



PORTI
di ROMA
e del LAZIO

AUTORITA' PORTUALE DI
CIVITAVECCHIA, FIUMICINO E GAETA

OPERE STRATEGICHE PER IL PORTO DI CIVITAVECCHIA

1° LOTTO FUNZIONALE:
PROLUNGAMENTO ANTEMURALE C. COLOMBO
DARSENE SERVIZI E TRAGHETTI

PROGETTO DEFINITIVO

VERIFICA DI ATTUAZIONE

(ai sensi art. 185 comma 6 e 7 D.Lgs. 163 / 06)

DELLE PRESCRIZIONI CONTENUTE NEL PARERE DEL MINISTERO DELL'AMBIENTE E
DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

(prot.DSA_2006_0021173 del 08-08-2008)

ALL. 6.1 (VOLUME 1/2)
MONITORAGGIO AMBIENTE MARINO
ANTE OPERAM

Committente:

Autorità Portuale di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Maurizio Ievolella

IL DIRIGENTE DELL'UFFICIO AMBIENTE

Dott. Ing. Calogero G. Burgio



Prof. Marco Marcelli

COMMESSA		CATEGORIA	LIVELLO	REV	
9	3	M	P	ALL.6	0
5	0	A	E		
1	1				
	NOV/2011	0	PRIMA EMISSIONE		
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE		

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1 Le scale spaziali e temporali dei fenomeni naturali marini	5
1.2 Le piattaforme di misura alle differenti scale spaziali e temporali	7
1.3 Logica del sistema informativo dei dati reperiti a Civitavecchia	9
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	13
2.1 Lineamenti morfologici della Piattaforma costiera Laziale	13
2.2 Morfologia costiera	14
2.3 Geologia	16
2.3.1 Tarquinia-Cerveteri	17
2.3.2 Cerveteri – Ladispoli	20
2.4 Idrografia	22
2.5 Uso del suolo	24
2.6 Aree protette ed altri usi del mare	27
2.7 Fondali marini: fanerogame	28
3. AREA DI STUDIO	31
3.1 Caratterizzazione meteomarina	32
3.1.1 Meteorologia	32
3.1.2 Caratterizzazione ondametria	50
4. CARATTERIZZAZIONE CORRENTOMETRICA DELL'AREA DI STUDIO	67
4.1 Dati disponibili	67
4.2 Rete di misura dell'Autorità Portuale	67
4.2.1 Materiale e metodi	67
4.2.2 Risultati	70
4.3 Campagna correntometrica Tuscia	90
4.3.1 Materiali e metodi	90
4.3.2 Risultati	93
4.4 Modelli idrodinamici HR Wallinford	103

4.4.1	<i>Materiale e metodi</i>	103
4.4.2	<i>Risultati</i>	106
4.5	Modelli idrodinamici Tuscia	110
4.5.1	<i>Materiale e metodi</i>	110
4.5.2	<i>Risultati</i>	114
5.	CARATTERIZZAZIONE FISICO-CHIMICO-BIOLOGICA DELLA COLONNA D'ACQUA	123
5.1	Dati disponibili	123
5.2.	Campagne di misura Autorità Portuale	123
5.2.1	<i>Materiali e metodi</i>	125
5.2.2	<i>Risultati</i>	126
5.3	Stazioni di misura fisse	141
5.3.1	<i>Materiali e metodi</i>	142
5.3.2	<i>Risultati</i>	146
5.4	Campagne di misura Tuscia	148
5.4.1	<i>Materiali e metodi</i>	148
5.4.2	<i>Risultati</i>	149
5.5	Campagne di monitoraggio delle acque marino costiere ARPA	158
5.5.1	<i>Materiali e metodi</i>	159
5.5.2	<i>Risultati</i>	160
5.6	Modelli matematici di disperisione del materiale sospeso HR Wallinford	170
5.6.1	<i>Materiali e metodi</i>	171
5.6.2	<i>Risultati</i>	172
5.7	Modelli matematici di dispersione del materiale sospeso Tuscia	185
5.7.1	<i>Materiali e metodi</i>	185
5.7.2	<i>Risultati</i>	187
6.	CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI MARINI	191
6.1	Dati disponibili	191
6.2	Campagna di caratterizzazione fisico-chimico-microbiologica dei sedimenti	192
6.2.1	<i>Materiali e metodi</i>	192
6.2.2	<i>Risultati</i>	198

6.3 Campagna di caratterizzazione dei sedimenti ai sensi del DM 24/01/96	229
<i>6.3.1 Materiali e metodi</i>	230
<i>6.3.2 Risultati</i>	237
7. CARATTERIZZAZIONE DELLE BIOCENOSI BENTONICHE E DELLA <i>POSIDONIA OCEANICA</i>	249
7.1 Dati raccolti	249
<i>7.1.1 Benthos di fondo mobile</i>	249
<i>7.1.2 Posidonia oceanica</i>	251
7.2 Benthos di fondo mobile	252
<i>7.2.1 Campagne di campionamento Regione Lazio</i>	252
<i>7.2.2 Progetto di Monitoraggio dell'ambiente marino costiero tra Santa Severa e Lido di Tarquinia dell'Autorità Portuale di Civitavecchia</i>	254
7.3 Posidonia oceanica	337
<i>7.3.1 Campagne di misura e campionamento Regione Lazio</i>	337
<i>7.3.2 Progetto di Monitoraggio dell'ambiente marino costiero tra Santa Severa e Lido di Tarquinia dell'Autorità Portuale di Civitavecchia</i>	343
8. BIBLIOGRAFIA	387

1. INTRODUZIONE

I cambiamenti negli ecosistemi marini sono guidati da tre classi generali di processi (Perry et al, 2003)¹:

- cambiamenti naturali ambientali che modificano l'habitat forzando la dinamica delle popolazioni, come ad esempio il clima;
- processi interni come i meccanismi dipendenti dalla densità o sostenibilità, o dai rapporti predatore-preda;
- forzanti antropiche come il degrado o la distruzione dell'habitat, la pesca, e la dispersione di contaminanti e o l'introduzione di inquinanti di altra natura (es, fisici) che modificano l'habitat e influenzano la vita degli organismi.

Ai fini della comprensione delle possibili variazioni che gli ecosistemi possono subire, si rende necessario quindi confrontare lo stato di una (o più) variabile che “fotografi” la componente ecologica in un preciso momento nel tempo con l'evoluzione che questa subisce a seguito di un evento che va a modificarne la dimensione.

A causa della complessità degli ecosistemi marini e della dimensione del numero delle variabili che vanno a incidere sulla sua analisi, a livello internazionale (es. EPA), si cerca di mettere a punto protocolli per identificare indicatori ecologici dei differenti ecosistemi che consentano di monitorare l'andamento degli ecosistemi.

Poichè però questi indicatori consentono di identificare una risposta dell'ecosistema ad un agente di disturbo, non è sempre possibile da questi risalire alla sorgente del disturbo, ancor più qualora le sorgenti siano molteplici e coesistenti nello stesso ambito territoriale.

Il dominio marino costiero è caratterizzato infatti da condizioni fisiche ed ecologiche che favoriscono e determinano una sovrapposizione spaziale dei differenti usi delle risorse naturali.

Questa copresenza genera conflittualità fra gli interessi legati a ciascuna tipologia d'uso e a soffrirne sono, invariabilmente, sia gli usi sia le risorse complessivamente più fragili. Usi e risorse marine costiere sono intrinsecamente legati e il concetto di sviluppo sostenibile, che li ricomprende entrambi, si basa sul principio che le attività e i processi devono essere gestiti in modo tale da garantire la perennizzazione delle risorse per gli usi futuri dell'uomo e delle altre specie.

1 R. Ian Perry, and Rosemary E. Ommer: Scale issues in marine ecosystems and human interactions; Fish. Oceanogr. 12:4/5, 513–522, 200

Per quanto sopra trova fondamento la necessità di un approccio interdisciplinare alla conoscenza e gestione dell'ambiente marino nella sua accezione più generale, con competenze specifiche in campo meteorologico, oceanografico, geologico e biologico.

I conflitti d'uso e di interesse sono così evidenti e presenti nel territorio di Civitavecchia, con l'ampliamento del porto, numerose industrie, una pesca importante, archeologia, agricoltura costiera e ultimo in elenco, ma non ultimo per importanza, il turismo, che diviene fondamentale organizzare e gestire le conoscenze disponibili sull'ambiente marino-costiero senza trascurare i processi dinamici che influenzano in maniera determinante ecosistemi e disturbi.

La descrizione quindi dello stato del sistema, inteso come insieme degli indicatori e stato delle condizioni al contorno che li influenzano, in un determinato momento temporale, costituisce il "bianco" relativo agli sviluppi futuri, come non solo raccolta di dati descrittivi degli ecosistemi marini, ma integrazione di informazioni provenienti da differenti comparti scientifici complementari.

Ai fini del poter correttamente definire il disturbo che le differenti sorgenti producono sugli ecosistemi e isolare questi segnali dai cambiamenti naturali e dai processi interni alle comunità, diviene imprescindibile quindi l'organizzazione di quante più informazioni possibili.

Un moderno approccio allo studio dei sistemi marini costieri infatti richiede l'integrazione di diversi approcci teorici e di diverse attività sperimentali. Questo significa che ciascun set di dati è stato prodotto in campagne di misura differenti effettuate in periodi diversi e con durata differente.

L'organizzazione dei dati e le attività di monitoraggio da porre in essere devono tener conto delle scale spaziali e temporali dei fenomeni e processi naturali oggetto di studio.

1.1. Le scale spaziali e temporali dei fenomeni naturali marini

La variabilità, l'abbondanza e la diversità delle popolazioni degli ecosistemi oceanici sono controllate dall'interazione di processi biologici, chimici e fisici (Rothschild, 1988²).

Ciascuno di questi processi è definito da precise scale spaziali e temporali che si vanno a sovrapporre parzialmente.

In altre parole ciascun fenomeno si svolge all'interno di un proprio sistema di riferimento definito dalle quattro dimensioni: lunghezza, larghezza, altezza e tempo. Le dimensioni dei

2 Rothschild B.J.: "Toward a Theory on Biological-Physical Interactions in the World Ocean" (Rothschild B.J. ed.). Kluwer Academic Publishers, NATO ASI Series: 1-7. 1988

differenti fenomeni non coincidono ma si vanno a sovrapporre solo parzialmente.

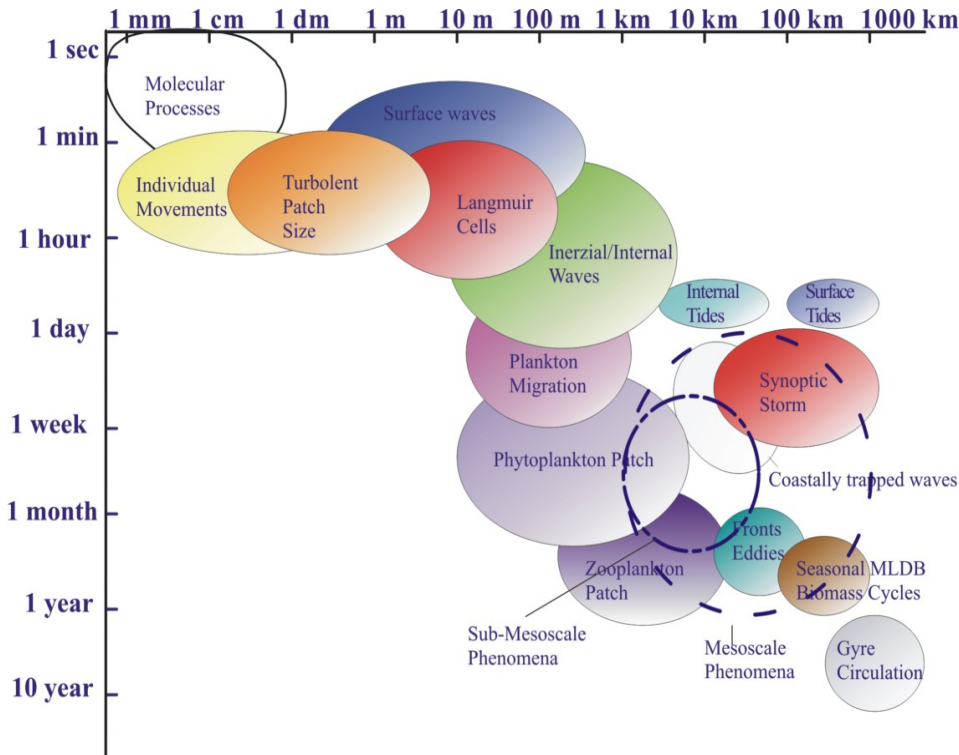


Fig.1.1-1. Rappresentazione dei principali fenomeni fisici e di molti processi ecologici ad essi collegati negli oceani superiori (ridisegnata da Dickey 1990-1³). Nel Mediterraneo non sempre queste si ritrovano queste scale, spesso sono compresse. Ad esempio, come potremo osservare nei paragrafi seguenti, la gyre del Tirreno si presenta con una scala spaziale di 70-120 km ed una temporale della dimensione di mesi e non di anni.

