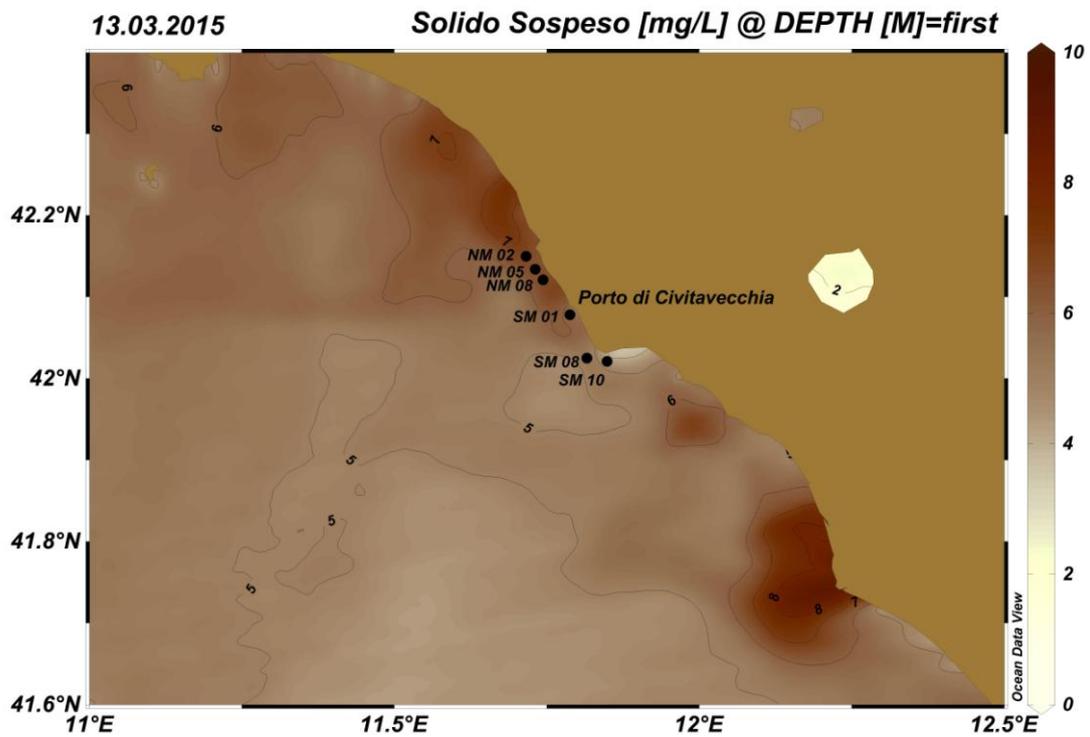
Mappe satellitari di distribuzione del solido sospeso

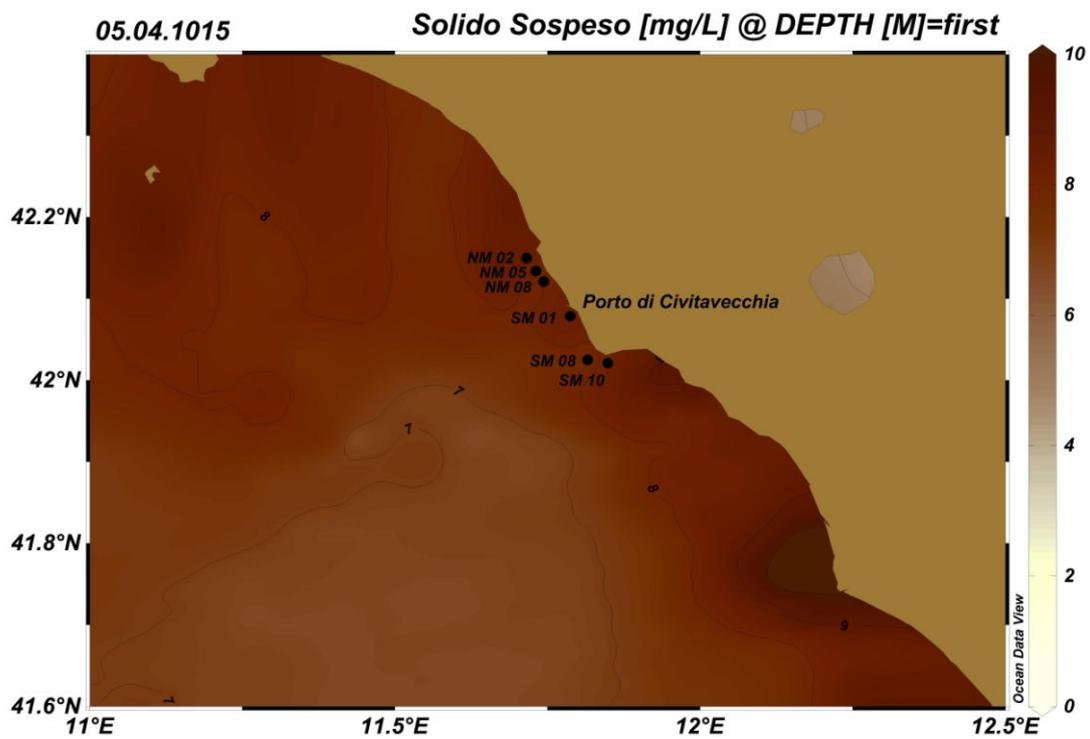
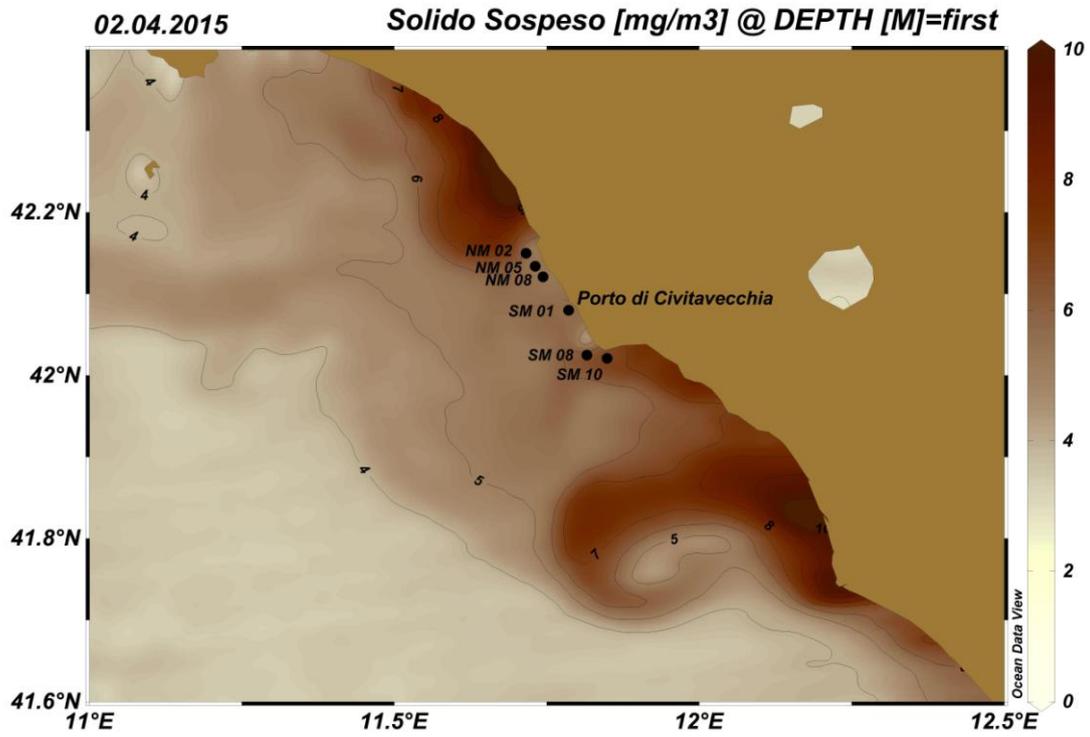


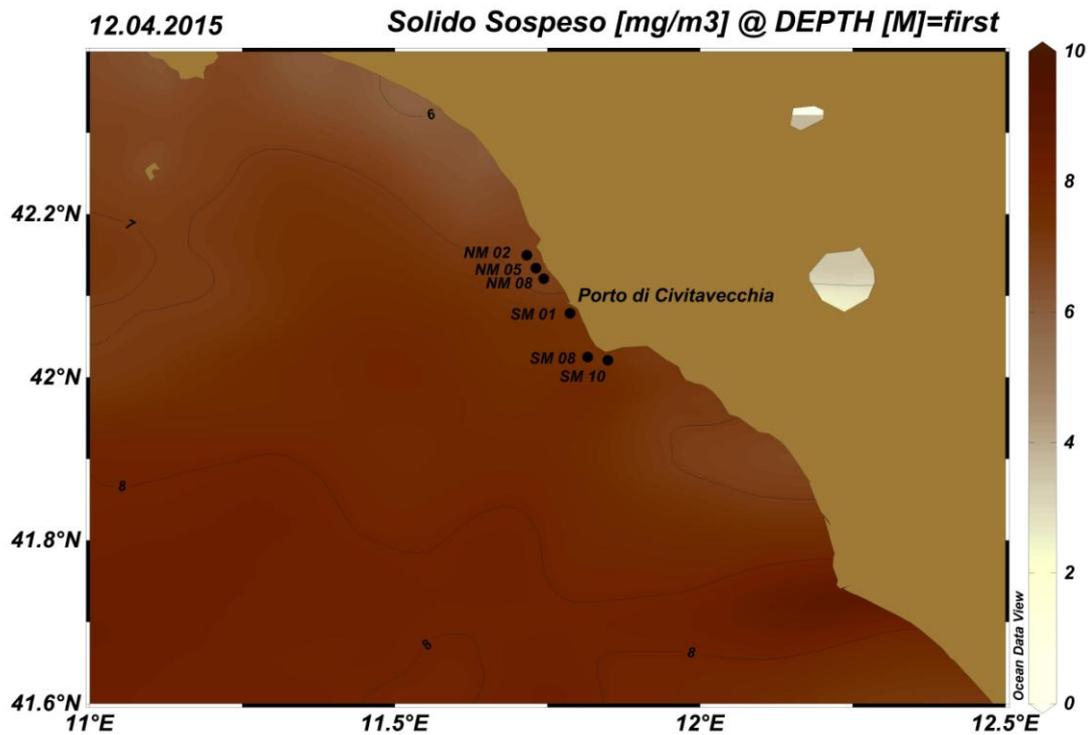
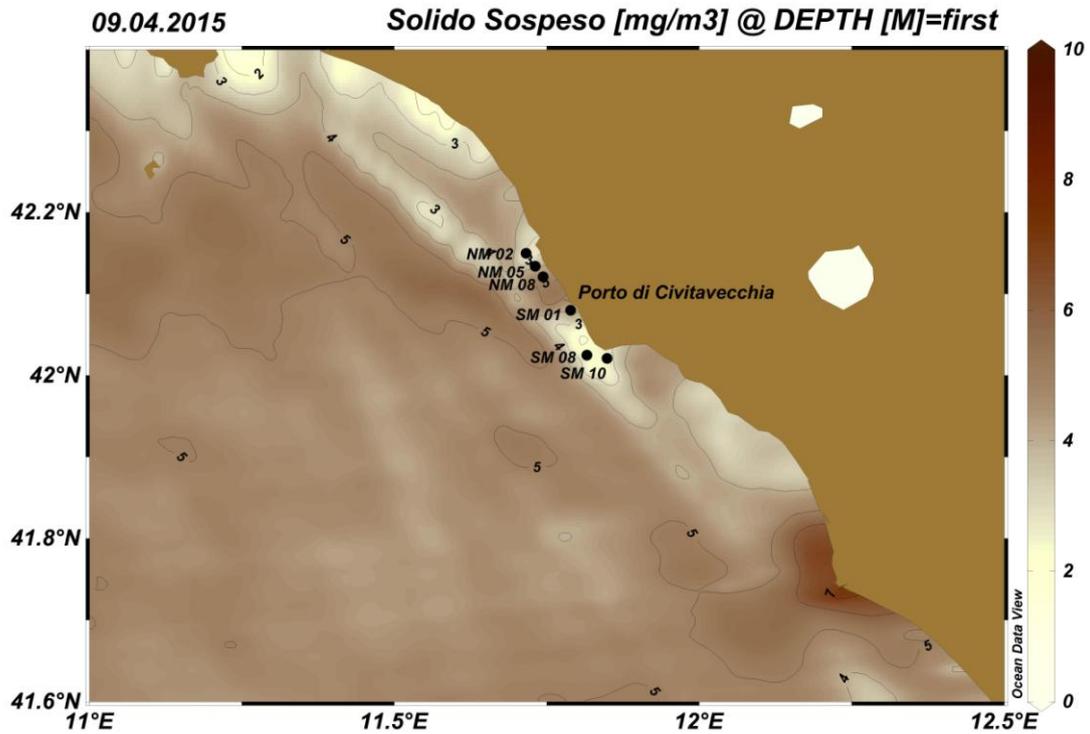












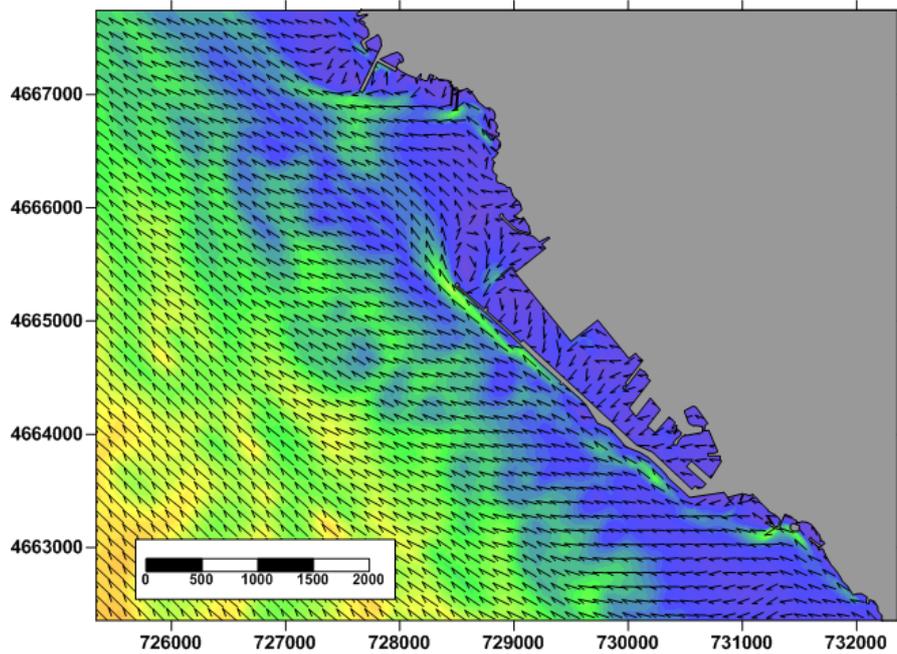
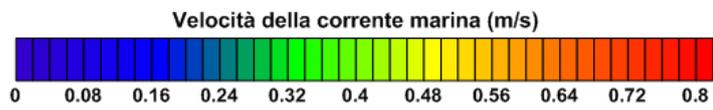
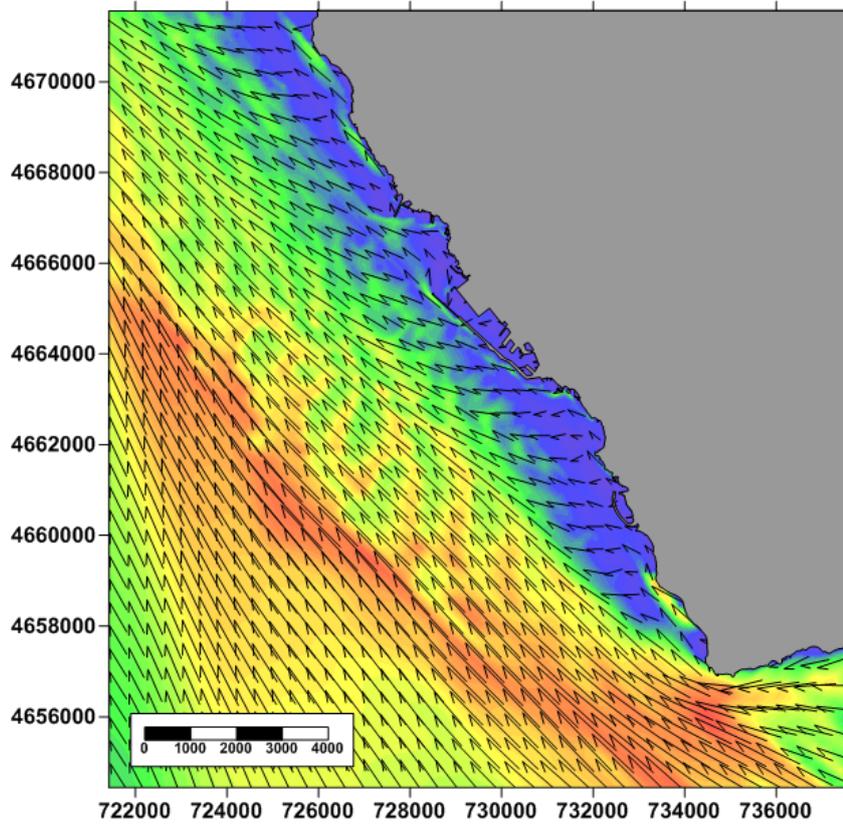


Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

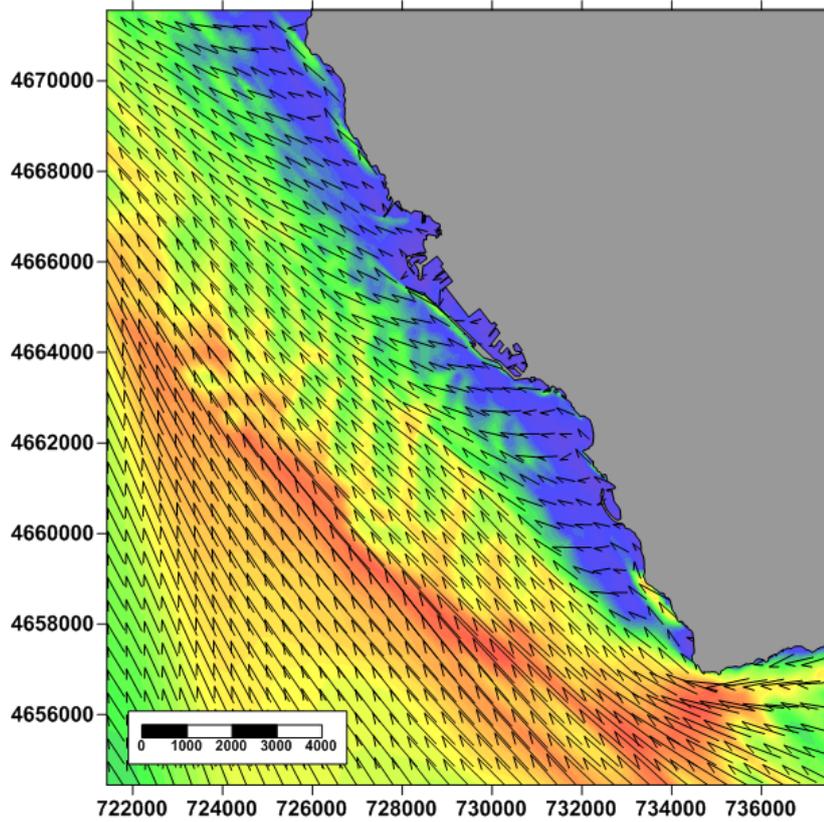
ALLEGATO C

Risultati delle simulazioni del campo idrodinamico

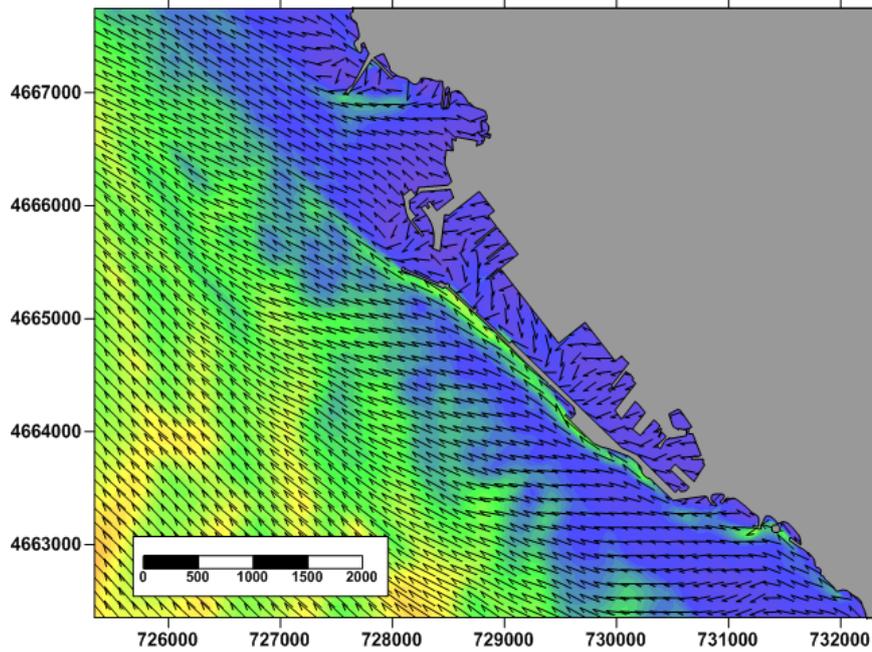
Mezzogiorno - Situazione antecedente al 2012



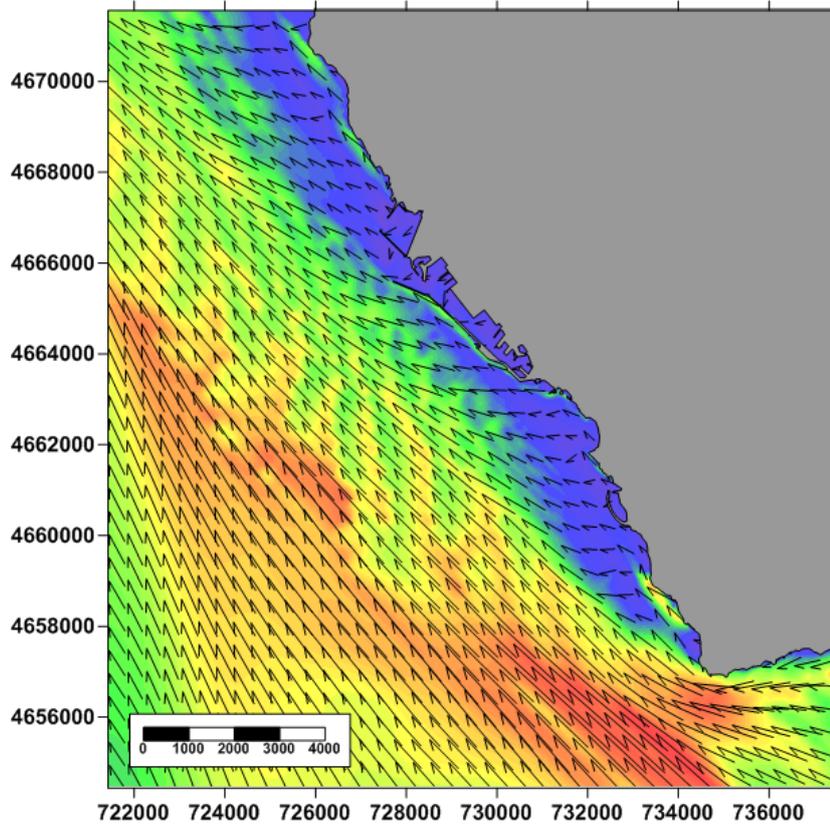
Mezzogiorno - 1 Lotto Funzionale



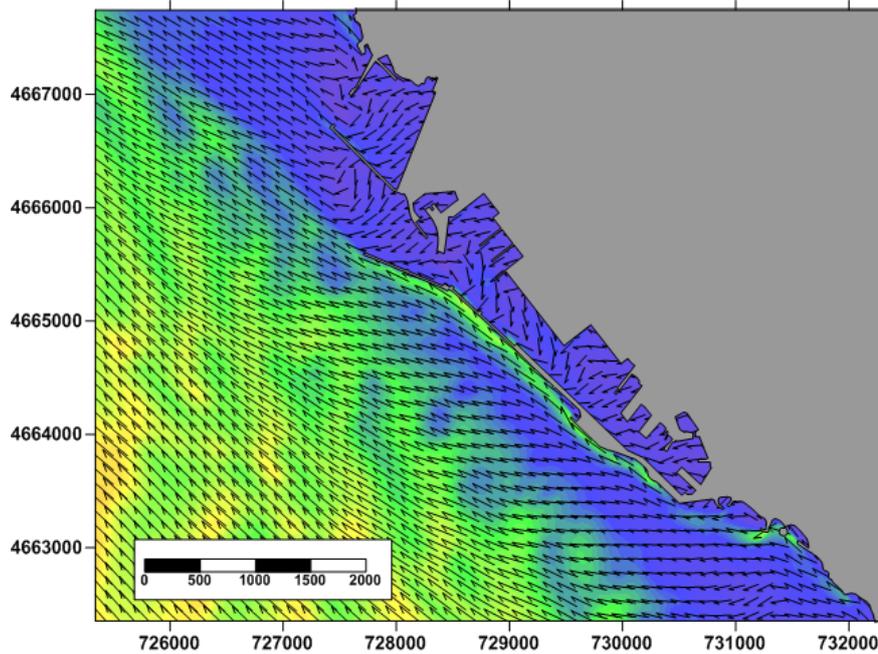
Velocità della corrente marina (m/s)



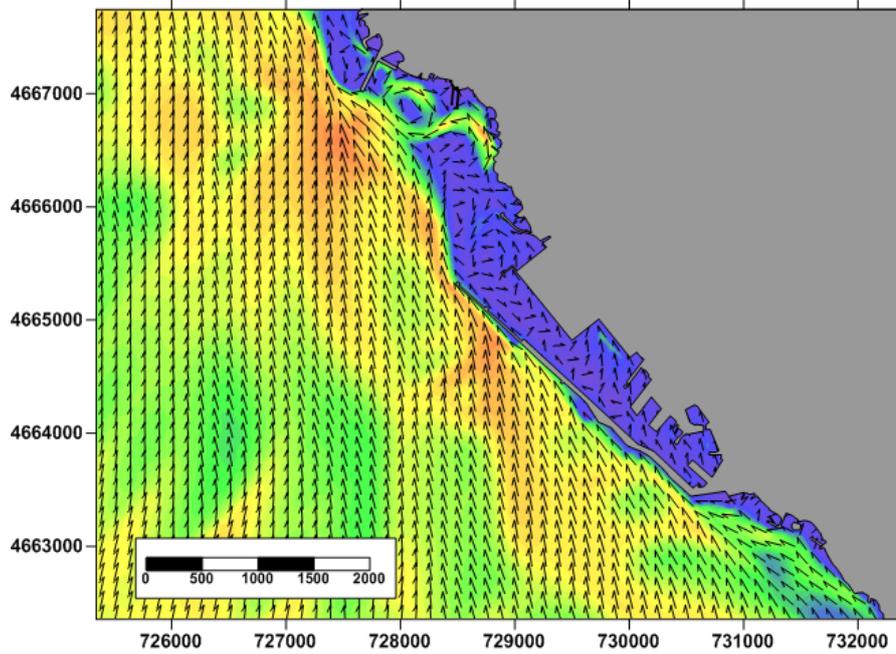
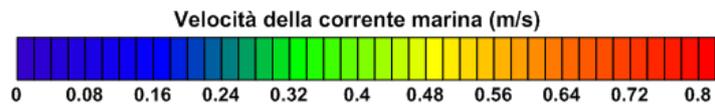
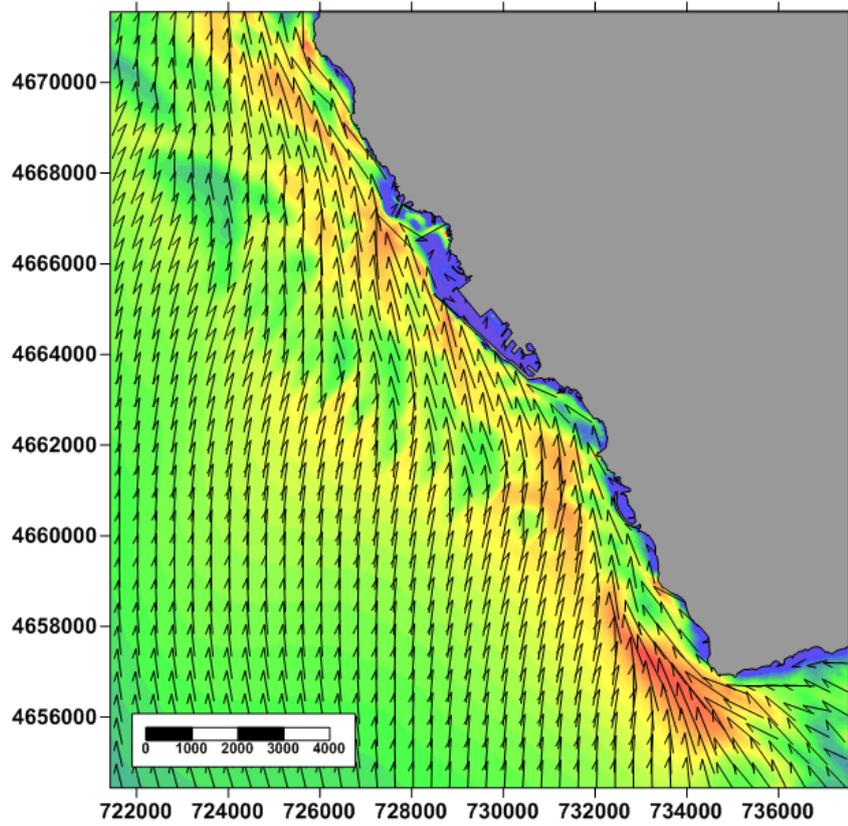
Mezzogiorno - DEGM



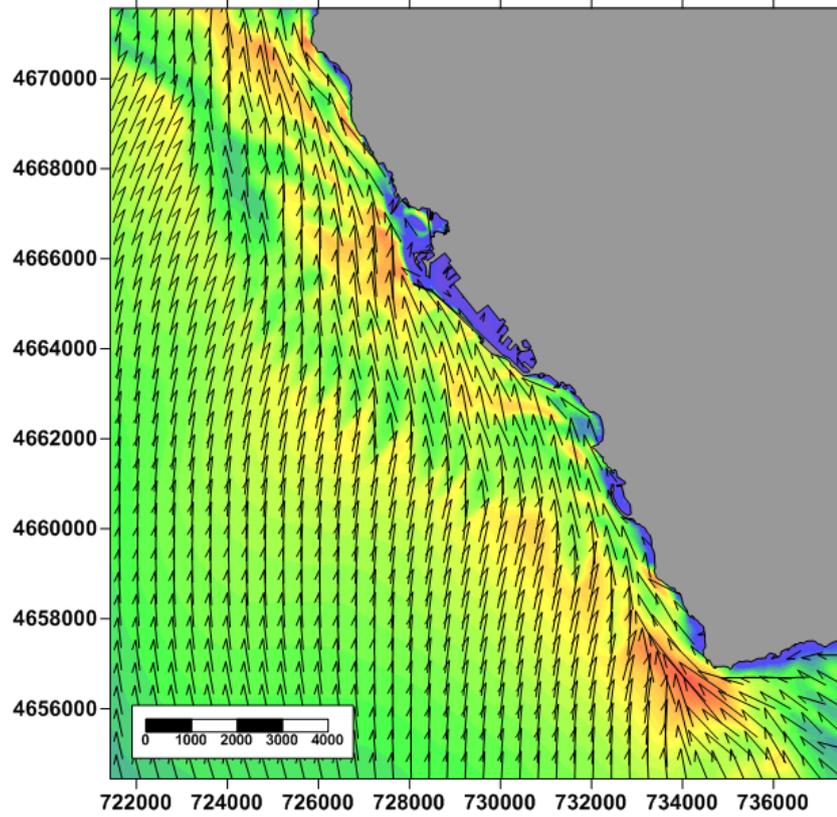
Velocità della corrente marina (m/s)



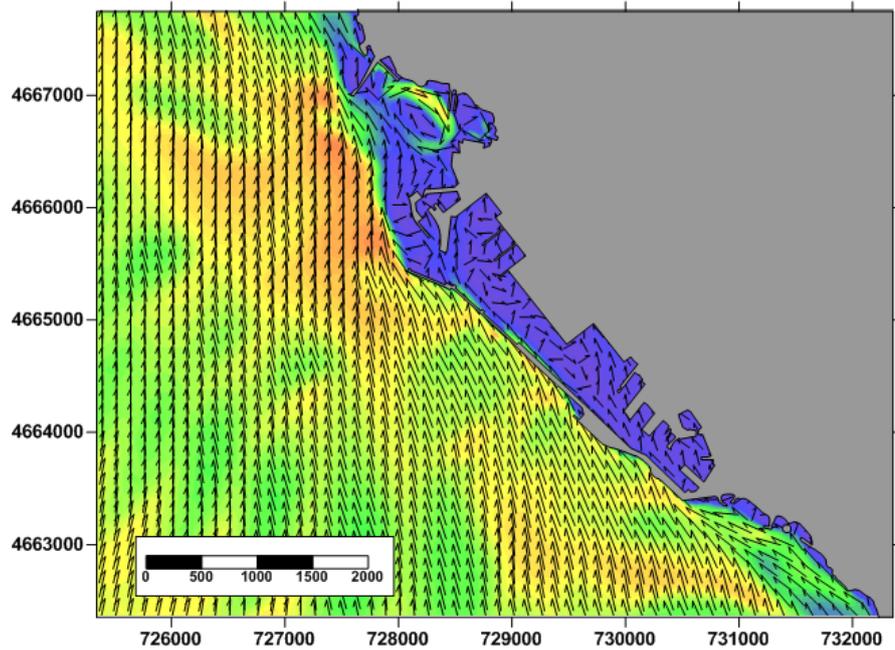
Libeccio/Mezzogiorno - Situazione antecedente al 2012