Per poter effettuare confronti efficaci si raffrontano le variabili dei fenomeni considerando solamente due grandezze alla volta. Per le caratteristiche dei fenomeni stessi non si genera un errore operando in questa maniera. È necessario infatti ricordare che la maggior parte dei fenomeni oceanografici presentano una elevata variabilità lungo la verticale della colonna d'acqua mentre presentano una forte omogeneità nella dimensione orizzontale.

Solamente i fenomeni a micro scala presentano un elevato livello di isotropia in quanto è il livello energetico che gioca il ruolo principale nel governo di questi processi (ad es. la diffusione molecolare).

Nella fig. 1.1-1 sono illustrate le scale di alcuni fenomeni fisici e di alcuni processi biologici

3 Dickey, T.D. 1990. Physical-optical-biological scales relevant to recruitment in large marine ecosystems. Pp. 82–98 in Large Marine Ecosystems: Patterns, Processes, and Yields. K.Sherman, L.M. Alexander, and B.D.Gold, eds. AAAS, Washington, D.C. Dickey, T.D. 1991. The emergence of concurrent high-resolution physical and bio-optical measurements in the upper ocean and their applications. Rev. Geophys. 29(3):383–413.

ad essi associati. Si può osservare che anche se le aree di tali fenomeni spesso non sono coincidenti, quasi sempre però manifestano lo stesso ordine di grandezza.

I processi biologici ed ecologici spesso risultano associati ai fenomeni fisici, in quanto la distribuzione nello spazio e nel tempo delle comunità viene modulata fortemente dalle scale spaziali e temporali dei fenomeni fisici caratteristici dei mari e degli oceani: onde, correnti, maree, illuminazione.

È molto facile dimostrare che i fenomeni fisici alimentano, addirittura a volte generano, e sicuramente sempre condizionano, una serie di processi biologici. È meno comune riscontrare osservazioni sulla reciprocità spazio-temporale dei due comparti: biotico ed abiotico.

Il problema principale degli studi oceanografici e di ecologia marina è infatti dato dal fatto che molto spesso vengono effettuati studi anche molto particolareggiati, con metodi e strumentazione adeguati ma che non tengono conto delle scale spaziali e temporali dei fenomeni che si stanno studiando.

Questo porta sovente ad interpretazioni fuorvianti oppure errate dei fenomeni che si vogliono osservare. Il non considerare infatti, nella migliore maniera, le scale temporali e spaziali dei fenomeni porta a predisporre sovente piani di indagine non calzanti oppure che portano a risultati poco significativi.

Lavorare a mare comporta però confrontarsi con una serie di problemi operativi che sono legati alle possibilità di muoversi in un ambiente che di suo è poco accessibile.

Gli studiosi sono legati a una serie di piattaforme operative, barche, boe, aerei, satelliti, attraverso le quali si possono effettuare le osservazioni ed acquisire i dati con la strumentazione di misura.

Anche le piattaforme però, come i processi che si devono studiare, posseggono delle caratteristiche operative che ne definiscono le scale spaziali e temporali di esercizio.

Un altro aspetto fondamentale è quindi la limitatezza intrinseca delle scale spaziali e temporali delle possibilità operative delle piattaforme di misura.

1.2. Le piattaforme di misura alle differenti scale spaziali e temporali

Per comprendere i processi ecologici si ha la necessità di poter comparare, nello stesso insieme spazio-temporale, i comparti biotico e abiotico, misurando sinotticamente le loro variabili descrittive e, ove possibile, i descrittori dei processi in atto.

Usualmente questi processi vengono modellizzati mediante algoritmi che considerano diverse variabili facilmente misurabili e calcolano variabili che sono più rappresentative del processo stesso, ad es. la produzione primaria. La funzionalità dei modelli dipende quindi, in larga misura, dalla disponibilità di variabili in ingresso che sono limitate da molti fattori quali le caratteristiche intrinseche della variabile che si intende misurare (ad es. la produzione primaria), oppure la loro variabilità spazio-temporale (ad es. la variazione della produzione primaria indotta da processi dinamici).

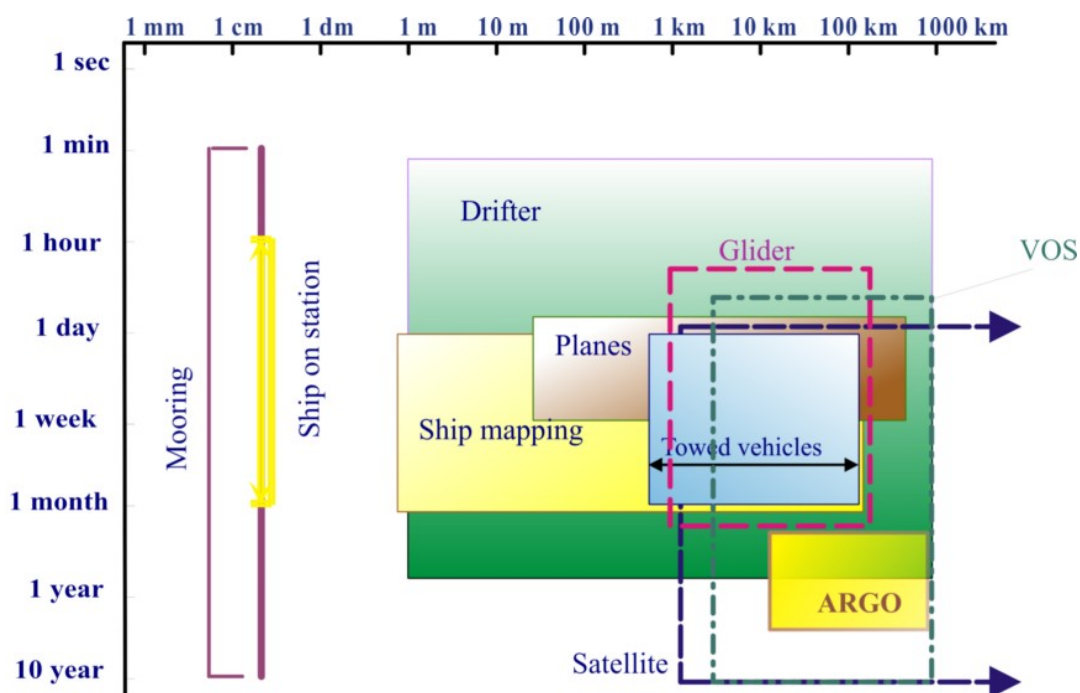


Fig.1.2-1. Copertura orizzontale spaziale e temporale di alcune piattaforme (Dickey and Bidigare, 2005⁴). Da questa figura si può osservare come le scale sull'orizzontale del satellite (il cui campo è delineato da una linea tratteggiata) e degli aerei, che forniscono le piattaforme di osservazione sinottica, si sovrappongono ai veicoli ondulanti (area grigia - ship tow yo). I veicoli ondulanti rappresentano un sottoinsieme della possibilità operativa della nave espandendone le capacità. I drifter (area tratteggiata) che sull'orizzontale forniscono un'elevata copertura, sulla verticale (figura 1.2-2) non sono rappresentativi.

Il telerilevamento consente la sinotticità spaziale dell'osservazione (Lohrenz et al., 1988; Woods, 1988), ma è caratterizzato implicitamente da una scarsa risoluzione spazio-temporale e dall'assenza della terza dimensione spaziale: la profondità (Strass & Woods, 1988).

⁴ Dickey, T. D. & Bidigare, R.R. (2005). Interdisciplinary oceanographic observations: the wave of the future, SCI. MAR., 69 (Suppl. 1), pp. 23-42

Dalle figure 2 e 3 si riesce a vedere quali sono, nell'orizzontale e nella verticale, rispetto alle scale di tempo, le coperture operative delle varie piattaforme che si possono utilizzare in oceanografia.

Le metodologie di indagine oceanografica tradizionale e di monitoraggio dell'ambiente marino sono legate alle scale temporali dell'osservatore e quindi, a parte il satellite, caratterizzate dall'impossibilità di effettuare osservazioni sinottiche.

Essendo il satellite la piattaforma che assicura la maggiore sinotticità sulla orizzontale risulta evidente che, per riuscire a coprirne le mancanze la migliore sovrapposizione nell'orizzontale, con una sufficiente copertura nella scala verticale, è fornita proprio dai veicoli ondulanti trainati.

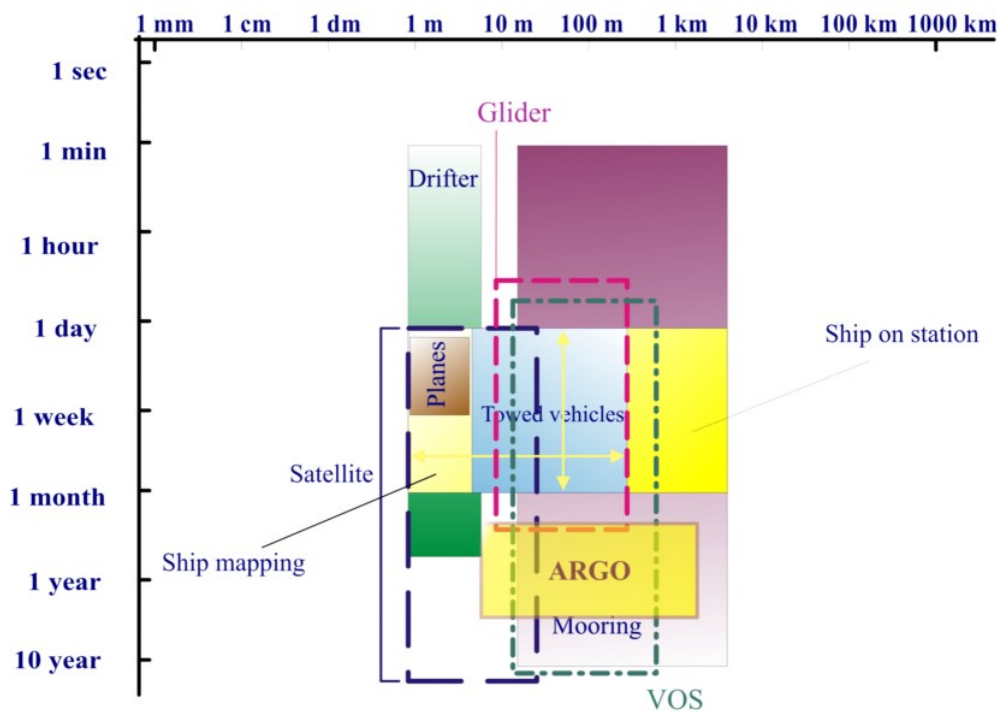


Fig.1.2-2. Copertura verticale spaziale e temporale di alcune piattaforme (Dickey and Bidigare, 2005). In questa figura si evidenziano le limitatezze delle capacità di indagine nella colonna d'acqua di satelliti, aerei e drifter. Si evidenzia anche come i tow fish (area grigia - ship tow yo) espandano le possibilità di misura sinottica delle navi.

1.3. Logica del sistema informativo dei dati reperiti a Civitavecchia

Il mare antistante Civitavecchia rappresenta un'area esemplificativa dove molti monitoraggi e studi sono stati condotti in quanto ad una rilevante componente ecologica marina, si sono

sovrapposti molteplici usi della fascia costiera, che la portano inoltre ad essere, nel sistema Mediterraneo, un importante punto di convergenza di interessi sia nazionali che internazionali.

Il Porto di Civitavecchia costituisce il secondo scalo europeo per numero di passeggeri annui in transito, grazie al grande flusso di navi da crociera; nel traffico merci ha movimentato almeno 10.500.000 tonnellate di merce varia, soprattutto prodotti petroliferi, rendendo così Civitavecchia il polo petrolifero dell'Italia centrale. E' interessato da un'intensa attività di pesca, con una produzione ittica stimata intorno a 700 tonnellate annue. Questa città rappresenta inoltre un importante nodo industriale, fondamentale come polo energetico, ospitando due grandi complessi produttivi, e offrendo anche produzioni di altra natura, fra cui ad esempio l'acquacoltura. Tutte queste attività interagiscono in modo significativo con l'ambiente costiero.

Civitavecchia è anche caratterizzata da una variegata morfologia del litorale. La costa presenta tratti di spiaggia sabbiosa o ghiaiosa interrotta da distese di scogli, costituendo così un'importante base per l'insediamento di una grande varietà di specie animali e vegetali. Per l'elevato valore ecologico degli ecosistemi marini, Civitavecchia è sede di numerosi SIC (Siti di Importanza Comunitaria), legati alla presenza di estese praterie di fanerogame marine quali la Posidonia oceanica e la Cymodocea nodosa.