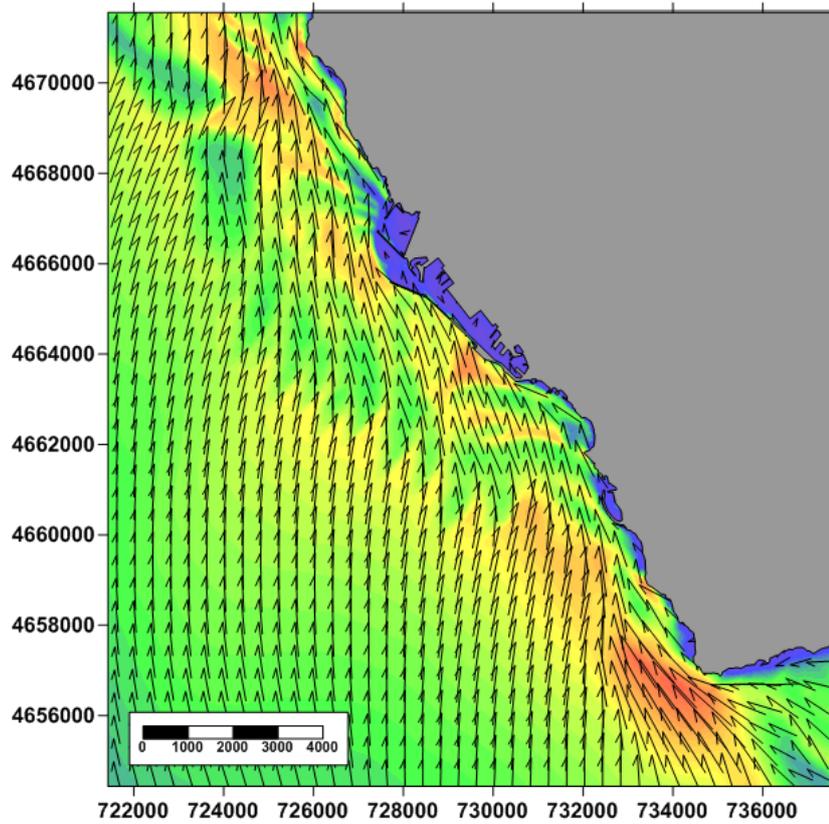
Libeccio/Mezzogiorno - 1 Lotto Funzionale



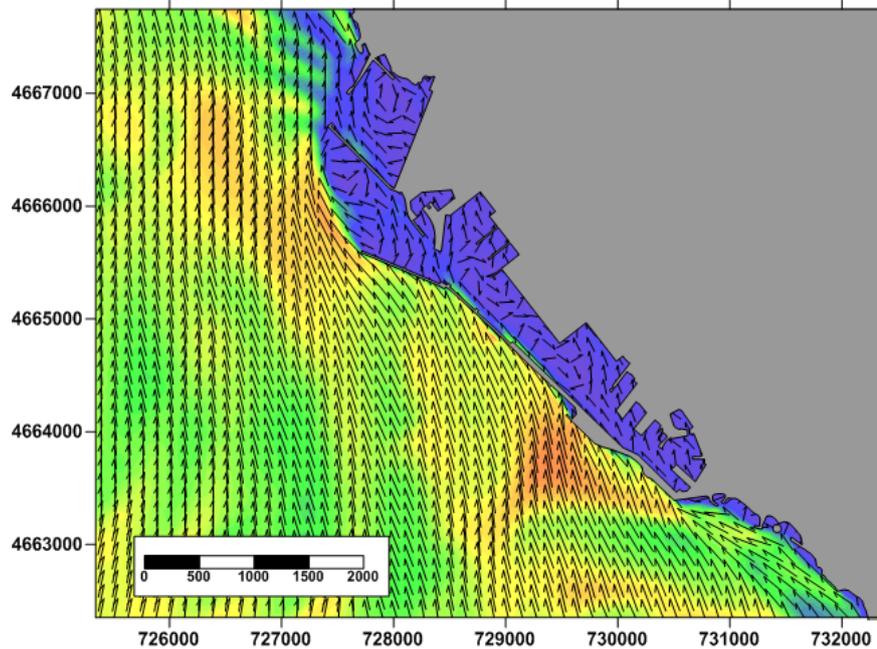
Velocità della corrente marina (m/s)



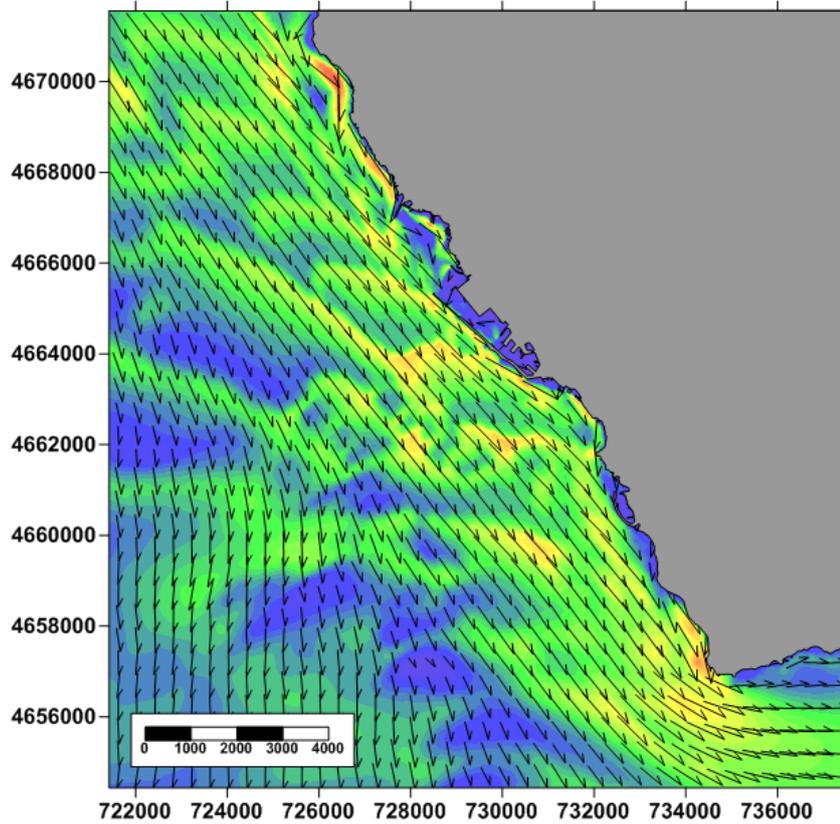
Libeccio/Mezzogiorno - DEGM



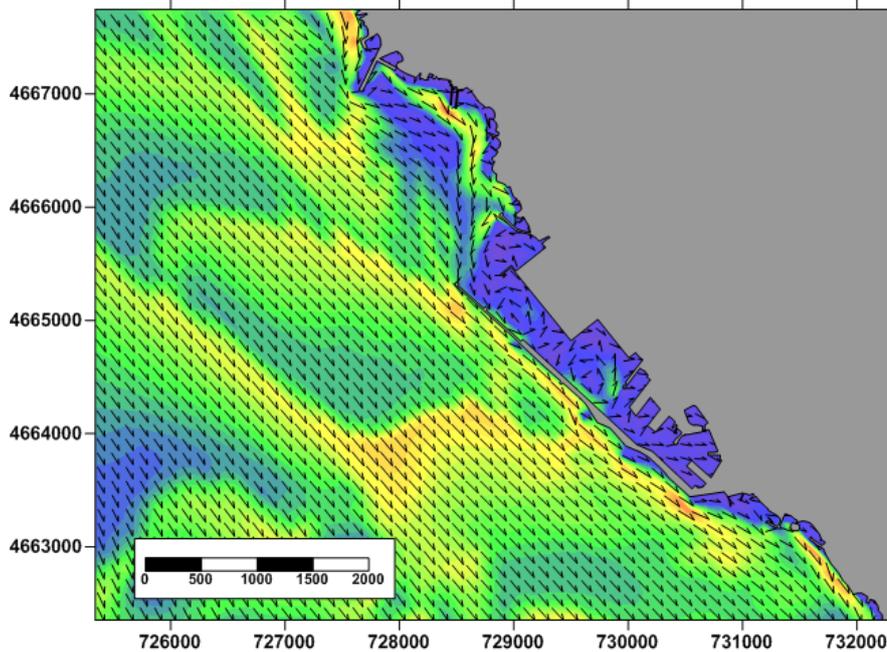
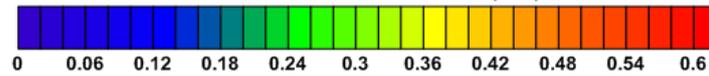
Velocità della corrente marina (m/s)



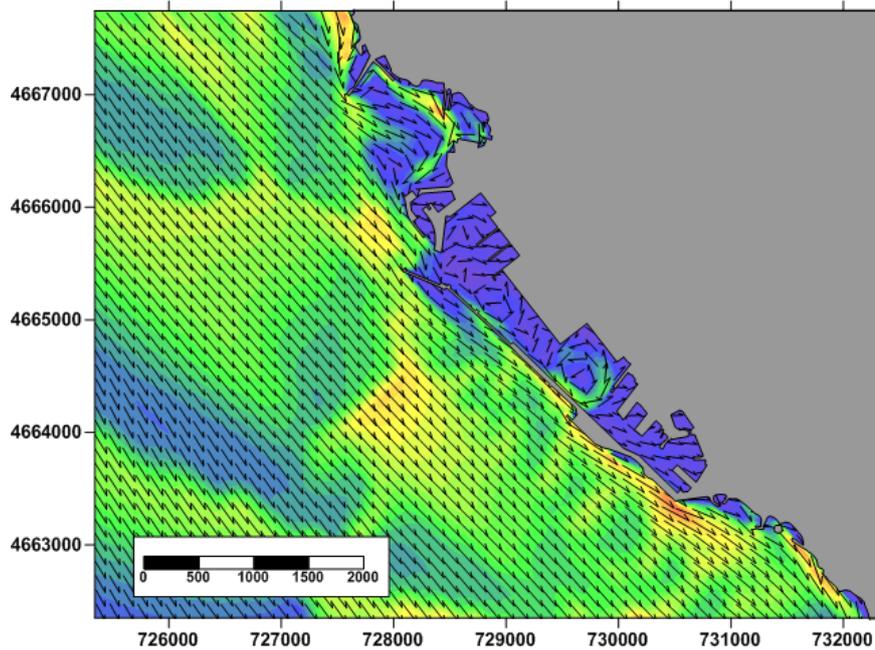
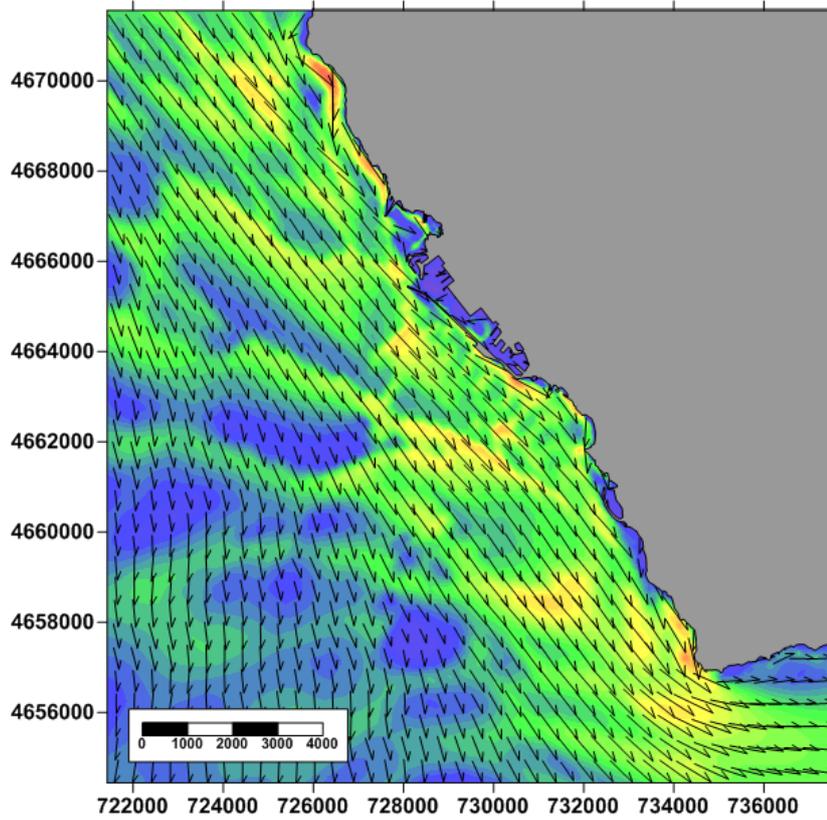
Ponente - Situazione antecedente al 2012



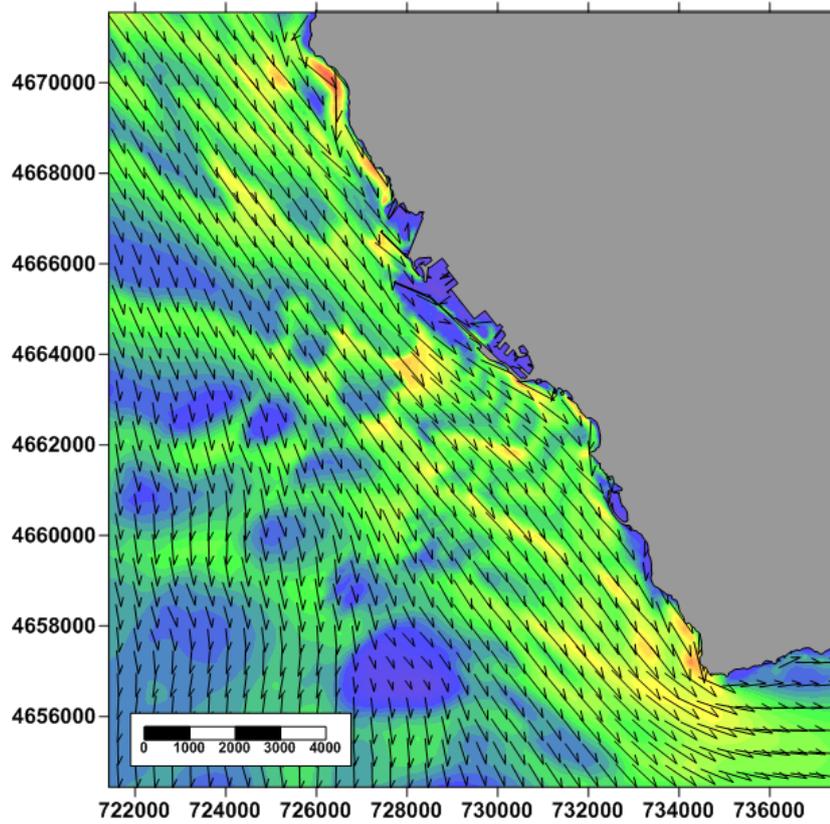
Velocità della corrente marina (m/s)



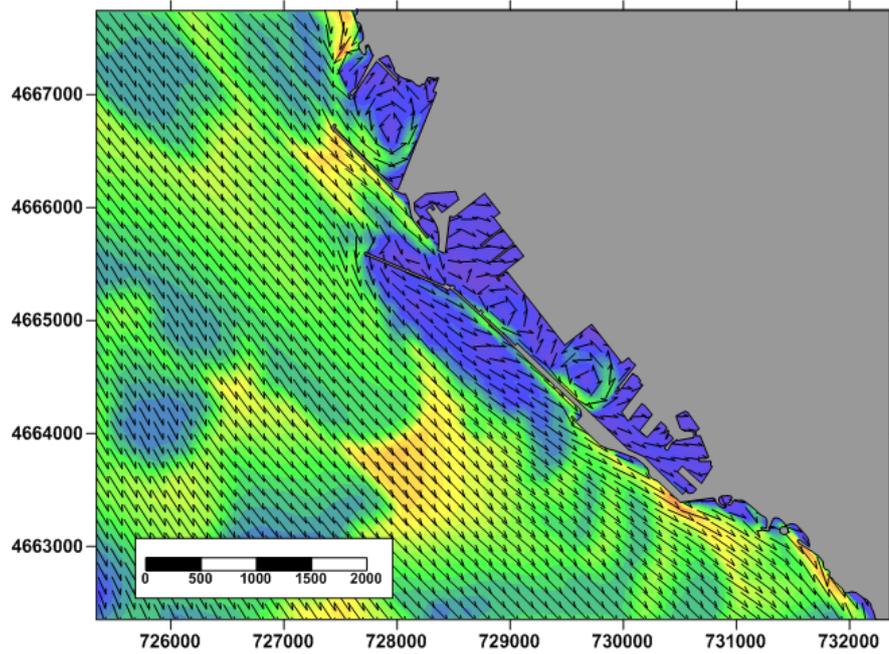
Ponente - 1 Lotto Funzionale



Ponente - DEGM



Velocità della corrente marina (m/s)