Attualmente si assiste ad un progressivo incremento delle attività che si svolgono sulla fascia costiera, sulla quale si viene a generare quindi una forte pressione, motivo per il quale è necessario avere un quadro sinottico, che abbia una funzione di riferimento scientifico e divulgativo, ed è sempre più importante un controllo dei comparti ambientali per evidenziare e prevenire situazioni di rischio potenziale per gli ecosistemi e per gli usi che l'uomo fa della risorsa mare.

Questo è possibile solamente attraverso la sistemazione organica e la gestione dei dati risultanti da indagini sperimentali, che consentono la conoscenza dell'ecosistema marino e della sua qualità, tenendo conto della più importante delle caratteristiche dell'ambiente marino: essere un sistema fortemente dinamico.

Il monitoraggio ambientale consente infatti di tenere sotto controllo alcuni parametri caratteristici di un ecosistema o comparto ambientale, fornendo gli strumenti necessari ad orientare eventuali strategie gestionali.

In tale contesto si inseriscono anche le attività del laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina che da oltre un decennio opera sul comparto marino di Civitavecchia con

numerosi studi, ricerche e monitoraggi sull'ambiente marino.

L'integrazione dei numerosi dati acquisiti in campo con i risultati dei modelli matematici e la loro rappresentazione spaziale è di fondamentale importanza perchè consentono una analisi dettagliata dell'evoluzione nello spazio e nel tempo degli effetti dovuti alle interazioni tra le attività antropiche e i processi oceanici naturali. Tramite i layout dei modelli in futuro sarà quindi possibile ottenere la rappresentazione di diversi scenari con estrema accuratezza.

Il presente progetto, quindi, vuole rappresentare un contributo alla messa a punto e alla calibrazione in campo di una strategia complessiva di rilevamento, trattamento dei dati e modellistica, che integrata all'informazione telerilevata, contribuirà alla valutazione della variazione spazio temporale dei processi marini.

Per la messa a punto di tale strategia, occorre definire non soltanto la verità-mare per le grandezze investigate, ma anche e soprattutto le relazioni teoriche ed empiriche che legano tali grandezze. I dati acquisiti verranno inseriti come input nei modelli matematici che simuleranno fenomeni quali: l'eutrofizzazione, la produzione primaria e l'inquinamento prodotto dagli idrocarburi.

Appare fondamentale, ai fini dell'attività complessiva, utilizzare tutte le informazioni pregresse e implementare le caratteristiche dei monitoraggi con tutte le informazioni possibili, al fine di aumentare la quantità, l'accuratezza e la precisione delle informazioni che da questo lavoro scaturiranno.

Il presente lavoro si pone come ambizioso risultato anche quello di rappresentare addirittura un progetto pilota per la gestione integrata delle aree marine costiere, in cui tutte le informazioni inerenti uno specifico tratto di costa vengono convogliate in un sistema di gestione e valorizzazione dei dati in esso contenuti, attraverso una piattaforma informatica modulare.

Il sistema predisposto, oltre ai dati pregressi, è in continua evoluzione, e consentirà l'integrazione tra dati ambientali provenienti dai monitoraggi, dati socioeconomici provenienti dagli usi della fascia costiera, simulazioni di scenari provenienti da modelli matematici

L'obiettivo di questo data base va ben oltre infatti quello di essere un “bianco” dello stato degli ecosistemi marini di Civitavecchia, ma vuole contribuire ad una valorizzazione dei dati in possesso delle Amministrazioni Pubbliche integrandoli con nuove misure provenienti da monitoraggi mirati, al fine di valutare lo stato di qualità dell'ambiente marino costiero nel tempo; dare un efficace supporto alle procedure di VIA, fornendo dati validi per la valutazione ante e post

operam, anche grazie all'utilizzo di modelli matematici previsionali.

Il sistema racchiude l'insieme delle informazioni necessarie per la pianificazione delle numerose attività legate alla fascia marina costiera e può essere suddiviso in tre componenti fondamentali: il sistema di monitoraggio, il sistema informativo e i modelli matematici.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 Lineamenti morfologici della Piattaforma costiera Laziale

Nell'area oggetto di studio la piattaforma continentale, per quanto una delle maggiormente sviluppate dell'intero margine tirrenico, è caratterizzata dall'essere più stretta e acclive rispetto alla media delle piattaforme italiane. La sua ampiezza è variabile: è più limitata nel settore centrale, tra Capo Linaro e Capo Circeo (20Km), mentre è maggiormente estesa nei settori settentrionale (tra l'Argentario e Capo Linaro) e meridionale (tra Capo Circeo e Gaeta) (30-40km). La sua pendenza media è di poco inferiore a 0.5° . Il margine verso mare, in corrispondenza del quale ha inizio la scarpata continentale, è ben definito e si trova ad una profondità variabile tra i 120m e i 150m.

I fondali antistanti la costa laziale, compresi tra la battigia e l'isobata dei 10m, presentano un andamento e un'ampiezza che riflettono i principali lineamenti della morfologia costiera: fondali poco acclivi, associati a un'ampia fascia costiera, sono localizzati nel Lazio settentrionale; un'acclività maggiore determina invece il restringimento della stessa lungo le coste meridionali del Lazio. In corrispondenza dei litorali bassi e sabbiosi sono presenti più ordini di barre, rettilinee e più continue quelle esterne, discontinue e con frequente festonatura quelle interne.

Indagini di dettaglio condotte nella fascia compresa tra 0 e 10m lungo tutto il litorale laziale hanno evidenziato come i sedimenti ivi presenti siano costituiti quasi esclusivamente da sabbie medie e fini, con differenze abbastanza evidenti a nord e a sud del Tevere. Nei settori settentrionali sono presenti sedimenti che vanno dalle sabbie molto grossolane alle sabbie finissime (diametro medio compreso tra -1.2 e $+4$ ϕ), mentre a sud prevalgono rispettivamente sabbie fini e medie (diametro medio rispettivamente di $+3.5$ e $+0.8$ ϕ).

Sabbie bioclastiche molto grossolane sono associate a fondali profondi e acclivi (dal Fiora al Mignone); sabbie grossolane si rinvenivano su fondali a debole acclività, come nel caso del tratto compreso tra capo Linaro e Palo e tra Torre Astura e Torre di Foce Verde. Al contrario, la costa rocciosa e le forti pendenze del fondo che caratterizzano la costa fra Monte Circeo e Scauri non sembrano influenzare la granulometria dei sedimenti di spiaggia soggiacenti (sabbie fini).

Le indagini condotte circa l'influenza degli apporti solidi fluviali sulle caratteristiche delle spiagge laziali indicano che solo i fiumi Tevere e Garigliano influenzano la fascia batimentrica

compresa tra 0 e 10m, mentre i corsi d'acqua minori incidono al più sulla composizione mineralogica.

La composizione mineralogica delle sabbie delle spiagge del litorale laziale è stata, in particolare, associata al disfacimento dei vulcani quaternari ed è caratterizzata, ad eccezione delle aree più prossime alla foce del Tevere, da vistose concentrazioni di minerali pesanti.

2.2 Morfologia costiera

L'Enea ha pubblicato in diverse versioni carte della morfologia delle coste Italiane, tutti gli studi sono stati pubblicati su basi topografiche di scarso dettaglio (1:500.000 – 1:100.000) di seguito è riportato uno stralcio relativo alla costa laziale. La carta di Fig. 2.2-1 riporta la classificazione della costa laziale e in minima parte di quella toscana, per facilitarne l'interpretazione ciascun morfotipo costiero è stato rappresentato riempiendo lo spazio compreso tra la linea di costa e l'isobata dei 100 m, ovviamente in corrispondenza delle aste fluviali di maggiori dimensioni è stato necessario verso l'entroterra introdurre un limite opportuno.

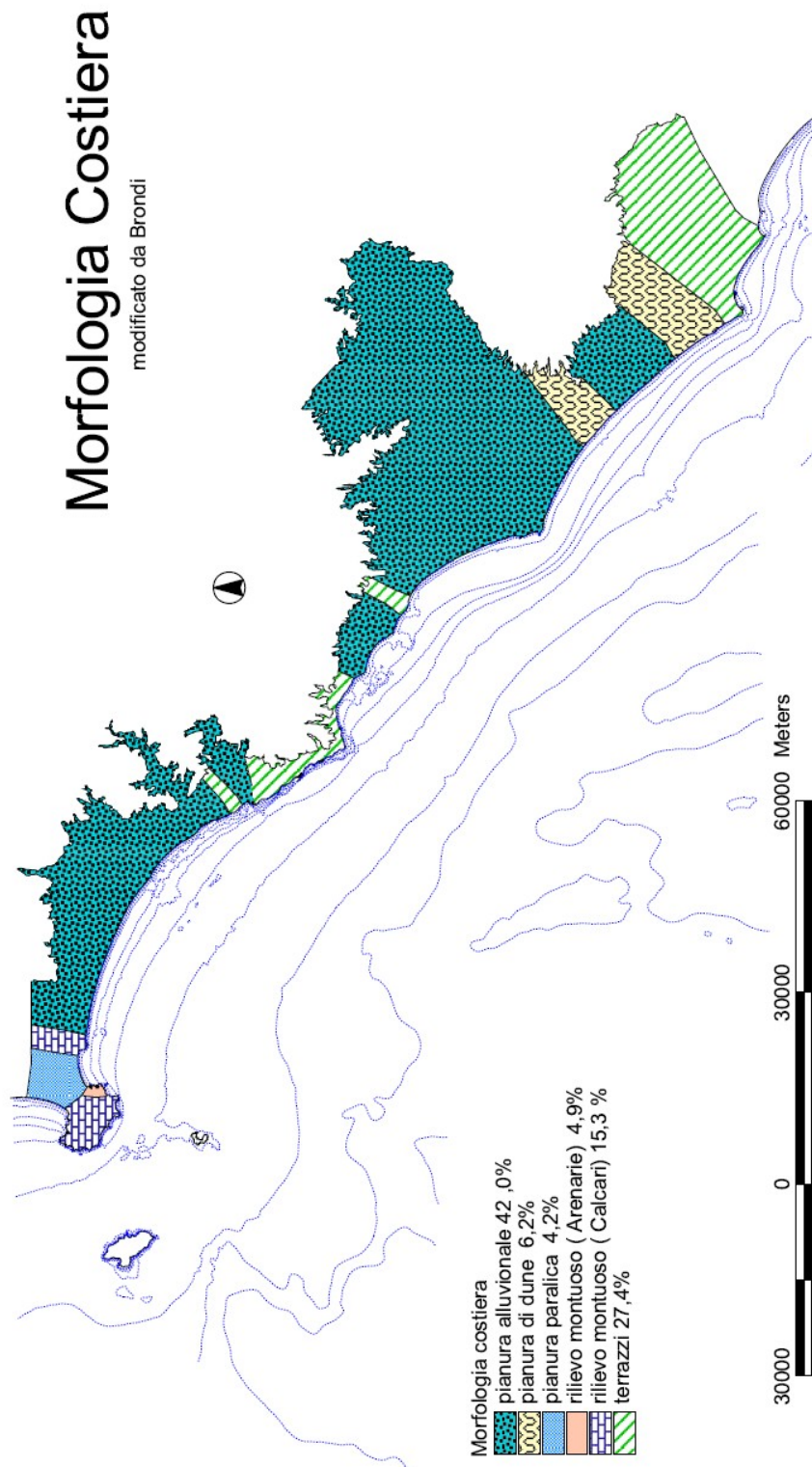


Fig. 2.2-1 Carta della morfologia costiera

In carta compaiono 6 morfotipi costieri con accanto la percentuale della lunghezza di ciascuno di essi in rapporto alla lunghezza totale del tratto di costa esaminato.

Come è possibile osservare, i tipi costieri maggiormente diffusi sono le pianure alluvionali e i terrazzi, rispettivamente 42% e 27,4%; i rilievi costieri sono presenti solo all'Argentario, mentre le pianure si osservano solo nella porzione meridionale della costa. La distribuzione, brevemente descritta sopra, evidenzia come una rappresentazione a scala nazionale possa non tener conto di realtà locali di piccola estensione, tuttavia la classificazione proposta da Brondi et al. (ENEA) è tuttora valida e pertanto si propone di realizzare una carta di maggior dettaglio integrando immagini telerilevate e sopralluoghi in situ.

2.3 Geologia

L'area di studio, compresa tra Marina di Tarquinia a nord e Santa Severa a sud occupa parzialmente due unità fisiografiche: Argentario-Capo Linaro e Capo Linaro – Anzio. Queste ultime ricadono nei seguenti fogli della carta geologica d'Italia (scala 1:100.000): 135, 136, 142, 143, 149 e 158. Ad eccezione del foglio 158 (Anzio) sono disponibili le note illustrative di ciascuna carta.