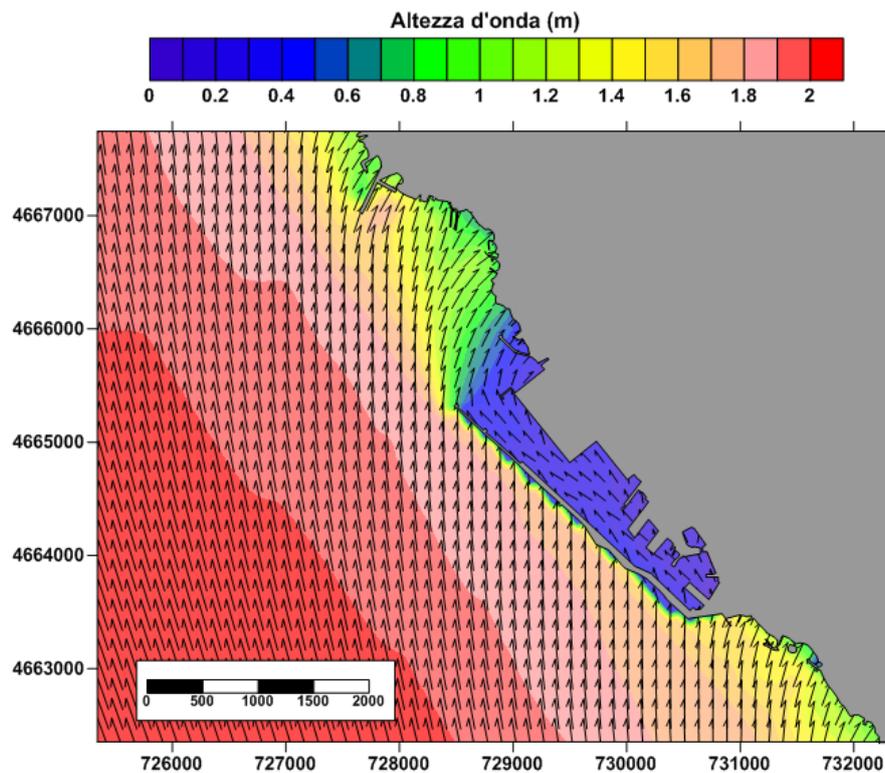
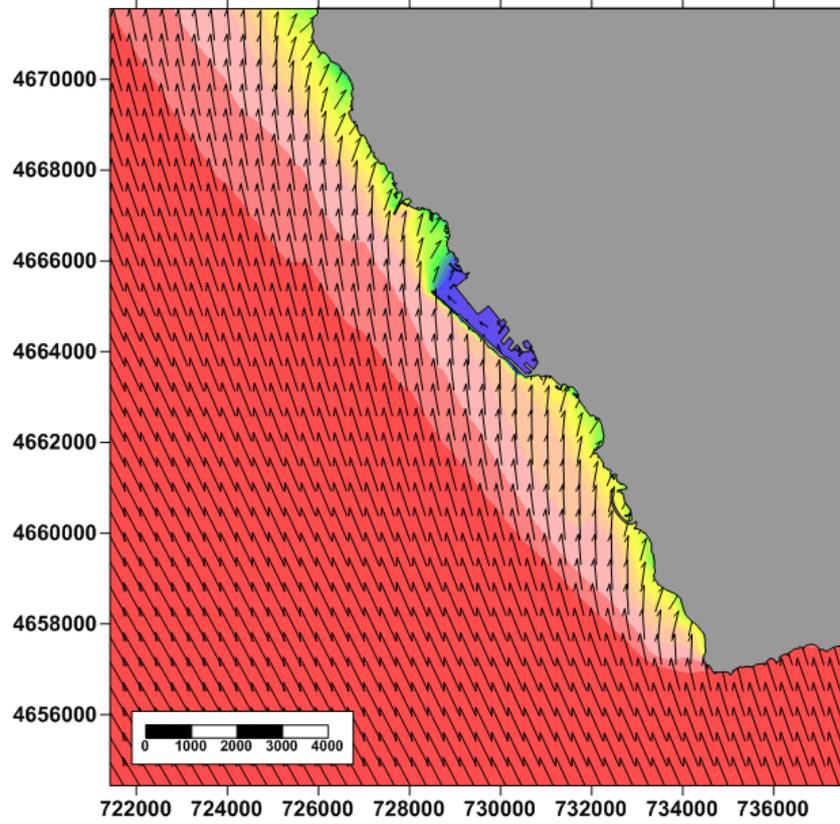


Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

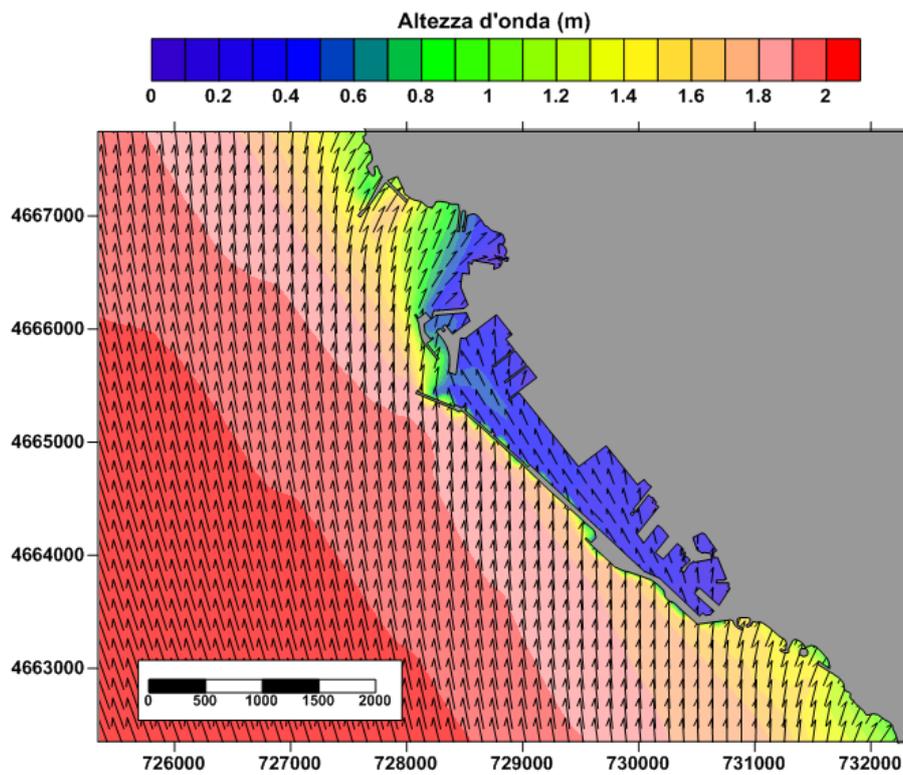
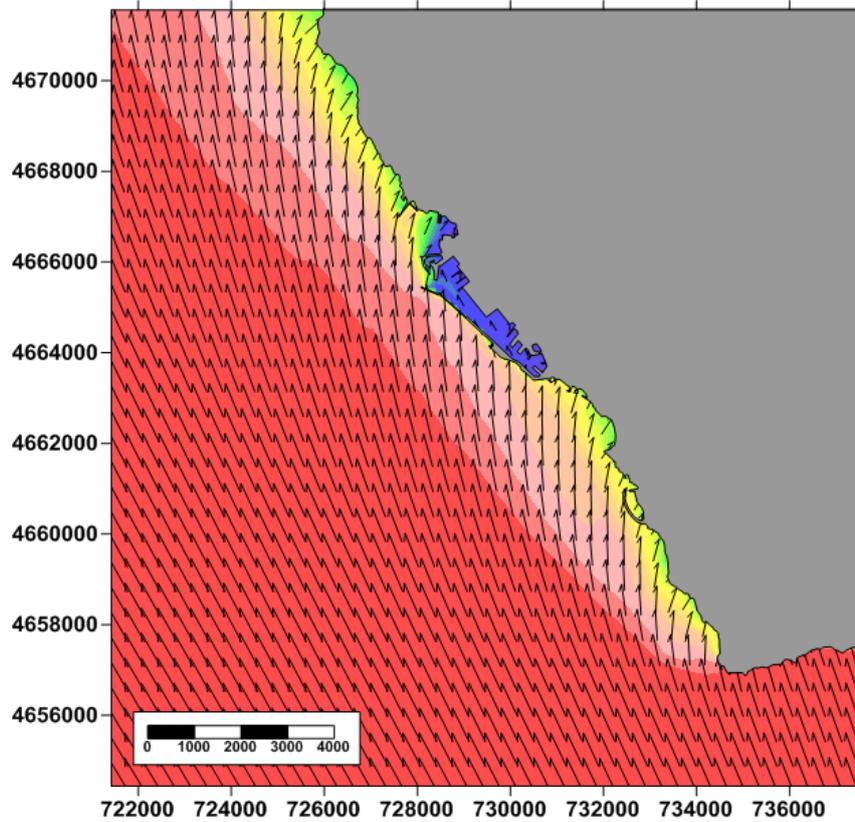
ALLEGATO D

Risultati delle simulazioni del moto ondoso

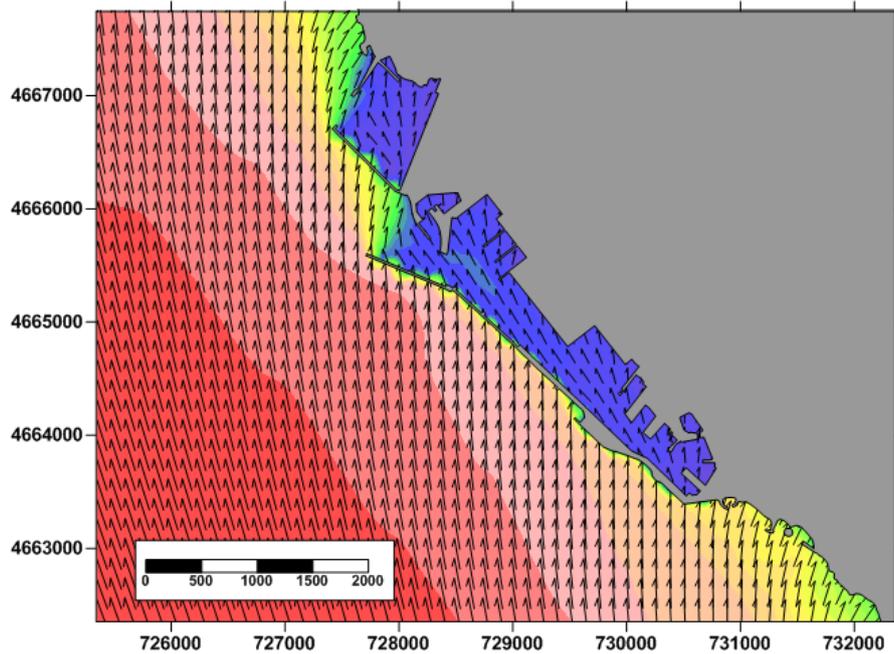
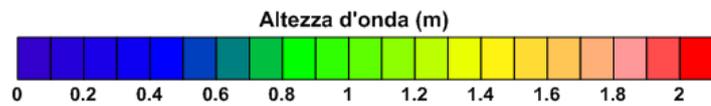
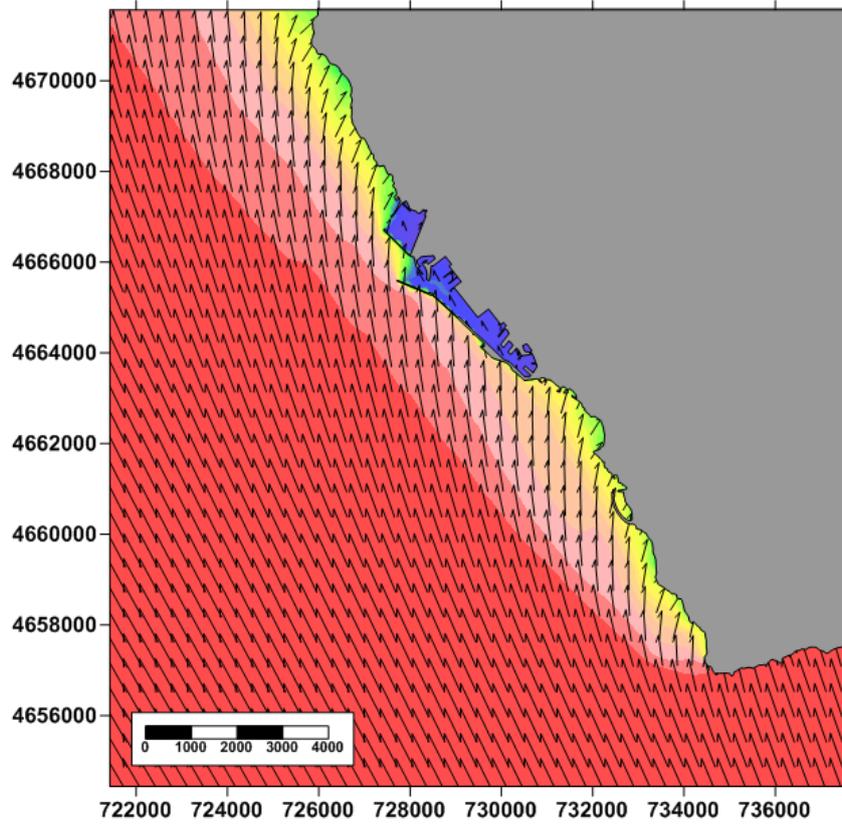
Mezzogiorno - Situazione antecedente al 2012



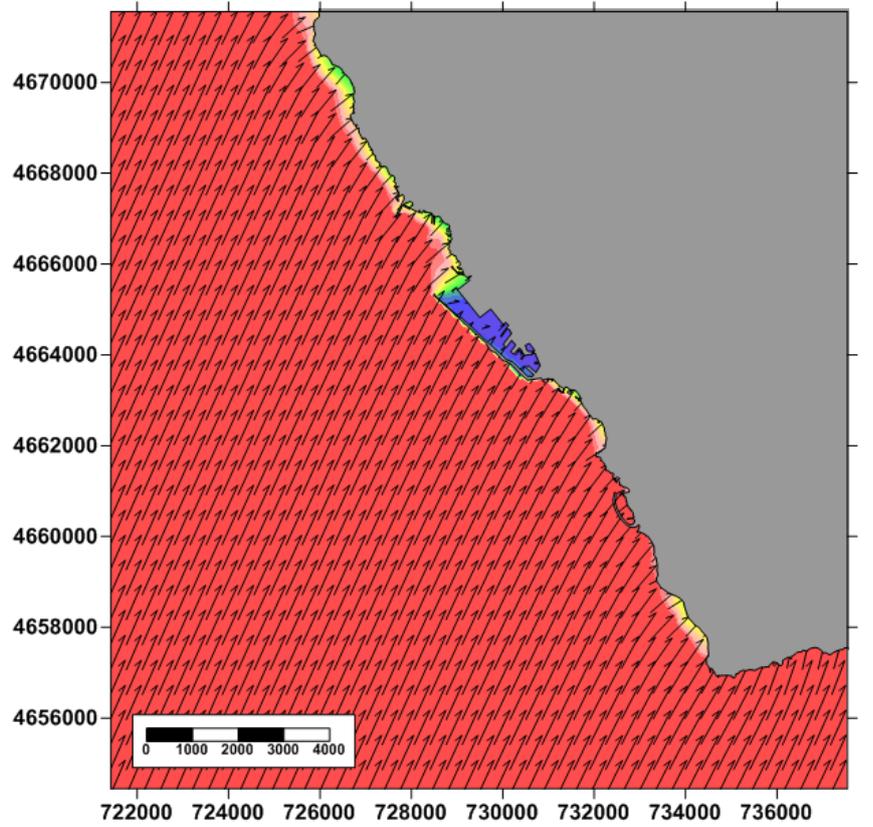
Mezzogiorno -1 Lotto Funzionale



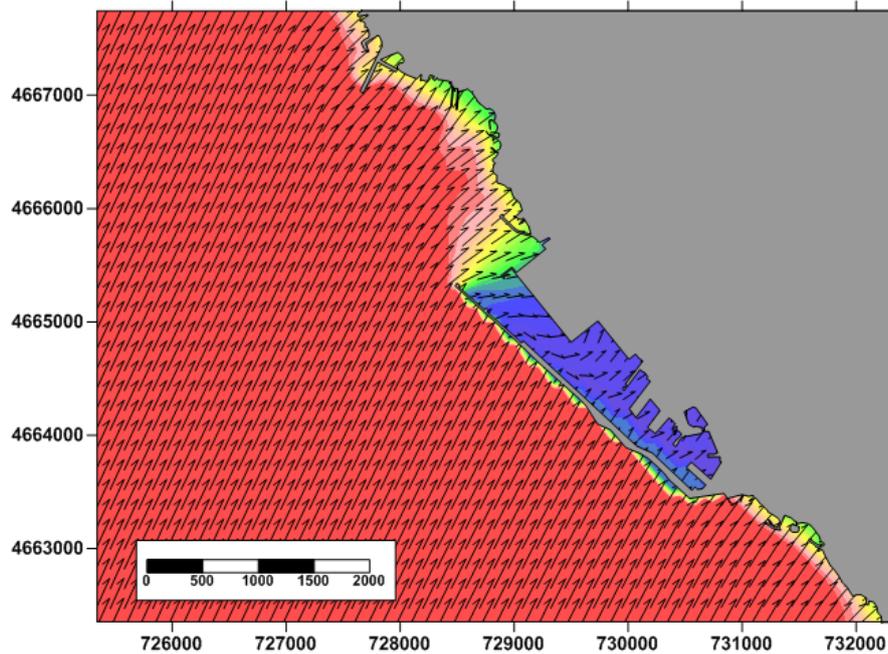
Mezzogiorno - DEGM



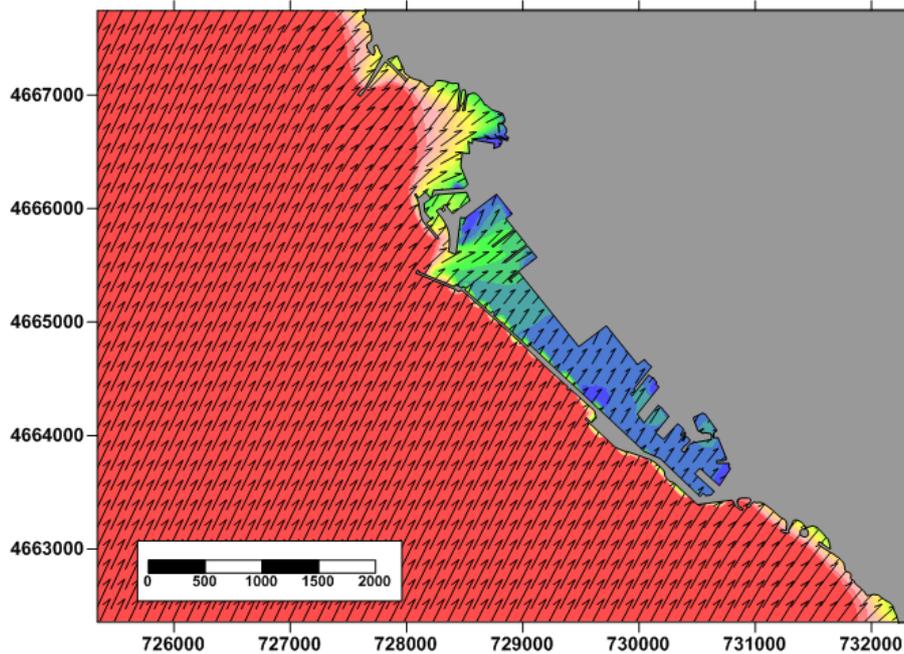
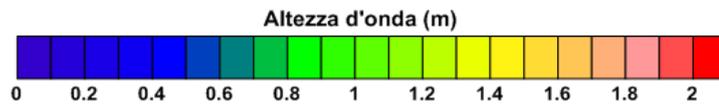
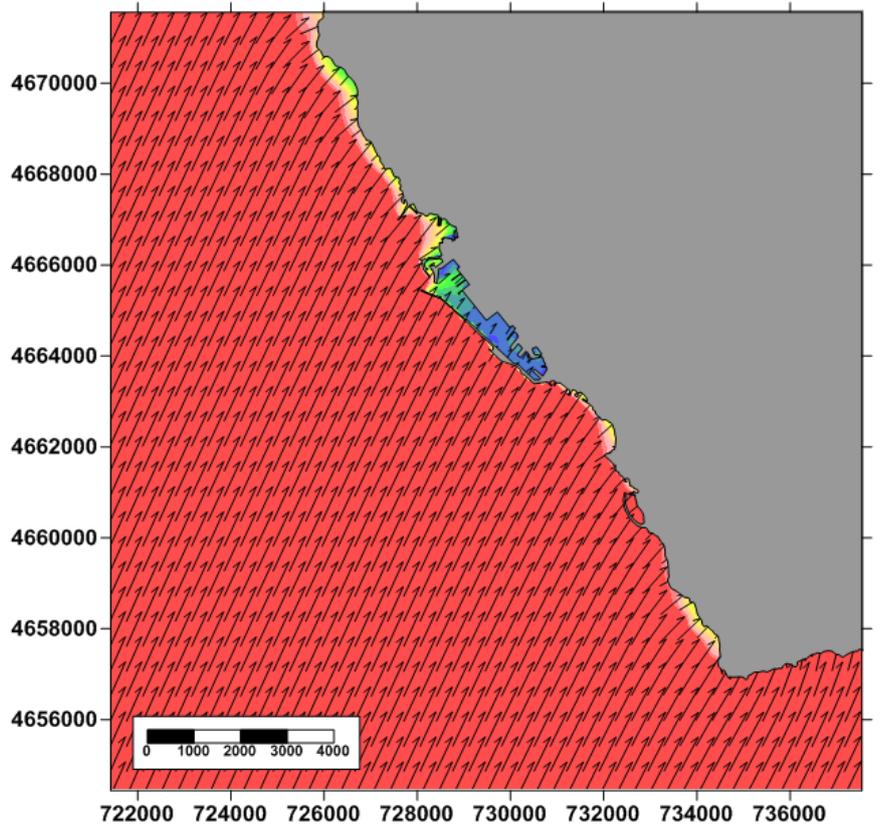
Libeccio/Mezzogiorno - Situazione antecedente al 2012



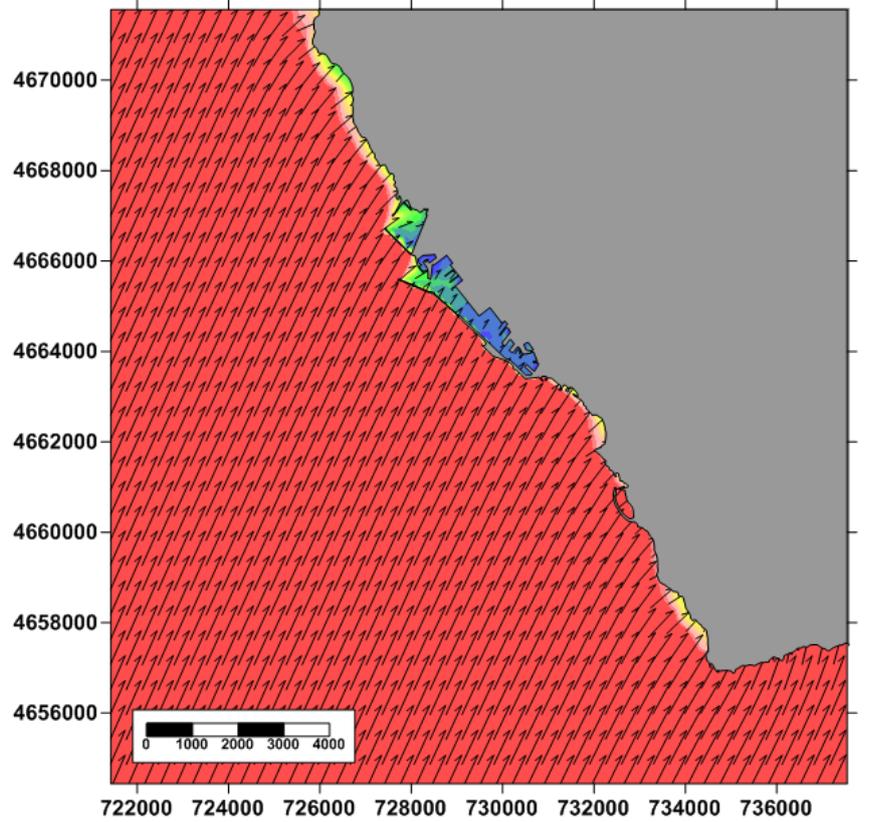
Altezza d'onda (m)



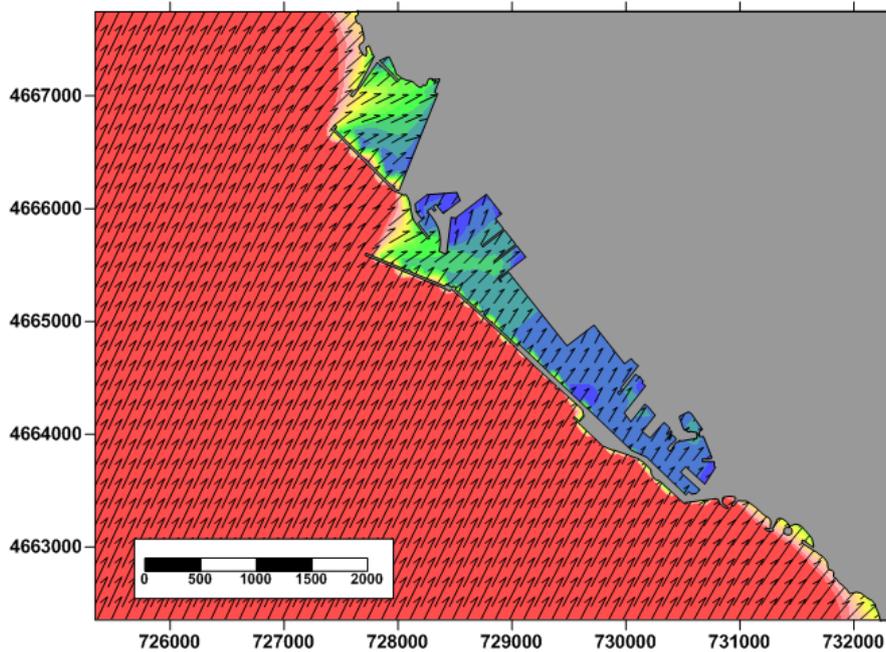
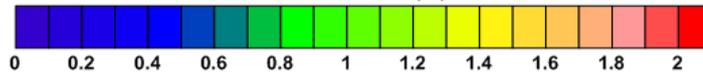
Libeccio/Mezzogiorno -1 Lotto Funzionale



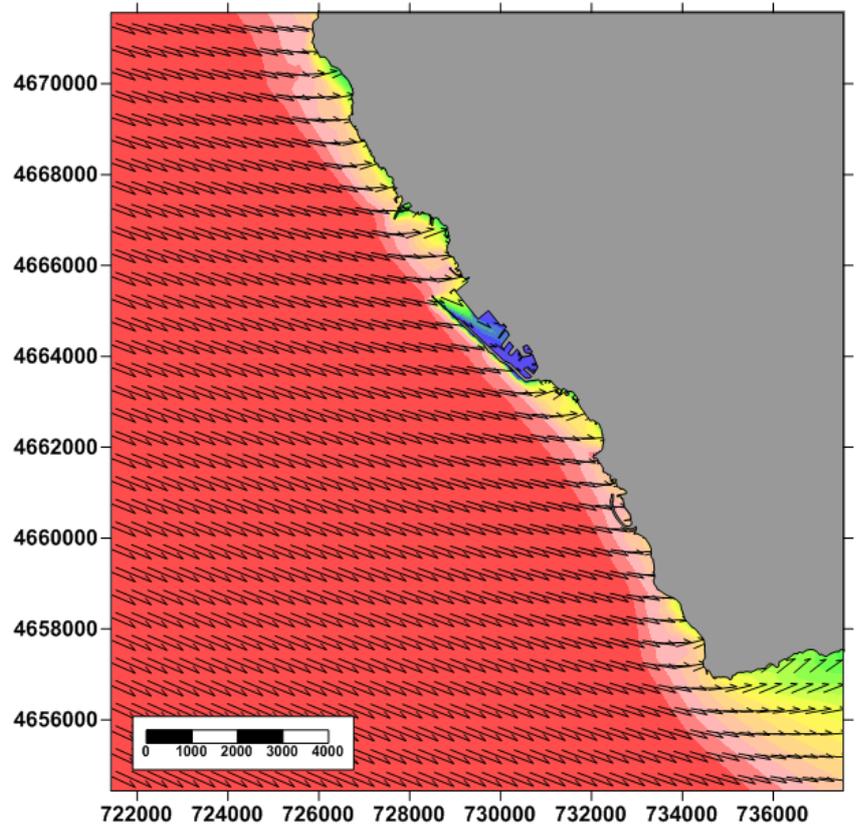
Libeccio/Mezzogiorno - DEGM



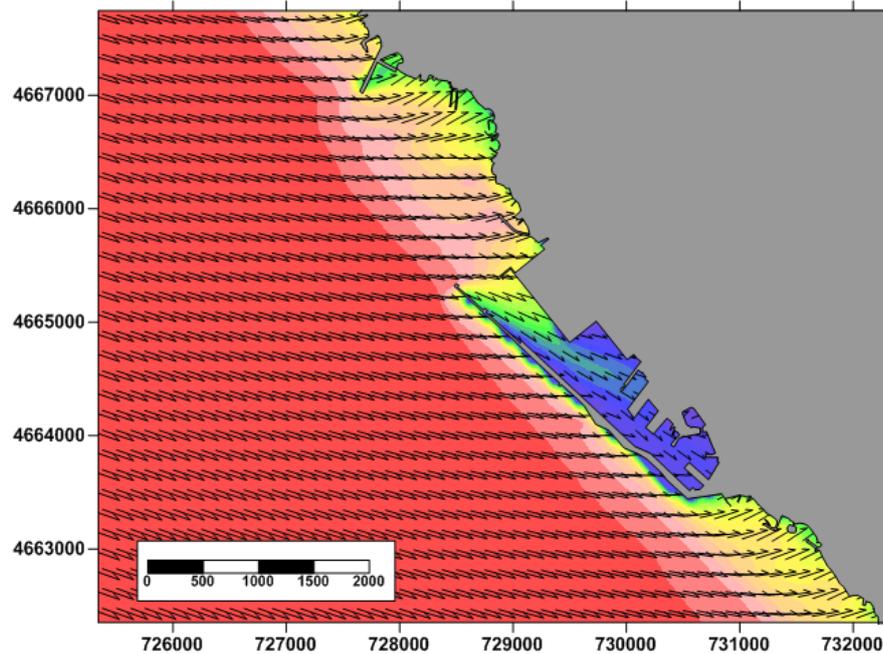
Altezza d'onda (m)



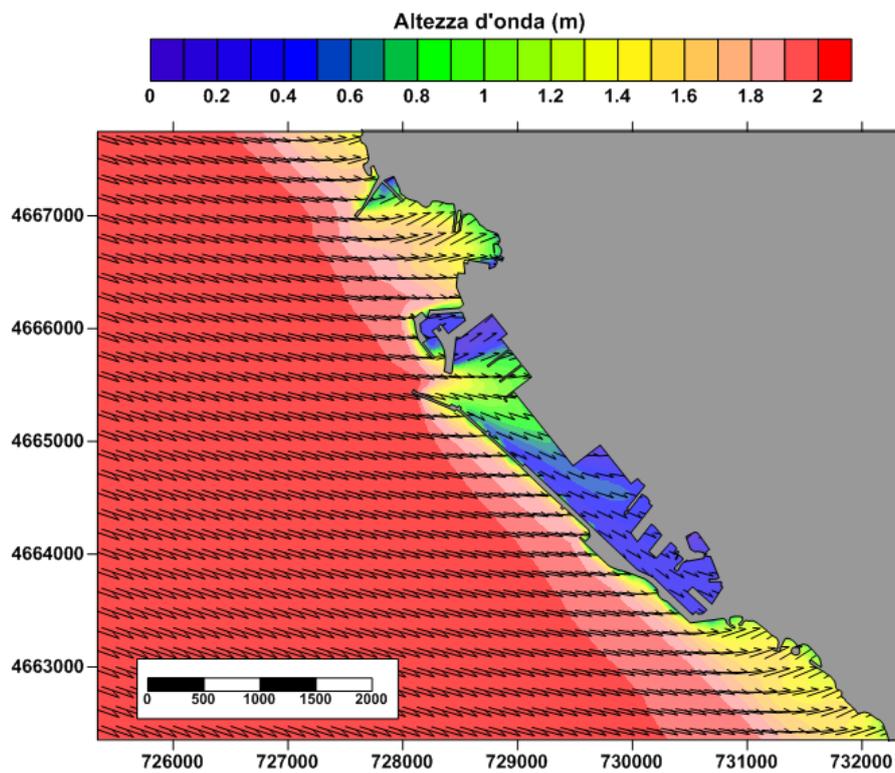
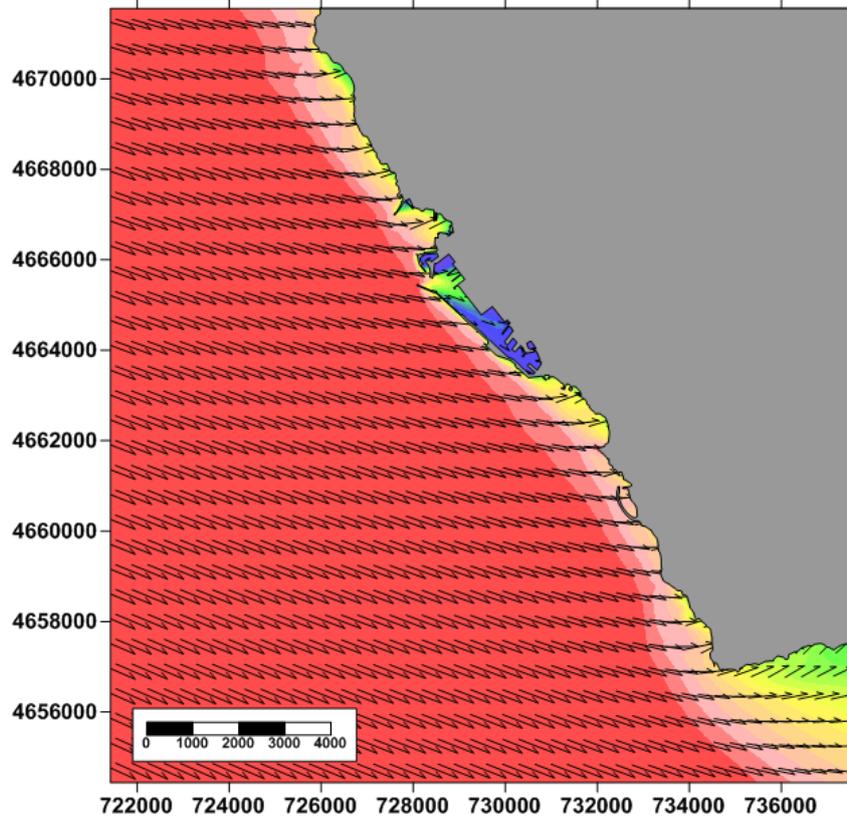
Ponente - Situazione antecedente al 2012