Per l'area di studio sono disponibili invece documentazione di maggior dettaglio e precisamente un foglio (Cerveteri), comprensivo di note illustrative, della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 ed uno studio, sempre alla scala 1:50.000, relativo all'area compresa tra Tarquinia e Civitavecchia sud pubblicato da Fazzini et al. (1972), rispettivamente le tavole ***“Ladispoli – Carta geolitologica”*** e ***“Civitavecchia – Carta Litologica”*** riportate in allegato.

Per l'inquadramento dell'area è indispensabile compiere un lavoro di sintesi dei materiali disponibili in modo da ottenere una carta geologica omogenea alla scala 1:50.000 del tratto di studio ed un inquadramento alla scala 1:100.000 per i settori dell'entroterra che insistono sulle unità fisiografiche interessate.

Quest'ultimo documento è indispensabile al fine di inquadrare le caratteristiche degli apporti sedimentari dovuti ai diversi corsi d'acqua che drenano i bacini. A questo scopo sarebbe di aiuto anche una carta litomorfologica, ossia dei tipi litologici dominanti e del relativo assetto morfologico. Tale documento dovrebbe essere di scala adeguata agli scopi del lavoro ma attualmente è disponibile una sola carta dei litotipi geomorfologici pubblicata dall'ENEA da Brondi in diverse versioni alla scala 1:1.000.000. Per lo studio potrebbe essere adottata la metodologia

proposta dall'ENEA per realizzare una carta litomorfologica di maggior dettaglio. Per questa attività sono disponibili presso il laboratorio dati altimetrici e litologici di dettaglio adeguato per la realizzazione di una carta dei Substroiti litomorfologici alla scala 1:100.000.

2.3.1 Tarquinia – Civitavecchia

Un'ampia sintesi delle caratteristiche geologiche dell'area Tolfetana, integrata da una grossa mole di dati sperimentali, è stata pubblicata da F. Fazzini et al. nel 1972. A tale pubblicazione è allegata una dettagliata carta geologica alla scala 1:50.000 alla quale si rimanda per un'approfondita consultazione.

Gli autori prendono in considerazione i Monti della Tolfa e il bacino neogenico di Tarquinia; individuano una serie basale probabilmente autoctona costituita da calcari e subordinatamente calcari marnosi di età triassico – cretacea e due serie alloctone costituite da flysh parzialmente coevi. La natura degli affioramenti mostra numerose analogie con i termini della serie toscana sia per quanto concerne il complesso basale sia per i complessi alloctoni. Viene inoltre descritta una serie di depositi semiautoctoni o autoctoni tra cui due serie plioceniche marine trasgressive tra loro eteropiche, e delle formazioni quaternarie sia marine sia continentali. Chiude il quadro geologico la descrizione dei depositi magmatici e vulcanici e loro probabile collocazione temporale. La tavola **“Civitavecchia – Carta Litologica”** riportata in allegato, rappresenta uno stralcio della carta di Fazzini relativo all'area costiera circostante Civitavecchia.

Quadro geologico stratigrafico generale (da Fazzini et al. 1972)

Gli autori raggruppano le formazioni affioranti in 4 complessi :

1. Complesso basale (autoctono ?)
2. Complesso alloctono (scomponibile in due unità tettoniche)
3. Complesso semiautoctono

4. Complesso neoautoctono e depositi recenti

5. A tali formazioni vanno aggiunte le vulcaniti, originate dai vulcani Sabatini e dal complesso vulcanico tolfaiano – cerite (5a), le coperture detritiche e i depositi travertinosi e alluvionali del quaternario (5b).

1) Le formazioni che costituiscono il COMPLESSO BASALE comprendono il calcare massiccio, il calcare Selcifero e la Scaglia Toscana.

2) Le formazioni più rappresentate nell'area tolfaiana sono quelle di natura flyshoidi appartenenti al COMPLESSO ALLOCTONO. Questo complesso è sovrapposto tettonicamente al complesso basale, e ne rappresenta la copertura regionale alloctona. Il complesso alloctono è composto da due unità: quella geometricamente più bassa, composta dal flysh tolfaiano e quella superiore riconducibile alla formazione della Pietraforte.

3) Il COMPLESSO SEMIAUTOCTONO comprende la sola formazione miocenica – superiore dell'Arenaria di Manciano.

4) Il COMPLESSO NEOAUTOCTONO è composto da serie marine neogeniche e quaternarie. Le serie neogeniche sono composte da numerose formazioni spesso tra loro eteropiche tanto che fanno sì che da zona a zona possano aversi successioni differenti. Fanno parte di questo complesso tre serie diverse:

a) La Serie miocenica superiore ("M" nella carta originale) è composta da calcareniti, arenarie calcaree e molasse, gli affioramenti sono in genere di modesta entità e tra loro abbastanza diversificati. La serie è trasgressiva sul Flysh calcareo (fc1) e d è attribuibile al miocene superiore.

b) La Serie Pliocenica Parzialmente Comprensiva comprende 5 formazioni sedimentarie marine descrivendo un ciclo sedimentario completo che si apre e si chiude con depositi conglomeratici.

c) La Serie Pliocenica Differenziata abbraccia un periodo compreso tra il Pliocene medio e superiore ed è composta da due formazioni, una delle quali a composizione prevalentemente argillosa con livelli sabbiosi e conglomeratici e lenti calcaree, l'altra a composizione

prevalentemente sabbiosa.

5a) I depositi di origine vulcanica comprendono Piroclastiti Lave ed Ignimbriti, I tufi sono di vario tipo e derivano dall'attività dei vulcani dei Monti Vulsini, Cimini e Vico e dei Monti Sabatini mentre lave ed ignimbriti, tutte di tipo acido derivano dagli apparati del complesso vulcanico tolfetano-civitavecchiese-cerite.

Sono presenti manifestazioni filoniane ma di modesta entità mentre mancano o sono molto ridotti i fenomeni di metamorfismo di contatto.

Le lave spesso costituiscono edifici domiformi a pianta sub-circolare o ellittica evidenti rispetto al paesaggio circostante e spesso allineati secondo direttrici preferenziali.

L'età dei depositi magmatici dovrebbe essere compresa tra il Pliocene inferiore e il pleistocene secondo gli autori, poiché al tetto delle argille plioceniche sono presenti ciottoli di origine lavica e sono inoltre visibili tracce di metamorfismo in depositi.

5b) Le formazioni del Quaternario Marino sono riferibili secondo gli autori agli orizzonti temporali denominati Siciliano e Tirreniano, corrispondenti rispettivamente ad antiche linee di costa oggi poste rispettivamente a 39 – 48 m s.l.m. e 15 – 20 m s.l.m. Per tale motivo procedendo da costa verso monte si incontrano prima i terreni del Tirreniano e poi quelli del Siciliano indicati nella carta originale rispettivamente con le sigle Q e Q1.

Si tratta di un complesso detritico organogeno costituito da lenti di sabbie e conglomerati misti a materiale vulcanico, di argille limo sabbiose e di marne con strati di calcare sabbioso conchigliare poggiante trasgressivamente sul complesso flyshoide mio-pliocenico. Si tratta di sedimenti marini litoranei che superiormente e lateralmente passano a ciottolame continentale e sub-continentale.

Le Formazioni Continentali sono di vario tipo ed età comprendendo depositi pleistocenici ed olocenici di diverso tipo quali depositi di origine fluvio – palustre terrazzati recenti, fluvio – lacustre, Le Alluvioni recenti ed Attuali; Depositi Palustri. Sabbie e Ghiaie del Litorale Marino. Appartengono a questo gruppo anche i depositi di Travertini (tr nella carta originale) posti a SE di Civitavecchia e di Santa Severa.

2.3.2 Cerveteri – Ladispoli

La tavola “**Cerveteri – Carta Litologica**”, riportata in allegato, è uno stralcio del sopracitato foglio Cerveteri integrato con una base topografica alla scala 1:10.000 (carta tecnica regionale).

L’area di Cerveteri fa parte della così detta “Campagna Romana” caratterizzata da una morfologia dolce e dalla prevalenza (quasi esclusiva) di affioramenti di terreni di età pliocenica e del quaternario.

A grandi linee l’area esaminata è caratterizzata da tre macro categorie di affioramenti geologici, vale a dire:

- 1) formazioni sedimentarie pre-vulcaniche, rocce formatesi in ambiente sedimentario dapprima marino, poi fluviolacustre ed infine sub-aereo costiero, antecedentemente al manifestarsi del vulcanismo laziale;
- 2) formazioni tufacee, formatesi per l’azione del “Complesso Vulcanico Sabatino” che ha dato origine a depositi piroclastici che ad eccezione dell’area strettamente costiera affiorano diffusamente ricoprendo i terreni sedimentari pliocenici (cioè quelli al punto precedente);
- 3) formazione sedimentarie quaternarie post-vulcaniche costituite nella parte più alta da sabbie, conglomerati e sedimenti lacustri in cui sono spesso riconoscibili ciottoli provenienti dall’erosione delle formazioni vulcaniche.

Quanto sopra schematizza l’ordine con il quale le formazioni si susseguono (dal numero 1 più antico e geometricamente oggi più basso al numero 3 che comprende i termini più recenti e che giacciono al di sopra di quelli antichi ricoprendoli). Il quadro geologico reale in realtà è leggermente più complesso di quanto sopra schematizzato, poiché le formazioni geologiche non si sono deposte uniformemente in tutta l’area, inoltre alcune di esse sfumano lateralmente le une nelle altre essendo eteropiche (cioè deposte in ambienti coevi e confinanti) ed infine i movimenti tettonici hanno determinato condizioni alternate di 3 erosione e deposizione. Conseguentemente la successione con cui i terreni si susseguono verticalmente può variare da luogo a luogo.

Il basamento delle formazioni sedimentarie pre-vulcaniche è costituito da due formazioni tra

loro eteropiche, databili al pliocene: le arenarie calcaree (formazione del Macco indicata in carta con il numero 25) e le Argille di Cerveteri (in carta identificate dal numero 26) che affiorano anche presso Osteria Nuova. Le condizioni tettoniche che si sono verificate nel pliocene medio e superiore hanno determinato la formazione di due bacini, quello posto ad occidente del fosso Cupino e dei suoi affluenti Cecio e Tavolato è caratterizzato solitamente da una sedimentazione più grossolana rispetto a quella che avviene nel bacino posto ad oriente. Nel successivo periodo, il pleistocene inferiore, si ha nel bacino orientale la deposizione della Formazione di Monte Mario (23 in carta) costituita da sedimenti di ambiente marino come argille e argille sabbiose con alternati strati di arenarie a grana fine e ben cementate dello spessore di 10 –15 cm. Successivamente alla formazione di Monte Mario nel bacino orientale segue, in discordanza angolare dovuta ad una fase erosiva, la formazione di Ponte Galeria (20 in carta) costituita da sabbie e ghiaie di ambiente marino, nella parte basale, che evolve in ambiente salmastro e poi sub-aereo.

Parallelamente nel bacino occidentale si ha la deposizione di sedimenti di ambiente fluviodeltizio costituiti da conglomerati: il Conglomerato di fosso Vaccina (24 in carta) e il Conglomerato di Valle della Mola (21 in carta).

Sia nel bacino occidentale che in quello orientale nella porzione sommitale si rinvencono elementi correlabili all'inizio dell'attività vulcanica, rispettivamente ciottoli derivanti da erosione di materiale vulcanico (nel Conglomerato di Valle della Mola) e un livello piroclastico nella formazione Ponte Galeria.

Nel pleistocene medio dominano le formazioni di origine vulcanica che affiorano diffusamente in tutta l'area.

I prodotti vulcanici più antichi sono costituiti dalle piroclastiti con pomici della formazione dei Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano (19 in carta).

La successiva formazione del Tufo Rosso a Scorie Nere (18 in carta) è separata da una fase marina, la formazione di San Cosimato, che a causa della ridotta estensione degli affioramenti non è cartografata. Il tufo rosso a scorie nere è presente in due facies una più diffusa nel settore occidentale costituita da materiale lapideo ed una prevalente nel settore orientale costituita da materiale meno coerente.

Verso la fine del pleistocene medio il ciclo vulcanico è chiuso dalla formazione dei Tufi Stratificati Varicolori Della Storta (16 in carta), costituita prevalentemente da tufo litoide, in rari casi al di sopra delle formazioni tufacee si riscontra la presenza di lave leucitiche (15 in carta), che

affiorano solo all'estremo nord del foglio.

In parziale eteropia con i Tufi di la Storta e affioranti nella porzione orientale del foglio, troviamo la formazione Aurelia (17 in carta), costituita alla base da sabbioni e ciottolame seguito da limi e travertini a volte alternati.