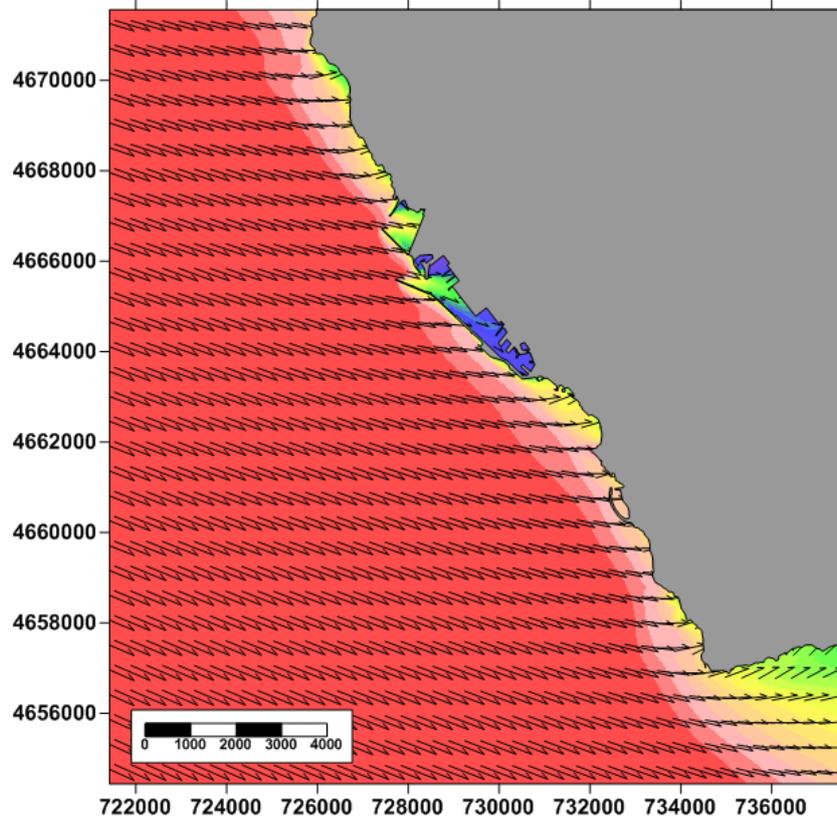
Altezza d'onda (m)



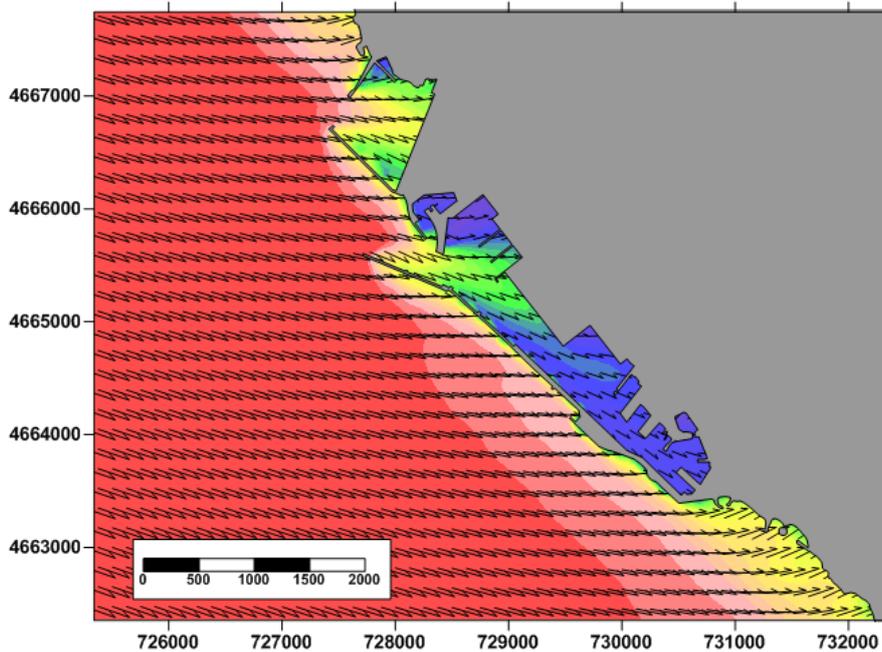
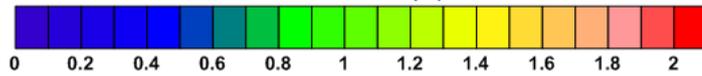
Ponente -1 Lotto Funzionale



Ponente - DEGM



Altezza d'onda (m)



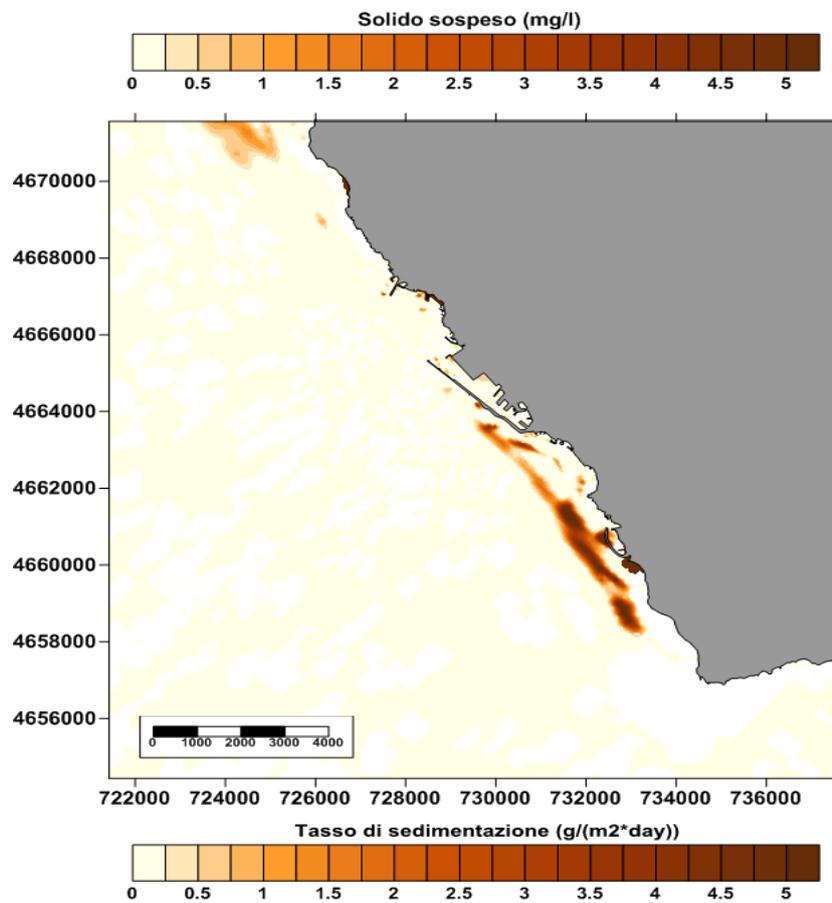
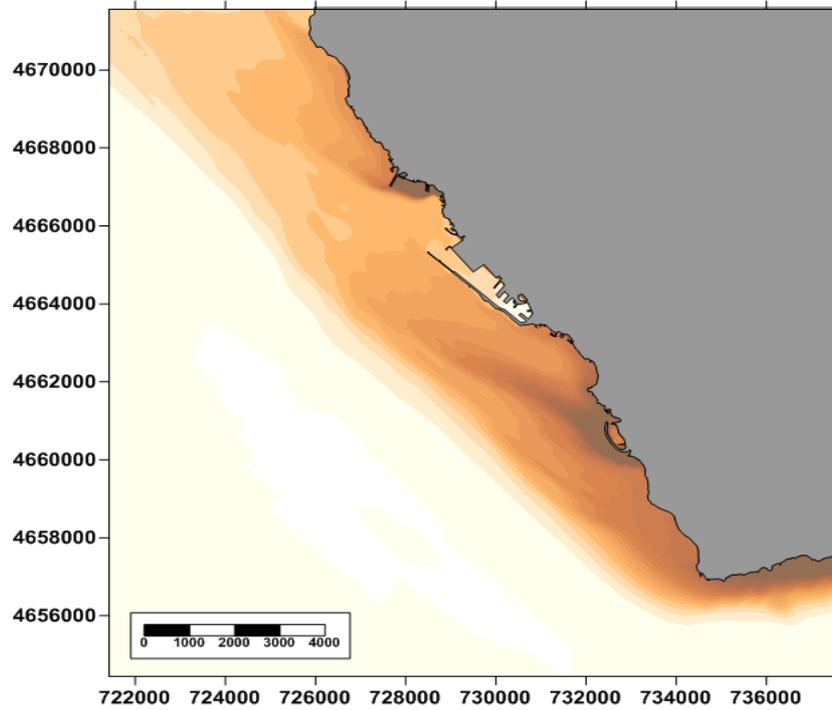


Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

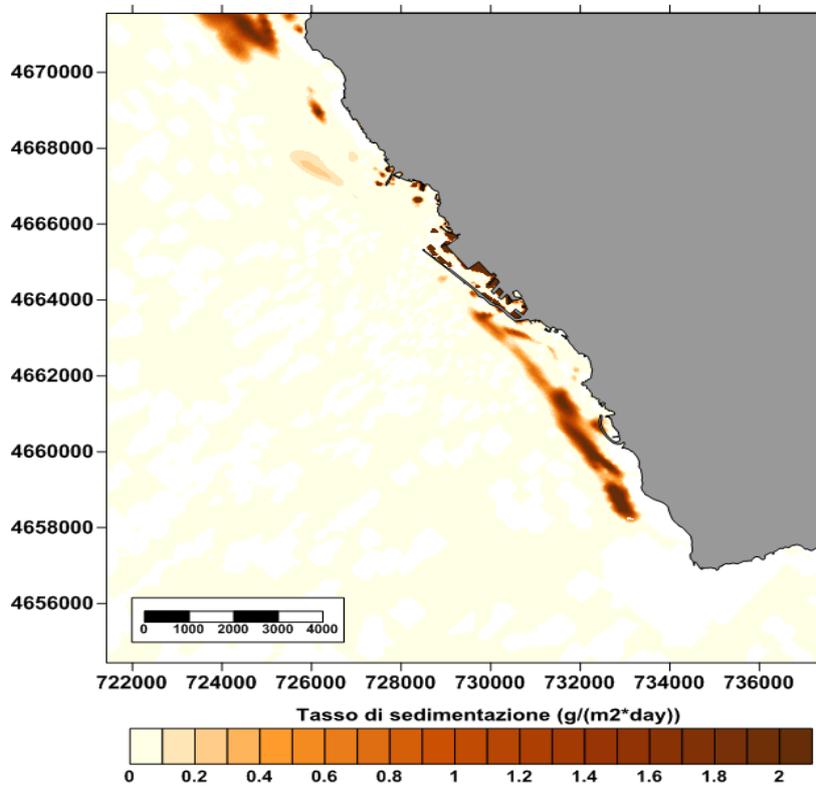
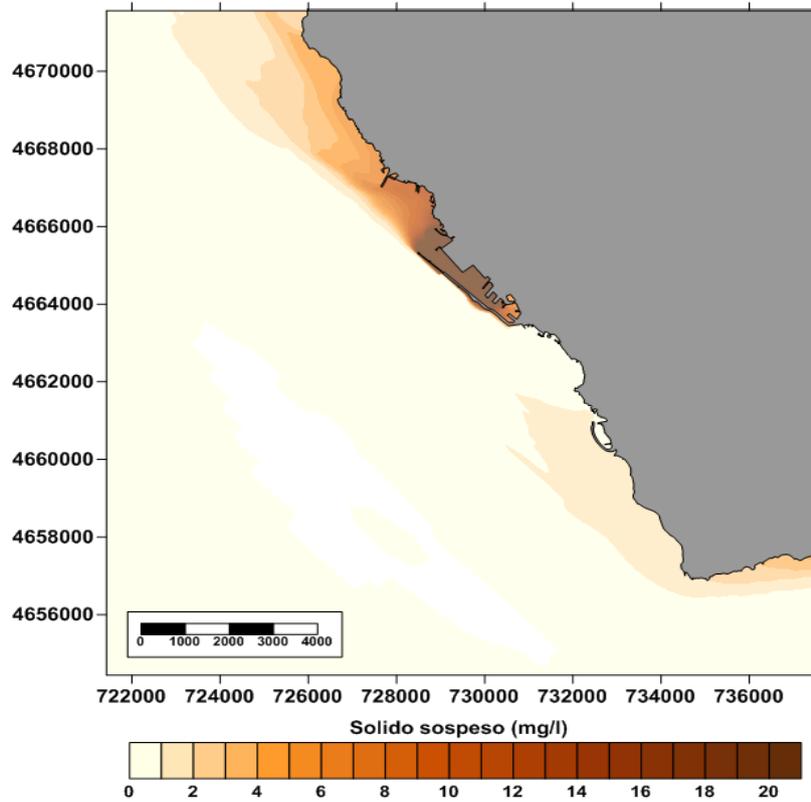
ALLEGATO E

Risultati delle simulazioni di dispersione del sedimento

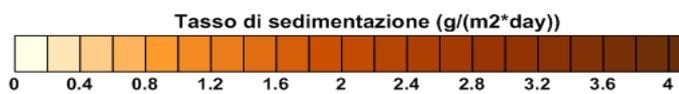
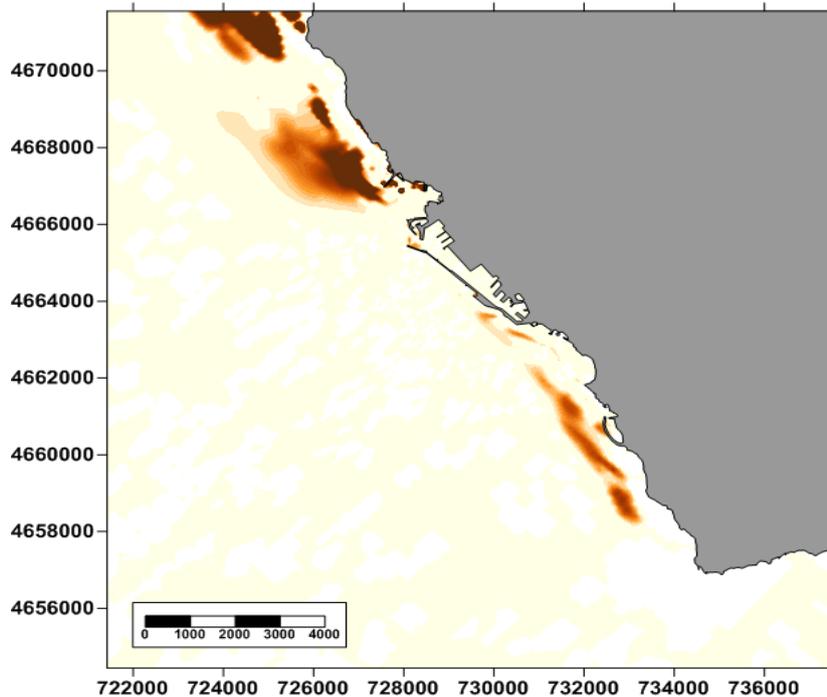
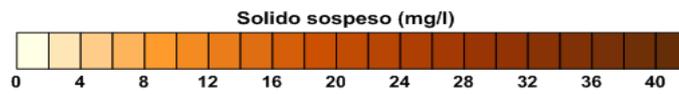
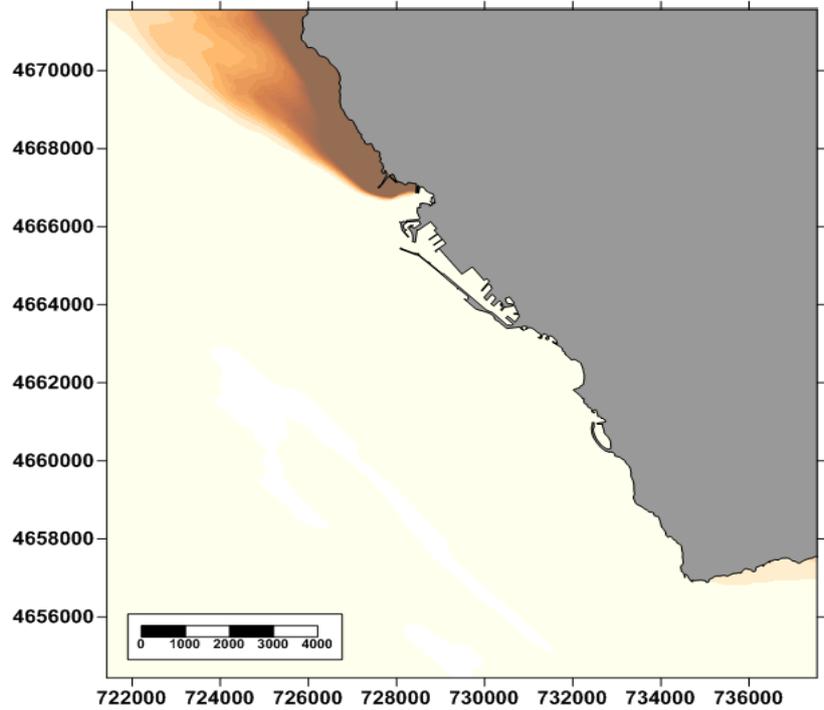
Mezzogiorno - Simulazione con fiumi