Nella porzione occidentale, presso il fosso Cupino a poco meno di 3 km verso l'interno dalla sorgente Acqua Acetosa, affiorano le ghiaie di Valle Canneto (14 in carta). I ciottoli sono dispersi entro una matrice argillosa rossastra che potrebbe derivare dall'alterazione del Macco su cui di solito poggia la formazione. Nella parte alta sono presenti a volte livelli di travertino seguiti da limi calcarei. A Palidoro e Torreimpietra affiorano i Travertini (13 in carta), tale formazione dovrebbe avere uno spessore di circa 20 – 30 m.

Verso la fine delle unità pleistoceniche troviamo il Conglomerato di Palo e le Sabbie di Palidoro (rispettivamente in carta 11 e 12). Le seconde sono costituite da sabbie ricche di minerali femici con livelli e lenti di ghiaia, mentre il conglomerato di Palo è costituito da grossi elementi con sabbie e ghiaietto associati a calcareniti tipo panchina. Si tratta della stessa unità che si presenta con caratteri diversi in funzione del luogo di formazione, infatti tra le due non esiste una separazione netta degli affioramenti come quella vista per i terreni più antichi, tuttavia le Sabbie di Palidoro prevalgono nell'area occidentale mentre il Conglomerato di Palo in quella orientale, anche se il limite petrografico tra le due non è sempre così evidente. Chiudono il ciclo delle formazioni pleistoceniche legate alla regressione marina Tirreniana: le Sabbie di Monteroni (10 in carta) di ambiente eolico dunare e le sabbie di Osteria Nuova (9 in carta) probabilmente di ambiente lacustre retrodunare.

Dopo le formazioni pleistoceniche abbiamo i terreni del quaternario costituiti da dune antiche (8 in carta) e recenti (7 in carta), alluvioni recenti (6 in carta) e spiagge attuali (5 in carta). I termini più recenti che si osservano nell'area sono legati ai Limi Carboniosi della Bonifica e alle discariche di cava.

2.4 Idrografia

La tavola “*Carta dei bacini idrografici*” riportata in allegato evidenzia come le due unità fisiografiche siano drenate da numerosi corsi d'acqua dei quali però solo 4 sono espressione di un bacino idrografico relativamente esteso ed organizzato: Fiora, Marta, Mignone, Tevere. Gli altri corsi d'acqua che sfociano in mare hanno generalmente un bacino idrografico di modesta estensione

solitamente inferiore 50 km² ad eccezione del bacino del fosso la Mola (circa 72 km²).

Le principali caratteristiche dei dei 4 bacini sopracitati sono riportate in Tabella 2.4-1.

Nome bacino	Superficie km ²	Quota media mslm
Fiora	825	nd
Marta	1071	nd
Mignone	498	190
Tevere	17168	524

Tab. 2.4-1

Le attività di elaborazione proposte hanno lo scopo di individuare il contributo sedimentario dei corsi d'acqua principali in funzione di dati idrologici (portata, tempo di corivazione ecc.), geologici (erodibilità produttività sedimentaria, mineralizzazioni) e morfologici (acclività, esposizione dei versanti, quota topografica ecc.).

Allo stesso tempo, relativamente a ciascun bacino idrografico, saranno esaminate le diverse attività e destinazioni di fatto del suolo che hanno influenza sull'assetto del territorio.

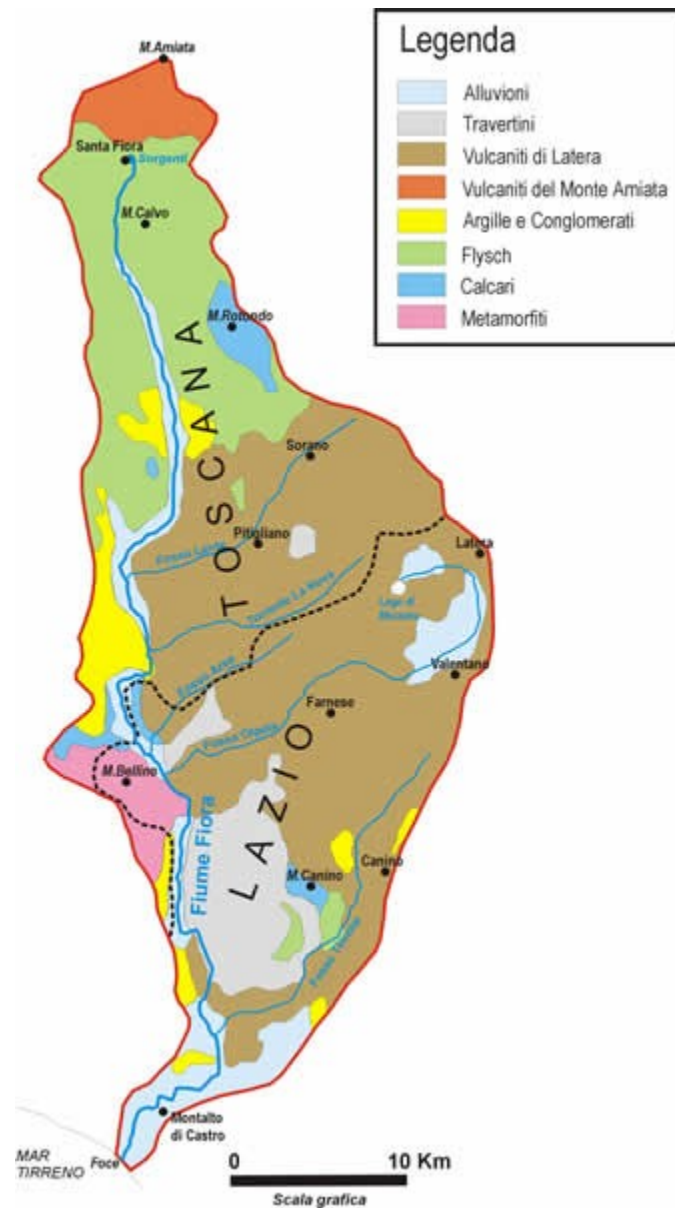


Fig. 2.4-1 Schema litologico del bacino del fiume Fiora

2.5 Uso del suolo

Le attività presenti sul territorio ne condizionano notevolmente l'assetto e la suscettibilità nei confronti di fattori di stress sia naturali (piene, incendi estivi, terremoti ecc.) sia riconducibili ad attività antropiche (sfruttamento delle risorse naturali, pratiche agricole esasperate, allevamento intensivo ecc.), per tali motivi negli ultimi 20 – 30 anni sono state sviluppate tecniche di

osservazione e di restituzione cartografica riguardanti l'uso del suolo. Con questo termine si intende non l'utilizzo previsto dai piani regolatori o da altre azioni di pianificazione territoriale quanto piuttosto la destinazione di fatto a cui il suolo è sottoposto. Uno dei progetti europei che ha avuto maggior sviluppo ed ha fornito negli anni risultati concreti è il "Corine Land Cover". Tra gli obiettivi conseguiti dal progetto di primaria importanza è la redazione di carte di uso del suolo omogenee per tutti i paesi europei, vale a dire basata sulla stessa legenda condivisa da ogni paese partecipante. Quest'ultima è basata su di un codice sequenziale costituito da un numero a tre cifre che contiene per ciascuna di esse un'informazione di dettaglio crescente procedendo da sinistra verso destra, così ad esempio il codice 312 indicante boschi di conifere contiene le seguenti tre informazioni:

numero 3 = territori e ambienti seminaturali

numero 1 = bosco

numero 2 = conifere

Lo stralcio di carta di uso del suolo Corine fig 2.5-1 ottenuto per il tratto costiero compreso tra linea di costa e l'isoipsa dei 100 m (analogo a quello utilizzato per i morfotipi costieri) riporta le diverse classi di uso del suolo rilevate e la percentuale di superficie occupata da ciascuna di esse. In carta se consideriamo l'insieme delle classi di uso del suolo "seminativo non irriguo" (oltre il 50 % della superficie analizzata), e "sistemi colturali particellari permanenti" (11,42%) e notiamo che oltre il 60% del territorio è adibito a pratiche agricole. Mentre le classi di uso naturali o seminaturali occupano meno del 7% della superficie totale.

La distribuzione areale delle classi "tessuto urbano continuo" e "tessuto urbano discontinuo" (rispettivamente 3,21% e 9,34%) completano il quadro di un territorio costiero fortemente sottoposto ad attività antropiche.

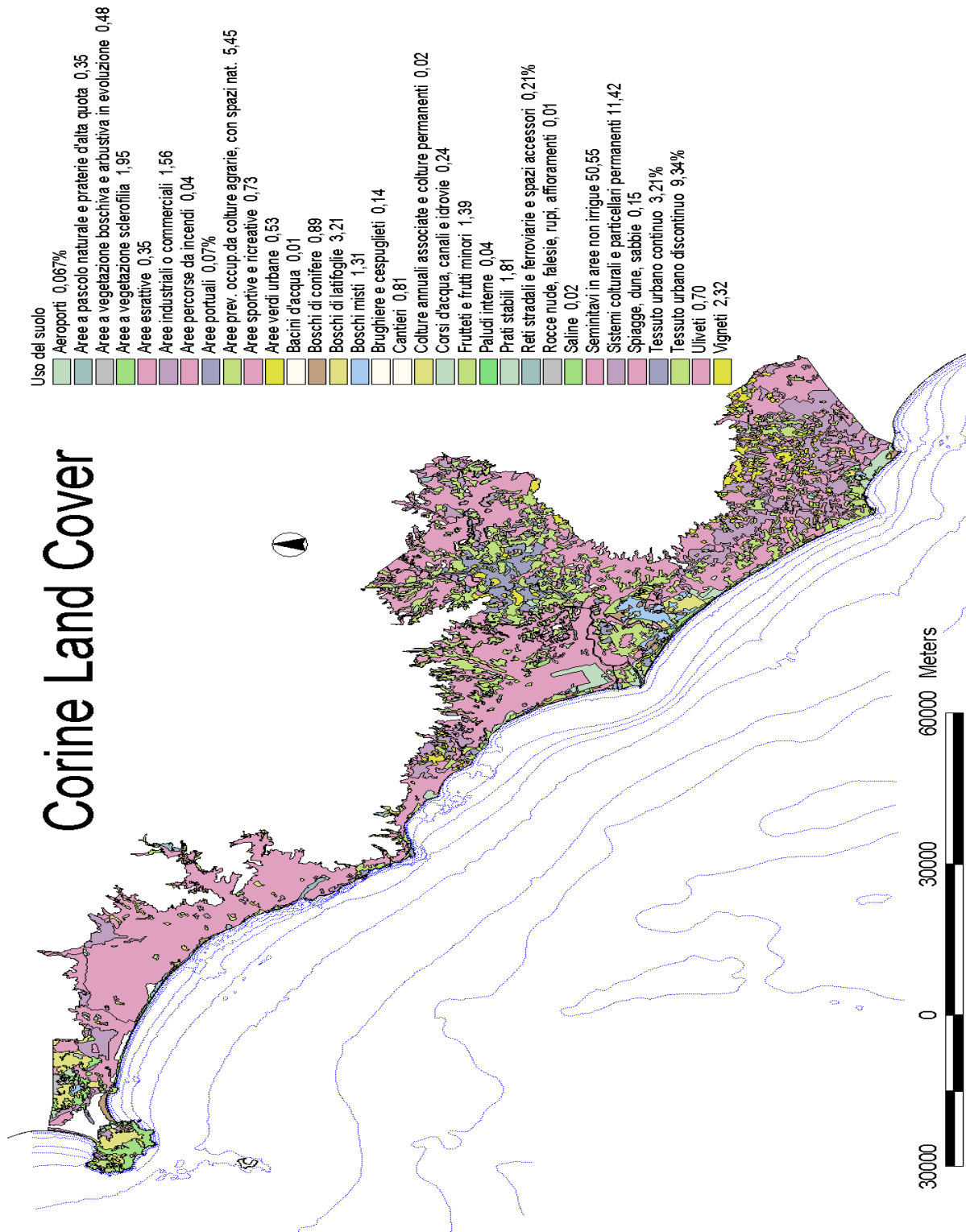


Fig. 2.5-1 Carta Corine

2.6 Aree protette ed altri usi del mare

Nel settore meridionale della piattaforma continentale laziale, sono presenti aree a significativa valenza ambientale alcune delle quali costituiscono aree marina protetta come le Isola di Giannutri e Ventotene, le Secche di Tor Paterno e le oasi blu di Gianola, Monte Orlando e di Scauri.

Nell'area marina sussistono attività che forniscono un sostegno economico diretto per la popolazione residente quali pesca e acquacoltura, e attività correlate alla presenza di infrastrutture artificiali quali terminali off-shore (torri, piattaforme e oleodotti), cavi, condotte di scarico e poligoni militari (Istituto Idrografico della Marina, 1991a; 1991b), infine non vanno dimenticate le aree adibite in passato allo sversamento dei materiali dei dragaggi portuali.