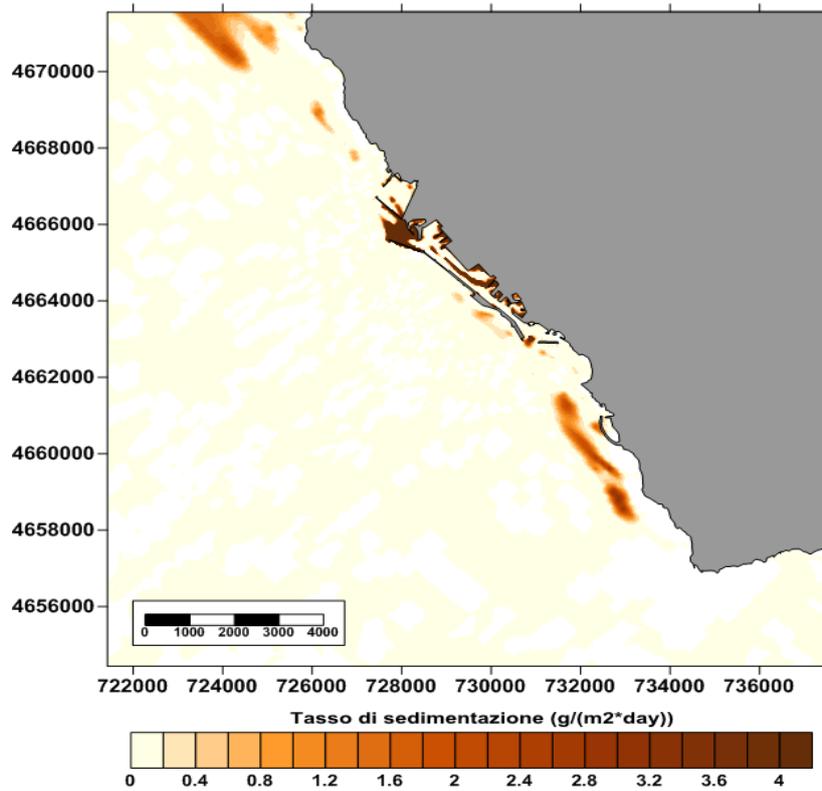
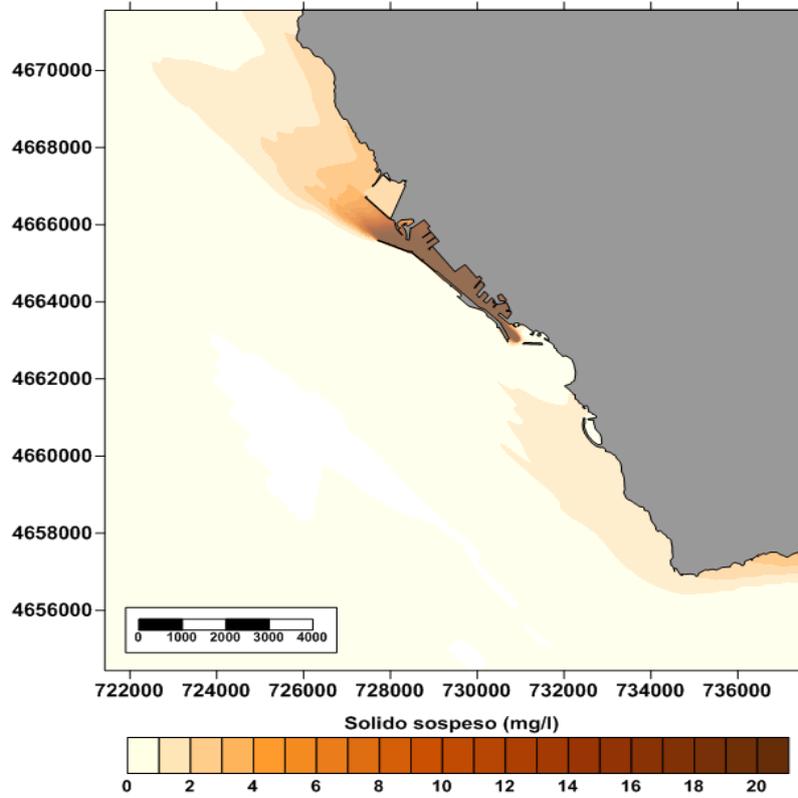
Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (1LF)



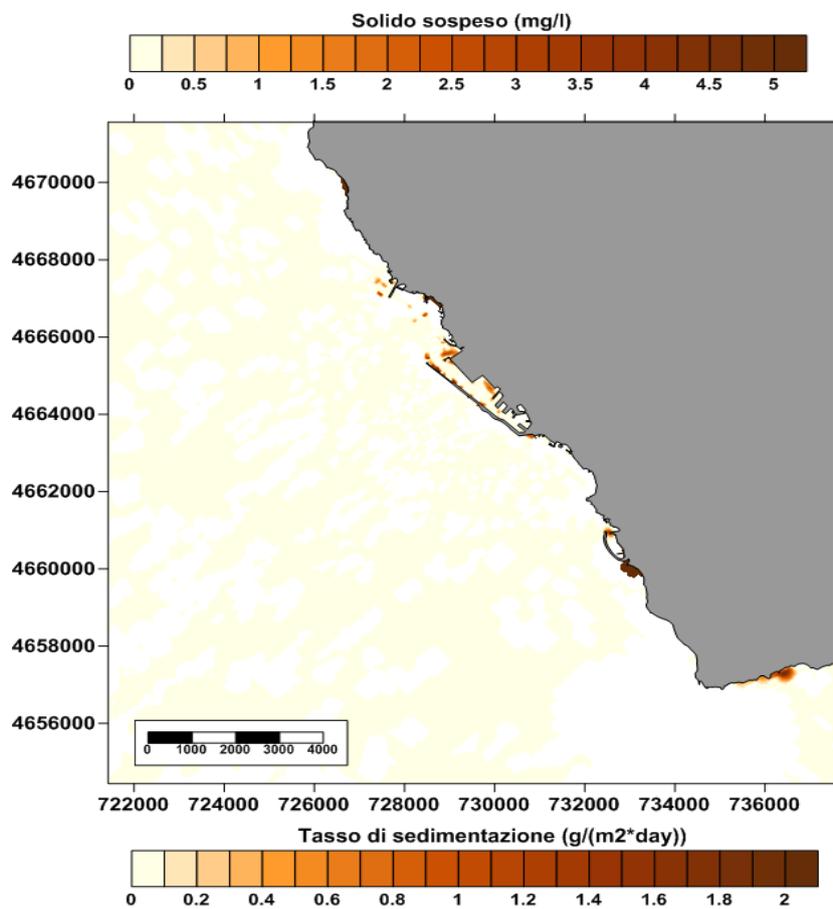
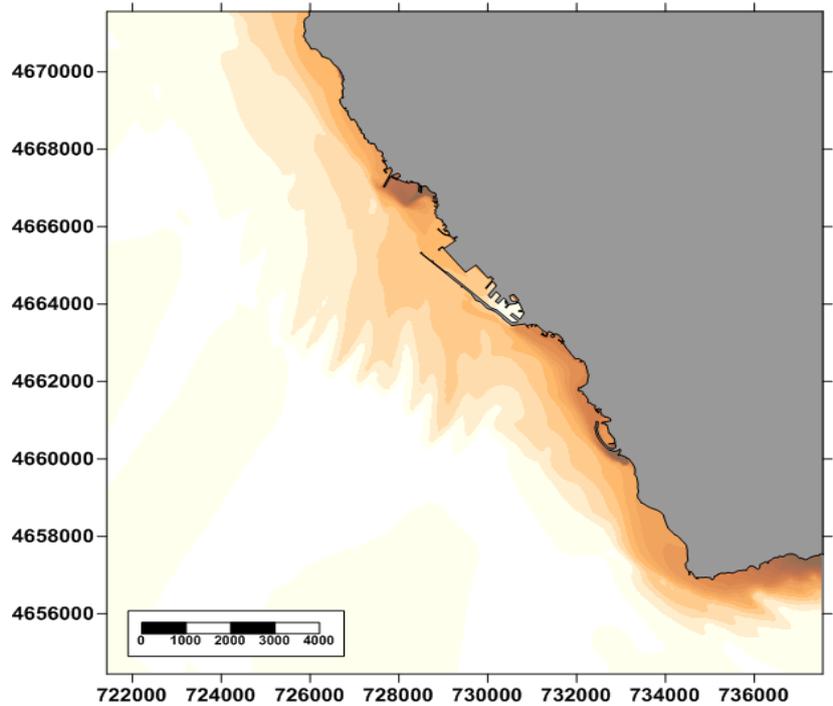
Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (DEGM)



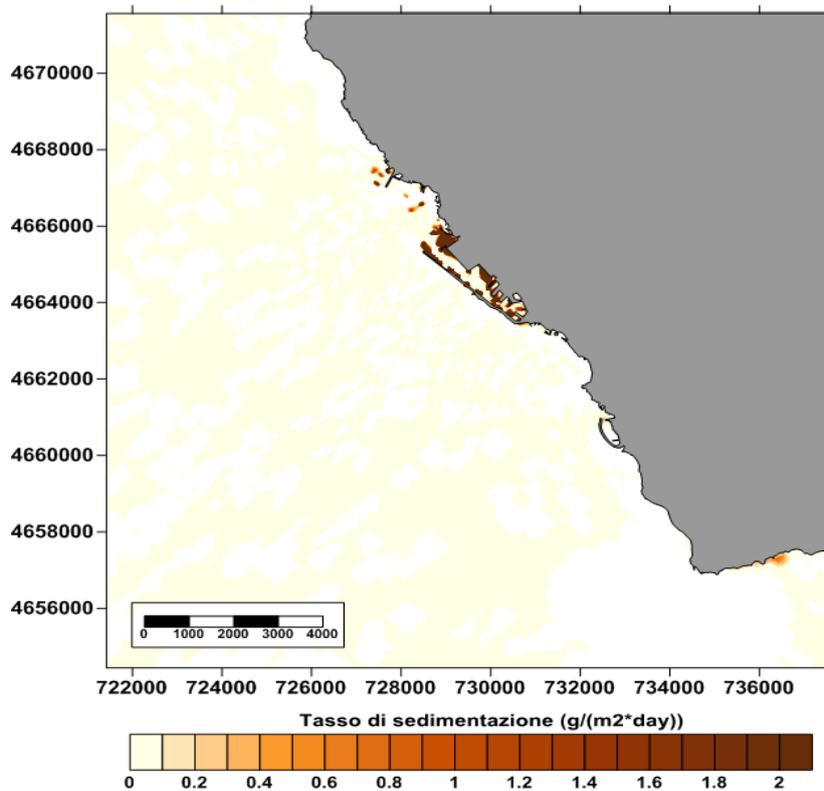
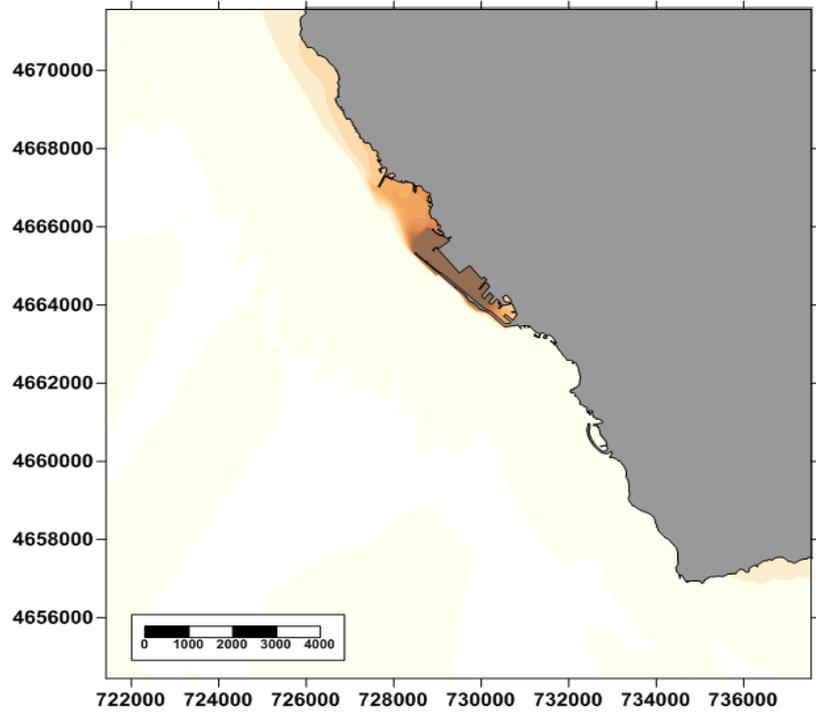
Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (Apertura a sud)



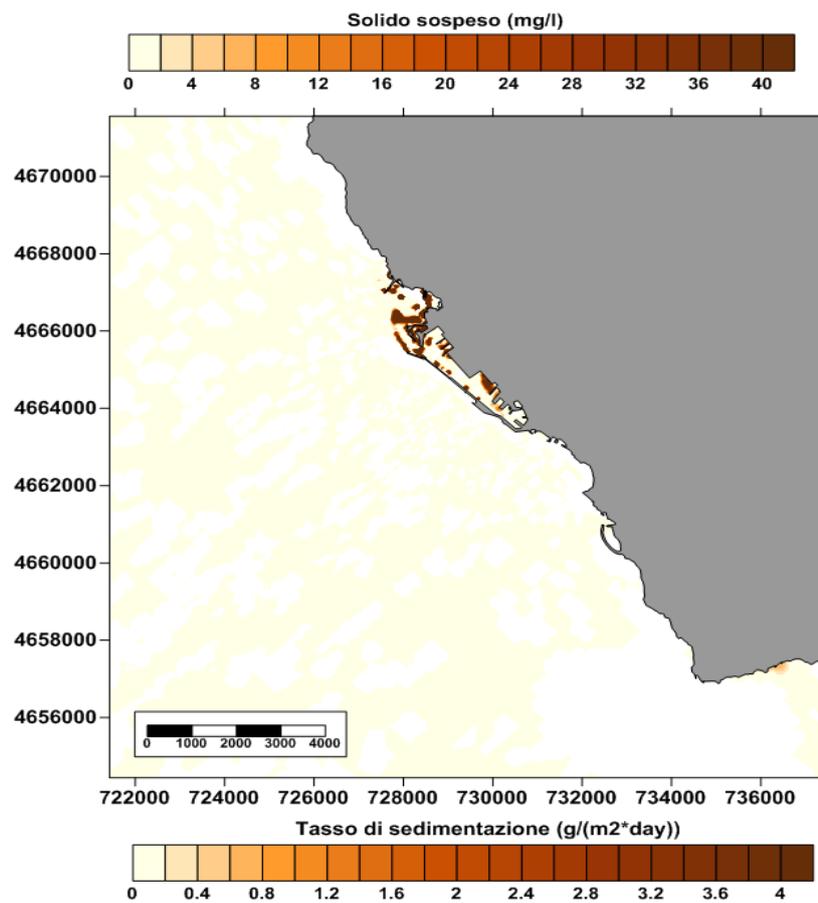
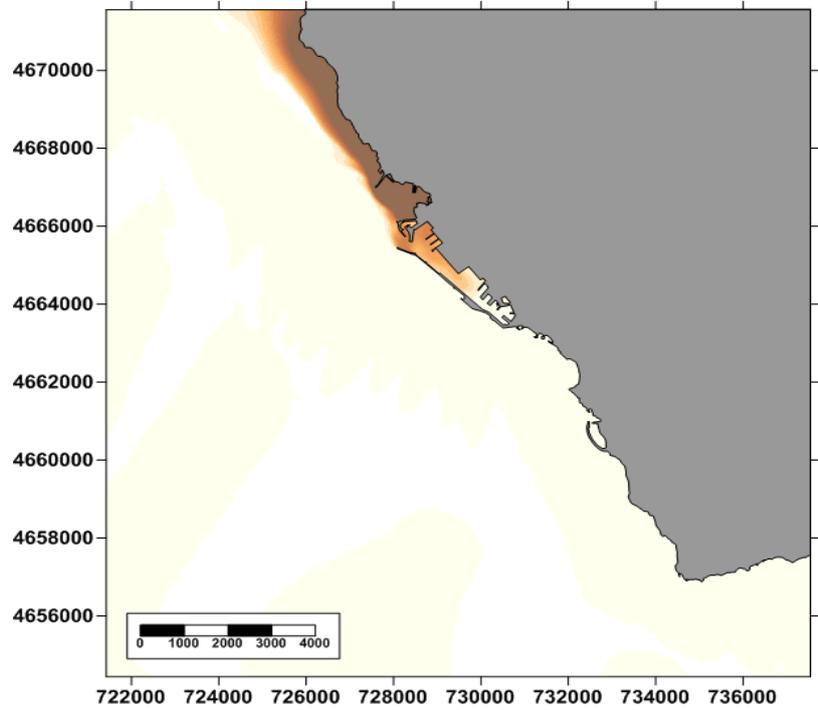
Libeccio-Mezzogiorno - Simulazione con fiumi