Le informazioni di cui sopra sono state ottenute dalle carte nautiche e dai portolani da pubblicazioni e rapporti tecnici realizzati negli anni da enti diversi, e costituiscono la base dati per la redazione di una 'Carta di Uso del Mare' attualmente in corso di elaborazione presso il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale.

Nell'area in studio sono presenti 3 aree marine protette (isola di Giannutri, Secche di Tor Paterno e Isola di Ventotene e Santo Stefano) e diverse oasi costiere (WWF): Orbetello, Burano, Palo, Torre Flavia, Maccarese, Macchia Grande e Tor Caldara.

L'area circostante l'Isola di Giannutri pur rientrando nell'area di studio fa parte da un punto di vista amministrativo dell'area di competenza del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano (D.P.R. 11/12/96 pubblicato sulla G.U. n.290), nel parco è vietata la pesca se non esplicitamente espresso e nella zona 1 (riserva integrale) anche la navigazione e l'ancoraggio. Il parco si estende complessivamente fino a circa 3 nm dalla costa dell'isola.

L'area naturale marina protetta "Secche di Tor Paterno" è stata istituita con Decreto del Ministero dell'Ambiente del 29 novembre 2000 (G.U. n.16 del 20/01/01) ed è gestita da Roma Natura (Ente Regionale per la Gestione del Sistema delle Aree Naturali Protette nel Comune di Roma). Data la peculiarità ecologica dell'area, essa comprende un'unica zona di riserva generale, delimitata dai seguenti punti:

- a) 41°37'.30N - 12°20'.50E
- b) 41°36'.00N - 12°21'.90E
- c) 41°34'.50N - 12°19'.50E

d) 41°35'.80N - 12°18'.00E

L'area naturale marina protetta "Isole di Ventotene e Santo Stefano" è stata istituita con Decreto Ministeriale del 12 dicembre 1997 (G.U. n.47 del 20/02/1998), mentre con decreto ministeriale dell'11 maggio 1999 è stata istituita l'omonima riserva terrestre. La riserva presenta una triplice zonazione, con un'area di riserva integrale (zona A), un'area di riserva orientata (zona B) e un'area di riserva generale (zona C). Essa è delimitata dai seguenti punti:

a) 40°49'.13N - 13°23'.13E e) 40°46'.80N - 13°28'.80E

b) 40°49'.47N - 13°25'.95E f) 40°46'.27N - 13°25'.33E

c) 40°48'.33N - 13°27'.87E g) 40°46'.77N - 13°22'.90E

d) 40°47'.58N - 13°28'.00E h) 40°48'.45N - 13°24'.78E

2.7 Fondali marini: fanerogame

Altro aspetto particolarmente importante per la caratterizzazione ambientale è la distribuzione delle fanerogame marine, in particolare della *Posidonia oceanica*, lungo la piattaforma continentale laziale.

Nel tratto di costa che si estende dal limite settentrionale del Lazio fino alla località di Civitavecchia, le informazioni raccolte descrivono, nel tratto di mare compreso tra la località di Graticciara ad ovest e la foce del fiume Fiora ad est, una prateria di *Posidonia oceanica* estremamente degradata. Fin dal limite superiore, intorno ai 15m di profondità, la prateria si presenta, infatti, intervallata da ampie zone di *matte* morta; questa situazione è presente fino alla profondità di 20m dove fasci sparsi o piccole macchie si rinvergono insieme a *matte* morta e ampi catini di sedimento fine.

Oltre i 20m si trova soprattutto *matte* morta, spesso infangata e poco visibile. In tutta questa zona non si può parlare di prateria di *Posidonia oceanica* bensì di fasci isolati o "semi-prateria" (Ardizzone e Belluscio, 1996).

La prateria di *Posidonia* sopra citata è interrotta in prossimità della foce del fiume Fiora; a sud di tale foce (Punta Morelle) il fondale è caratterizzato da substrato duro di natura organogena che si estende fino a circa 25m, intervallato da zone di sabbia. In questa zona, la *Posidonia* è presente a macchie intervallata ad ampie zone di *matte* morta.

La *Posidonia oceanica*, interrotta nei pressi della foce dell'Arrone, riprende più a sud con caratteristiche simili fino alla foce del Marta. In questa zona, dagli 11-13m di profondità fino ai 18m, sono evidenti sempre più ampie zone di *matte* morta, intervallate a rocce sparse.

Oltre tale profondità si osservano ampie zone sabbiose e *matte* morta, con radi fasci di *Posidonia*.

Un'altra prateria di *Posidonia* si rinviene nella zona antistante il litorale di Marina di Tarquinia, delimitata a ponente dal fiume Marta e a levante dal fiume Mignone; questa si insedia, a partire dai 7m di profondità, sia su sabbia che su *matte*. Oltre i 10-12m il fondale presenta ampie zone rocciose con articolate formazioni organogene e *Posidonia*. Alla profondità di 18-20 m il fondale è caratterizzato prevalentemente da *amate* morta e vari affioramenti rocciosi; sono presenti rade macchie e fasci isolati di *Posidonia*.

Nel tratto di litorale che si estende tra il fiume Mignone e Civitavecchia, il fondale è di natura prevalentemente rocciosa con sacche di sabbia. La *Posidonia oceanica* è sempre presente con macchie più o meno grandi, sia nei catini di sabbia che sulla roccia (Ardizzone e Belluscio, 1996).

In particolare, nella zona delimitata a nord dalla località Bagni di Sant'Agostino e a sud da Torre Valdaliga, la fanerogama è presente con maggiori densità su sabbia rispetto a quella insediata su roccia.

In prossimità dell'approdo di Torre Valdaliga, la *Posidonia oceanica* è insediata su un substrato roccioso. Il limite superiore è situato attorno ai 2m di profondità e risulta fortemente influenzato dalla natura rocciosa del substrato; il limite inferiore si presenta anch'esso molto irregolare ed è compreso tra 12 e 14m di profondità (ICRAM, 1995).

Nel tratto di costa a sud di Civitavecchia fino Capo Linaro il fondale si presenta roccioso, con ampi canali di sabbia. Macchie di *Posidonia*, più o meno grandi, sono evidenti sia nei catini di sabbia che sulla roccia. La prateria che si estende dal molo di levante del porto di Civitavecchia a Torre del Marangone si presenta in macchie sia su sabbia che su roccia. Il limite superiore coincide con la linea di costa, mentre quello inferiore raggiunge i 20m. Un'altra prateria, che si estende tra 10 e 20m nella zona delle secche dinanzi Capo Linaro, è impiantata su roccia con l'eccezione di piccole macchie su fondi mobili confinanti. Nella zona tra Santa Marinella e Santa Severa si osserva *Posidonia* su sabbia, prevalentemente in fasci isolati, *matte* morta e ampi cantini di sabbia. Nei pressi della località dei Grottini (S. Severa), il fondale è prevalentemente roccioso con alternanza di ampi canali e catini di sabbia. Fino a 7-8m di profondità sono presenti radi fasci di *Posidonia* su

roccia e chiazze di *matte* morta. Più a largo diviene predominante la *matte* morta, con ampi catini di sabbia. Sono presenti piccole macchie sparse di Posidonia e basse formazioni rocciose. La fanerogama diventa sempre più rada con l'aumentare della profondità.

Proseguendo verso sud si trovano le secche di Macchia Tonda, formazioni rocciose di origine organogena che si sviluppano dai primi metri di profondità fino a raggiungere i 20m. Ad una profondità di 7-8m, sia sulla roccia che nei canali di sabbia, è presente Posidonia rada. Oltre i 10m si rinvencono, assieme alla roccia, ampi tratti di *matte* morta con radi fasci di Posidonia. La *matte* morta risulta dominante alla profondità di circa 14m ed i fasci di Posidonia diventano sempre più radi con l'aumentare della profondità.

A nord di Ladispoli, macchie di Posidonia si trovano sulle secche di Torre Flavia. Queste formazioni appaiono articolate, con roccia bassa di origine organogena e canali di sabbia. Macchie di Posidonia, piccole e rade, sono presenti nei catini di sabbia che si intervallano alle formazioni rocciose.

Nei fondali più meridionali la fanerogama risulta assente. L'unica area in tutto il Lazio centrale dove è presente Posidonia è in prossimità delle secche di Tor Paterno. Tali secche, situate davanti la località di Torvaianica, sono costituite da alcune formazioni rocciose che si estendono fino a quattro miglia dalla costa. Sulle formazioni rocciose più costiere, ad una profondità di circa 10m, non si rinviene Posidonia, mentre su quelle più esterne, ad una profondità compresa tra 18 e 40m, si trovano alcune zone ricoperte dalla fanerogama.

Le indagini condotte dall'Università La Sapienza di Roma per conto del Ministero della Marina Mercantile (1993) sui fondali della secca evidenziano nella parte più superficiale, fino alla profondità di 30m, la presenza di macchie di Posidonia intervallate a formazioni rocciose più o meno articolate ed a chiazze di *matte* morta. E' una prateria che appare quasi ovunque in regressione.

Uno studio recente (Bataloni, 2000) eseguito sulla secca di Tor Paterno conferma la presenza di un mosaico di Posidonia oceanica su fondo duro e mobile e su *matte*, di fondi rocciosi con coralligeno, spesso infangato, e della biocenosi del coralligeno - facies a Paramunicea clavata.

3. AREA DI STUDIO

La costa oggetto del monitoraggio e degli studi di seguito descritti è compresa tra l'area di Santa Severa e quella di Tarquinia (Fig. 3-1).



Fig. 3-1 Area di studio

Questa area presenta una variegata morfologia costiera, che, insieme alla presenza di fiumi, all'effetto delle forzanti locali, alle differenze di riscaldamento solare ed anche all'isolamento provocato da fronti termici marini, influenza grandemente i fenomeni dinamici costieri.

3.1 Caratterizzazione meteomarina

La caratterizzazione del sito da un punto di vista meteomarina è consistita nel raccogliere e rilevare i dati meteorologici e quelli relativi al moto ondoso mentre i dati sulle correnti marine si trovano all'interno del paragrafo 3.

I rilievi meteorologici, effettuati nell'area di studio, consistono, nella maggior parte dei casi, nell'acquisire da una stazione meteo i seguenti parametri:

- pressione atmosferica;
- umidità relativa;
- velocità e direzione del vento;
- temperatura dell'aria.

I dati ondametrici, che vengono rilevati attraverso delle boe ondametriche, comprendono invece:

- altezza e direzione dell'onda significativa;
- periodo medio e di picco dell'onda;
- temperatura dell'acqua superficiale.

3.1.1 Meteorologia

I dati meteorologici disponibili nell'area di studio provengono da diverse fonti:

- Aeronautica Militare (CNMCA);
- Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA);
- Autorità Portuale di Civitavecchia.

Dati Aeronautica Militare

Il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare gestisce un complesso sistema di osservazione, costituito da:

- stazioni di superficie presidiate;

- stazioni di superficie automatiche;
- stazioni per la rilevazione dei parametri atmosferici in quota.

A tale sistema si aggiunge la stazione nazionale per l'acquisizione e l'elaborazione in tempo reale dei dati dai satelliti METEOSAT e TIROS.

Lo studio anemometrico dell'area di indagine è stato effettuato attraverso l'utilizzo di serie storiche e analizzando dati raccolti da centraline meteo dell'Aeronautica Militare nella zona di Civitavecchia.

Dall'analisi delle rilevazioni a Capo Linaro dal 1951 al 1981 (Fig. 3.2.1-1) viene messo in evidenza che i venti dominanti (a cui è associata la maggiore intensità) appartengono al III e IV quadrante (Mezzogiorno, Libeccio, Ponente e Maestrale) mentre quelli regnanti (che hanno una maggiore frequenza) sono stati registrati nel II quadrante.

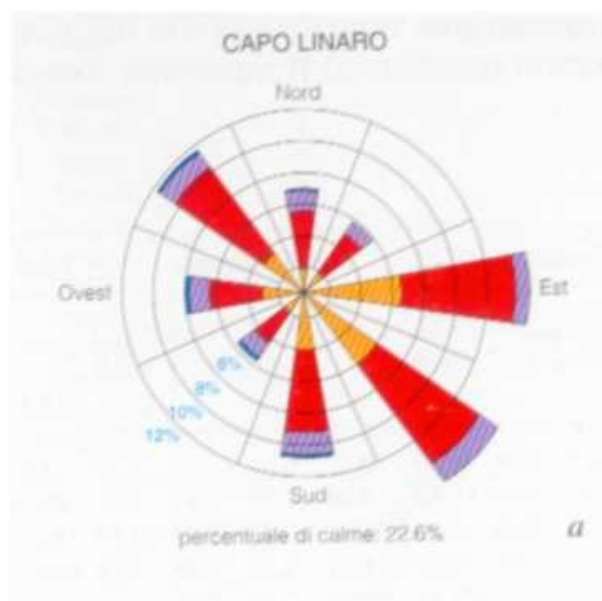


Figura 3.1.1-1 : Rosa dei venti registrata dalla stazione meteo dell'Aeronautica Militare a Capo Linaro nel periodo 1951-1981.