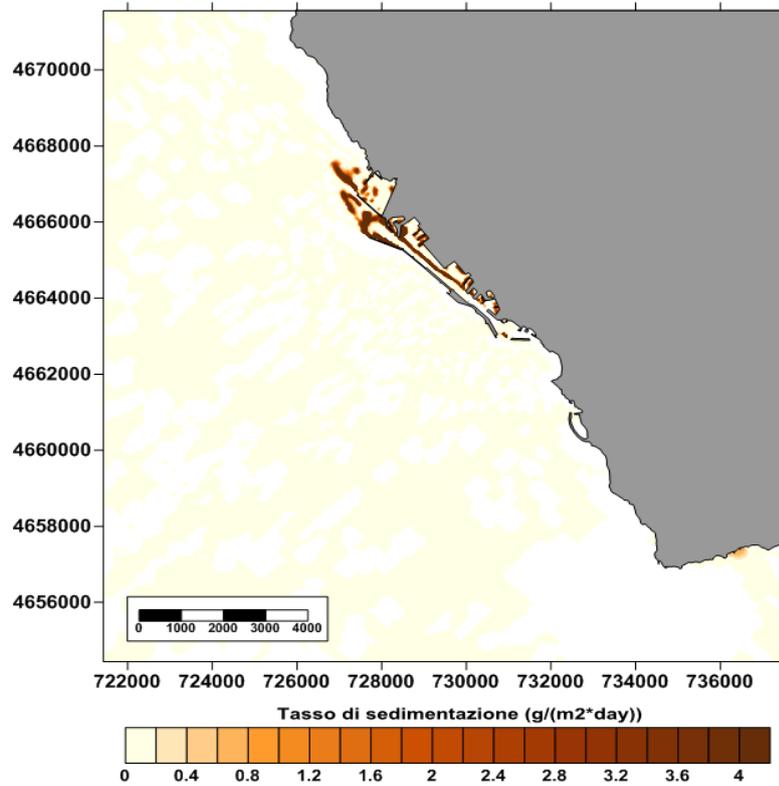
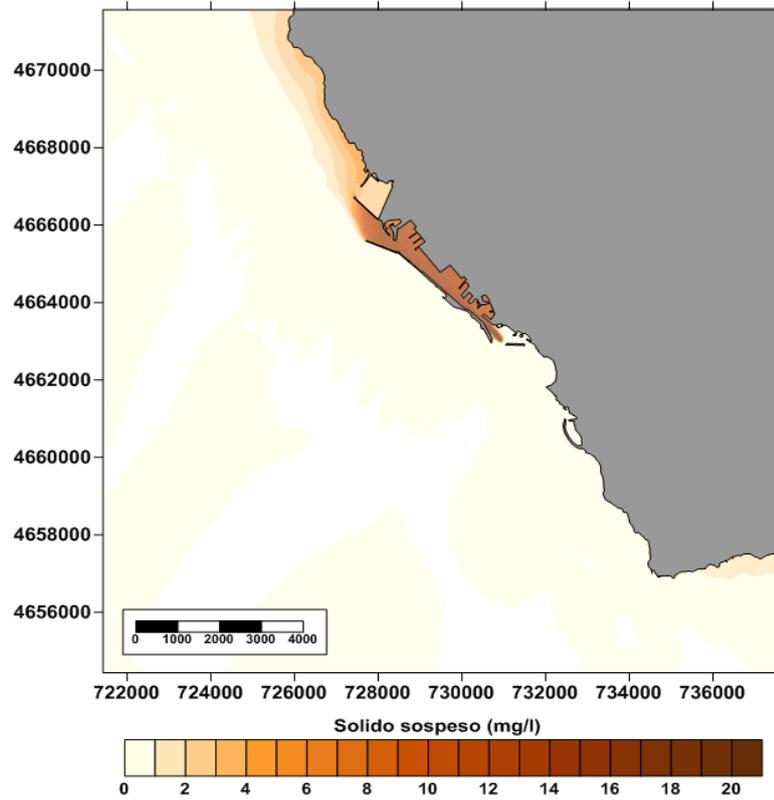
Libeccio-Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (1LF)



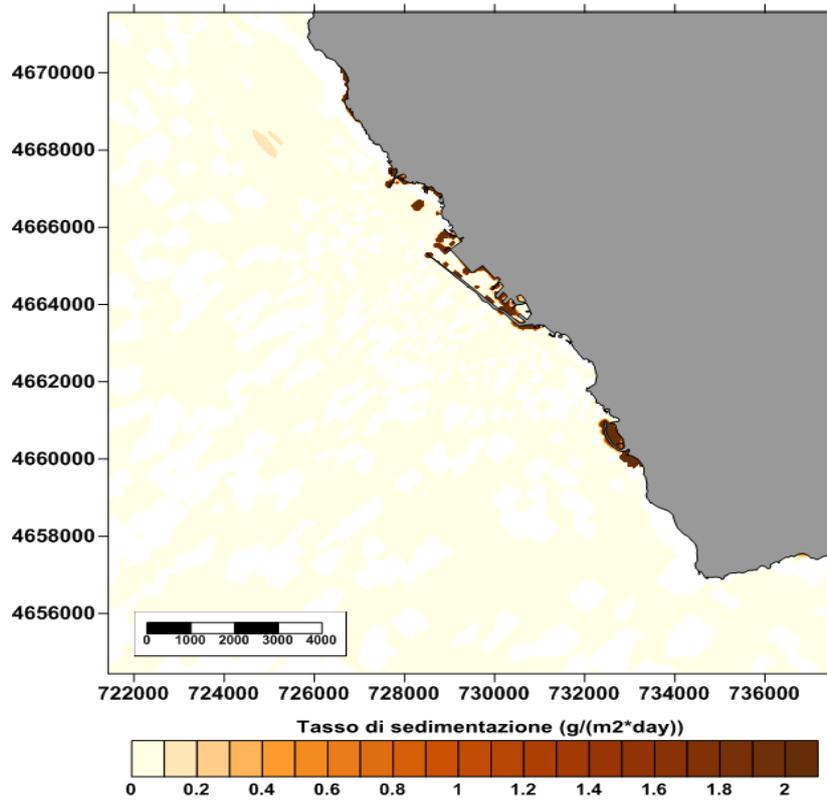
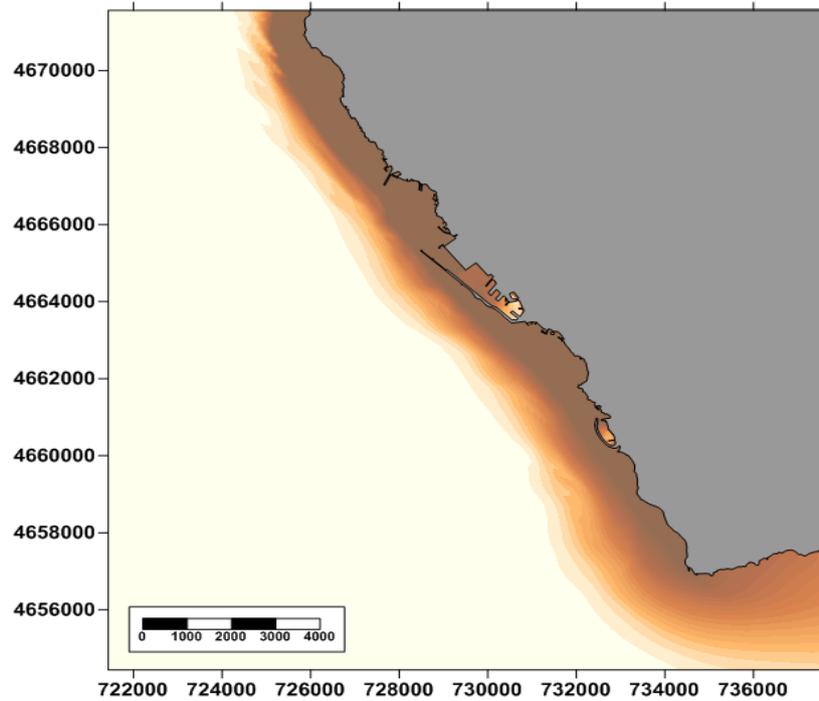
Libeccio-Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (DEGM)



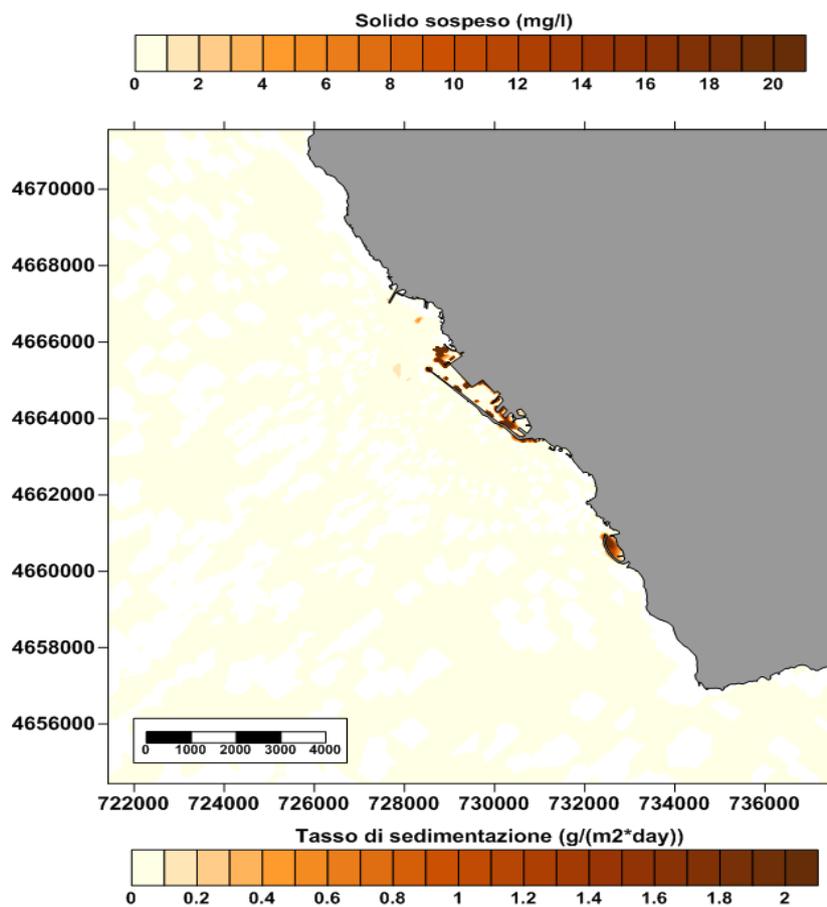
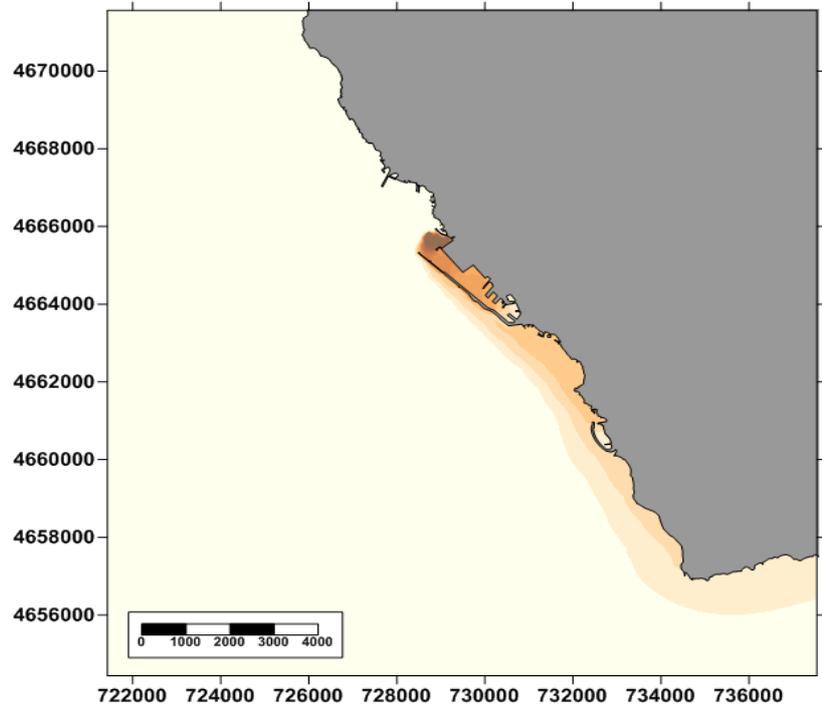
Libeccio-Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (Apertura a sud)



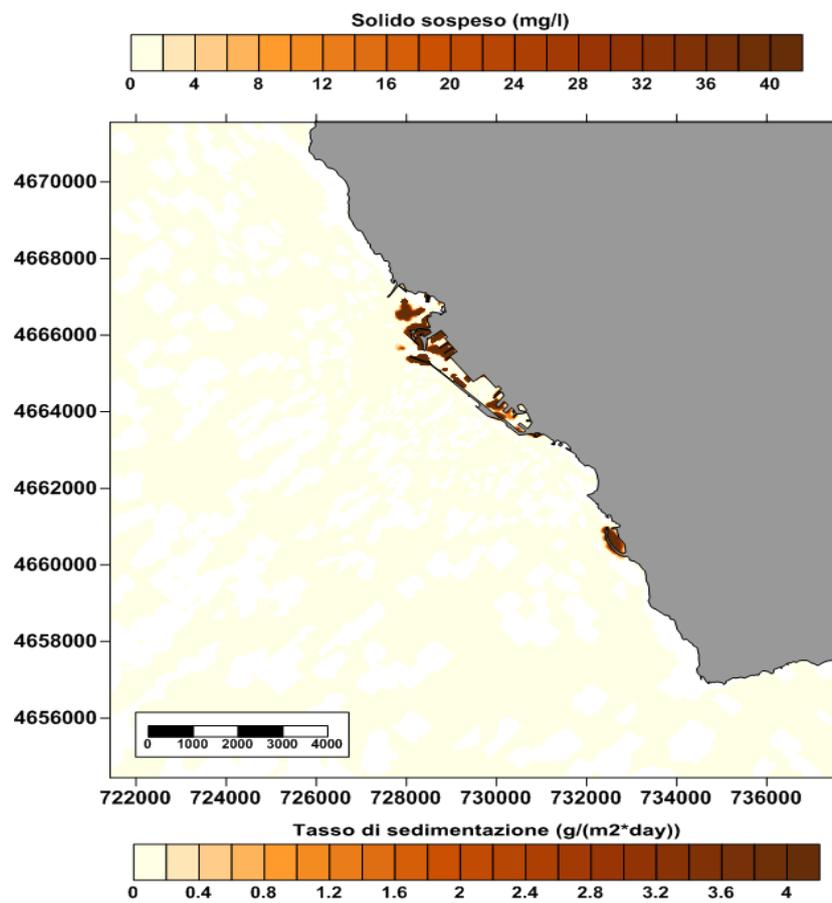
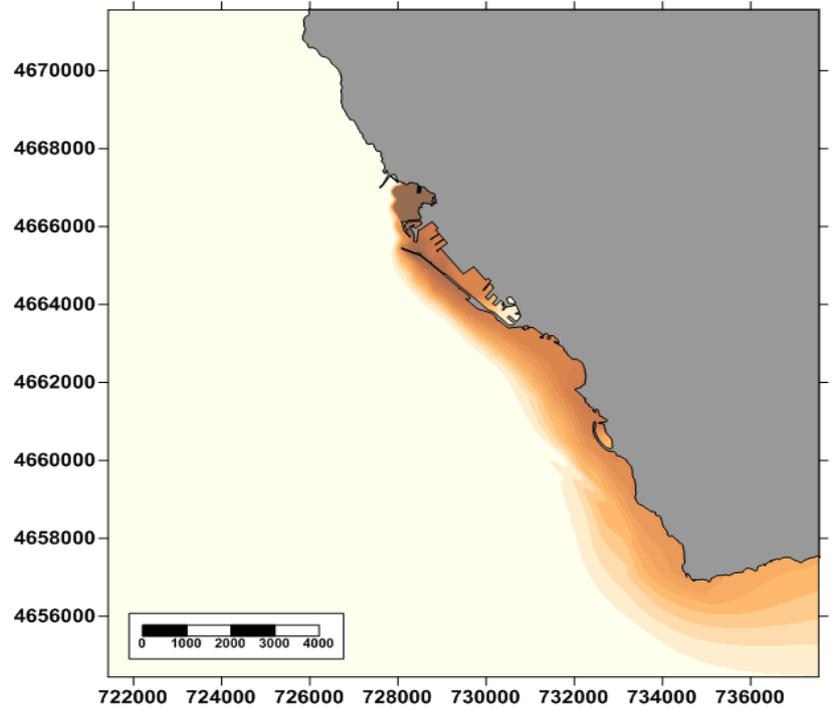
Ponente - Simulazione con fiumi



Ponente - Simulazione dragaggio (1LF)



Ponente - Simulazione dragaggio (DEGM)



Ponente - Simulazione dragaggio (Apertura a sud)