Nella stessa stazione di misura sono stati inoltre raccolti dati derivati da medie mensili in un intervallo di tempo compreso tra il 1959 e il 1982 relativi alla pressione atmosferica, all'umidità relativa, alla temperatura dell'aria, alle precipitazioni e allo stato del cielo.

Pressione Atmosferica

1959-1982

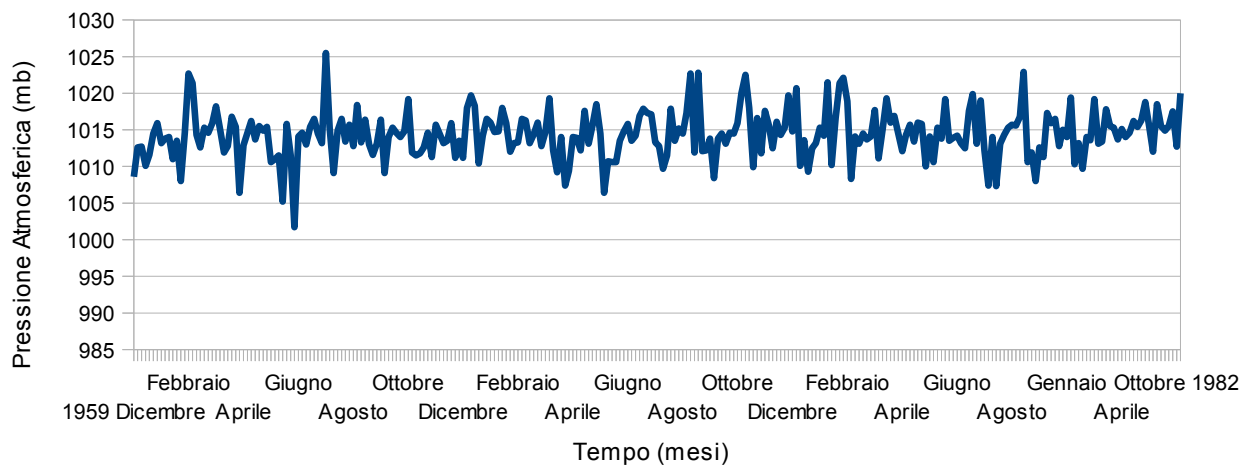


Figura 3.1.1-2 : Variazione della pressione atmosferica nel tempo registrata dalla stazione meteo dell'Aeronautica Militare a Capo Linaro nel periodo 1951-1981.

Umidità Relativa

1959-1982

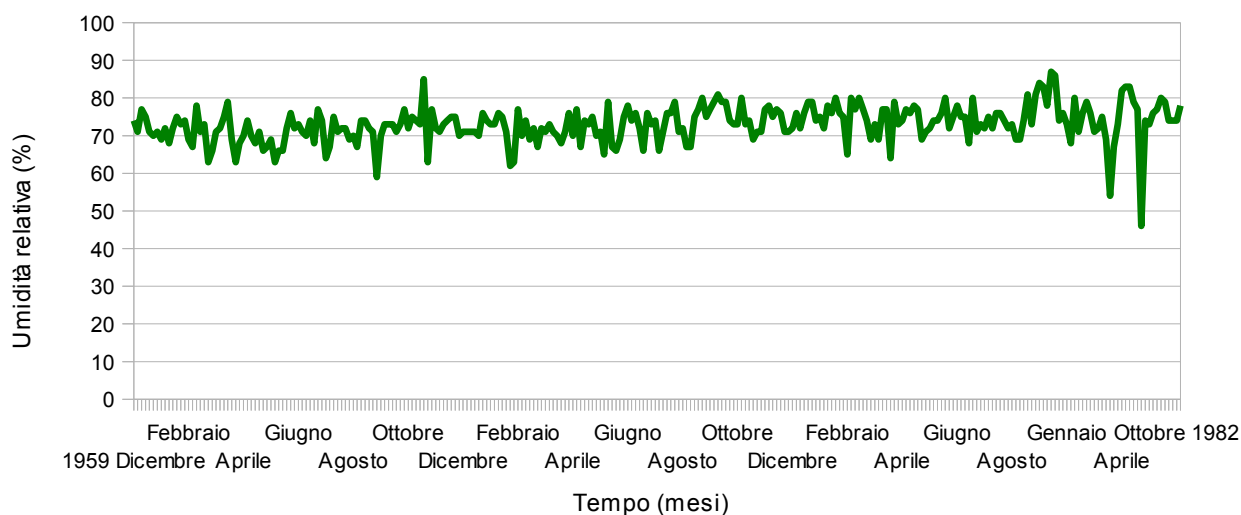


Figura 3.1.1-3: Variazione dell'umidità relativa nel tempo registrata dalla stazione meteo dell'Aeronautica Militare a Capo Linaro nel periodo 1951-1981.

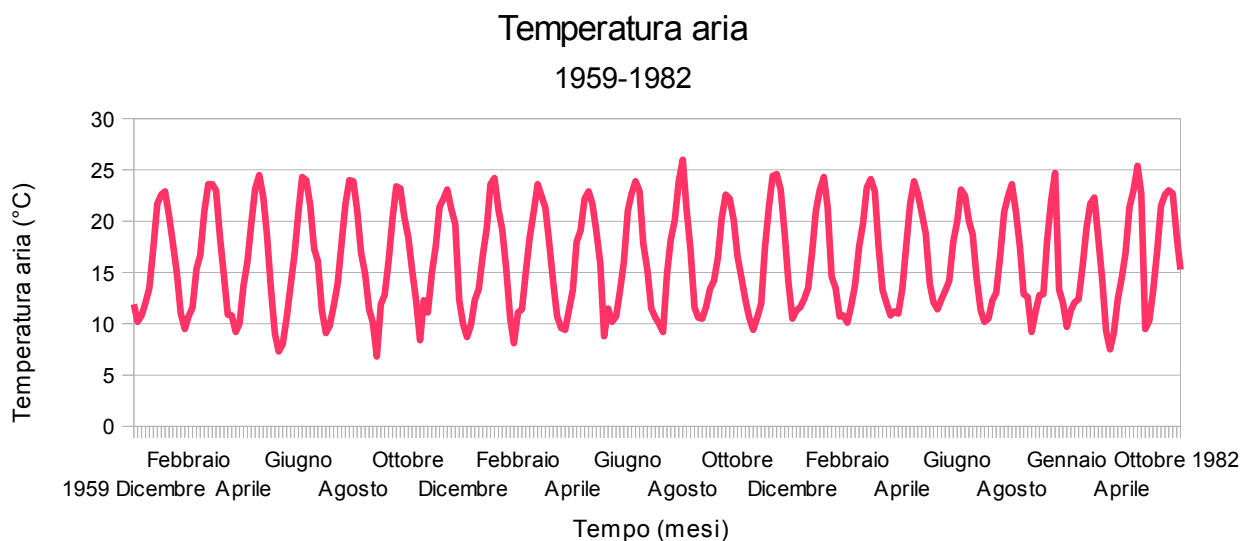


Figura 3.1.1-4: Variazione della temperatura dell'aria nel tempo registrata dalla stazione meteo dell'Aeronautica Militare a Capo Linaro nel periodo 1951-1981.

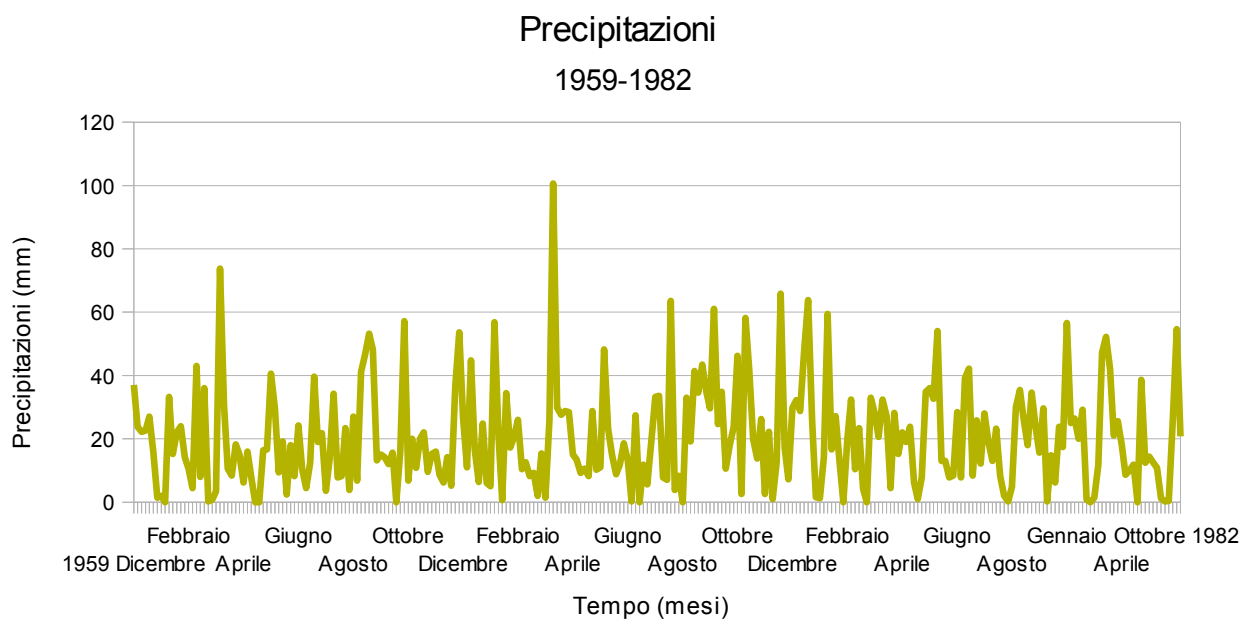


Figura 3.1.1-5: Variazione dell'entità delle precipitazioni nel tempo registrata dalla stazione meteo dell'Aeronautica Militare a Capo Linaro nel periodo 1951-1981.

Stato del cielo

1960-1982

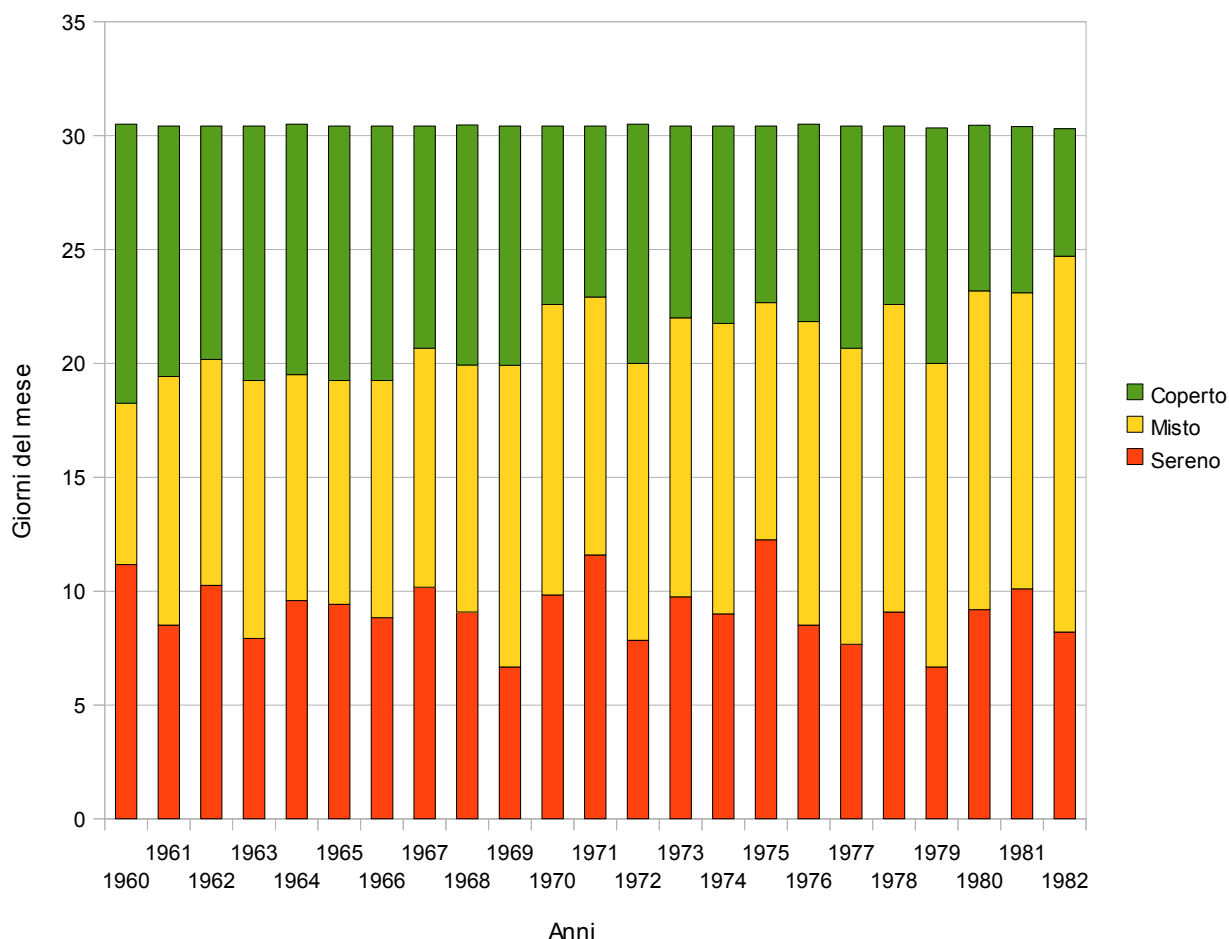


Figura 3.1.1-6: Istogramma relativo allo stato del cielo espresso come frequenza tra tre diverse situazioni (coperto, sereno e misto) di un tipico mese ottenuto attraverso una media annuale delle osservazioni giornaliere.

Analizzando i dati forniti dall'Aeronautica Militare per il periodo tra il 1985 e il 2008 viene confermata la tendenza del trentennio precedente anche se il sito di rilevazione passa da Capo Linaro a Civitavecchia. Nella rosa dei venti in basso (Fig. 3.2.1-7) si evince come i venti che hanno un'intensità maggiore di 10 m/s sono il Libeccio, il Ponente e il Maestrale mentre quelli che risultano avere una maggiore frequenza sono il Levante e lo Scirocco.

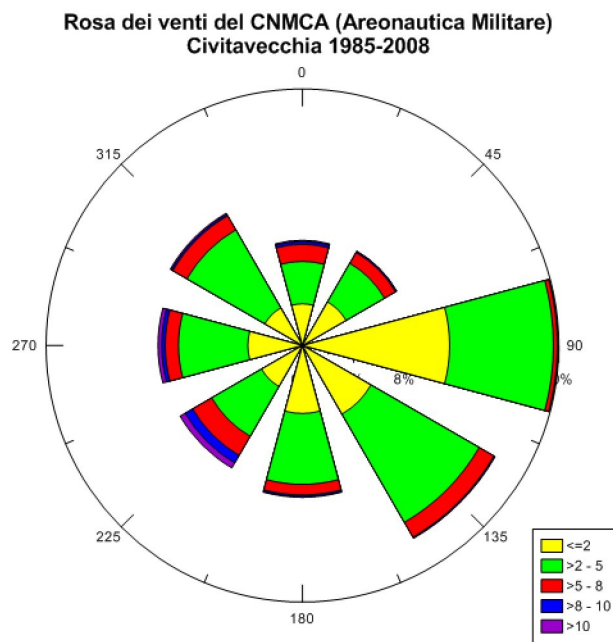


Figura 3.1.1-7: Rosa dei venti misurata a Civitavecchia dal 1985 al 2008

Allo scopo di stimare la variabilità stagionale del clima anemometrico, i dati trentennali di Civitavecchia sono stati raggruppati in classi stagionali, ed in particolare: i dati acquisiti tra i mesi Ottobre-Marzo sono stati identificati con il periodo autunnale ed invernale, mentre quelli acquisiti tra Aprile-Settembre sono rappresentativi del periodo primaverile ed estivo.

Dall'analisi delle rose dei venti stagionali (Fig. 3.2.1-8, 3.2.1-9, 3.2.1-10, 3.2.1-11), si riscontrano distribuzioni simili nei periodi autunno-inverno e primavera-estate. Nel primo caso i fenomeni dominanti sono relativi ai venti di Libeccio e a quelli del IV quadrante, mentre quello più frequente corrisponde al Levante. L'unica differenza tra autunno e inverno riguarda i venti più intensi: mentre in autunno il fenomeno dominante risulta essere il Libeccio, in inverno assumono rilievo anche i venti di Maestrale e Tramontana.

Nel periodo estivo-primaverile invece l'intensità dei venti è più bassa rispetto alle stagioni inverno-autunno e quindi di conseguenza aumentano le calme e i fenomeni regnanti che riguardano lo Scirocco e il Maestrale. Una considerazione a parte va fatta per il Ponente e il Levante che in corrispondenza di questo periodo hanno un'elevata frequenza probabilmente dovuta ai fenomeni di brezza che sono particolarmente intensi in questo periodo dell'anno.

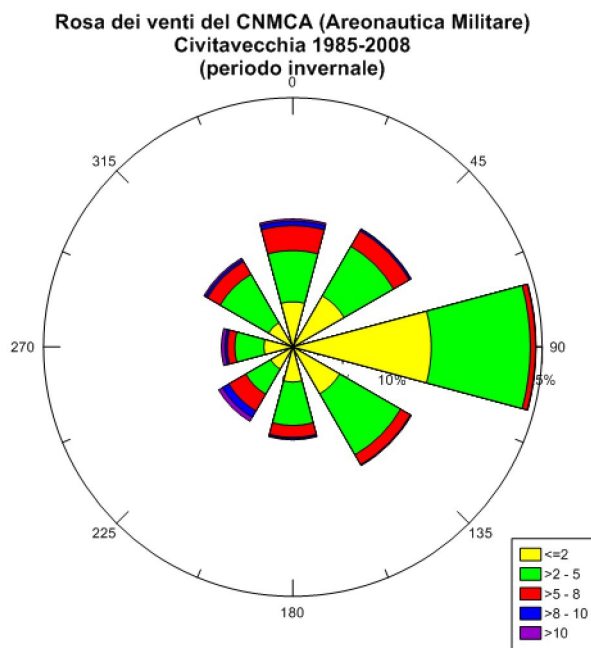


Figura 3.1.1-8: Rosa dei venti misurata a Civitavecchia dal 1985 al 2008 (periodo invernale)

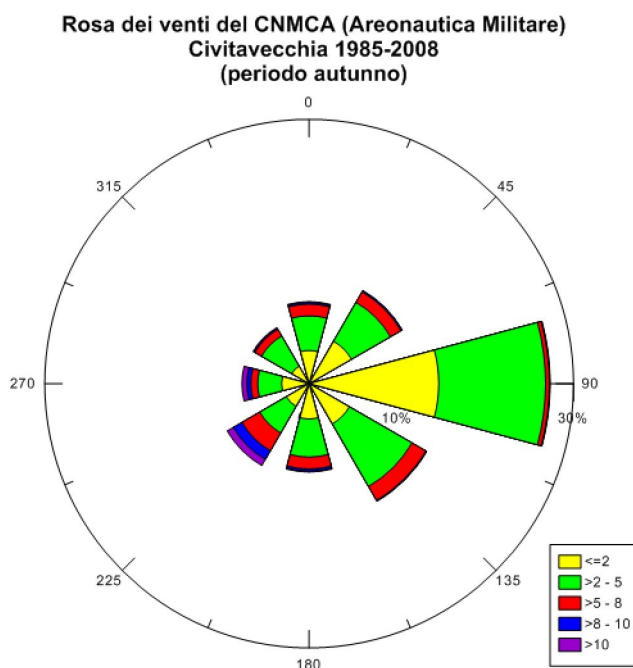


Figura 3.1.1-9: Rosa dei venti misurata a Civitavecchia dal 1985 al 2008 (periodo autunnale)

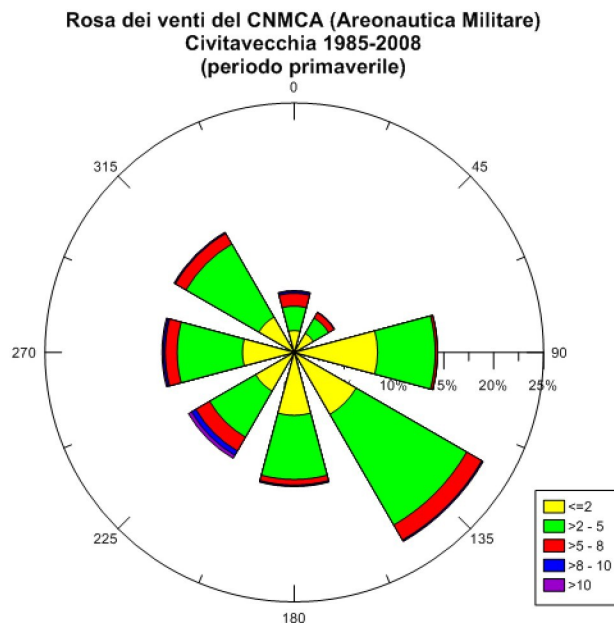


Figura 3.1.1-10: Rosa dei venti misurata a Civitavecchia dal 1985 al 2008 (periodo primaverile)

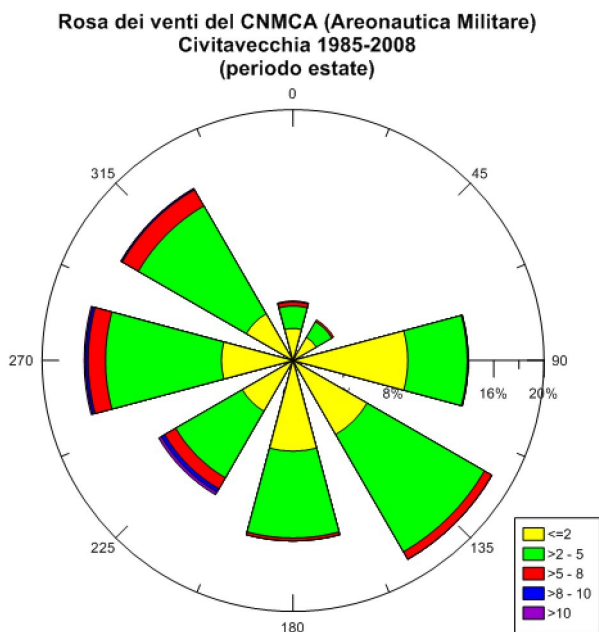


Figura 3.1.1-11: Rosa dei venti misurata a Civitavecchia dal 1985 al 2008 (periodo estivo)

Negli ultimi tre anni dello stesso data set sono stati anche analizzati la variazione nel tempo della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa.

Temperatura dell'aria

2005-2008

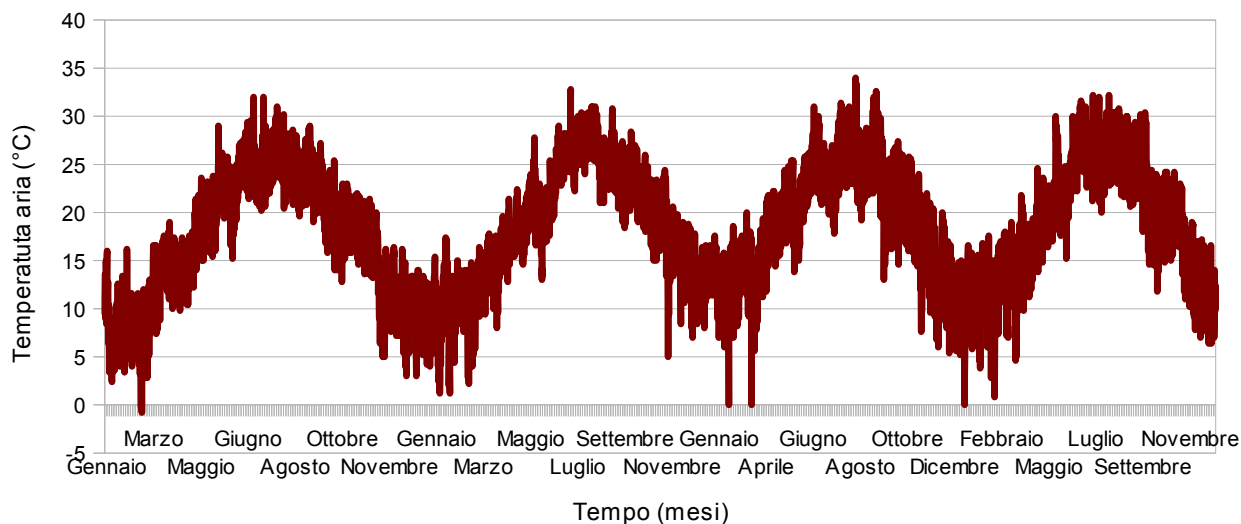


Figura 3.1.1-12: Variazione della temperatura dell'aria nel tempo registrata dalla stazione meteo dell'Aeronautica Militare a Civitavecchia nel periodo 2005-2008.

Umidità relativa

2005-2008

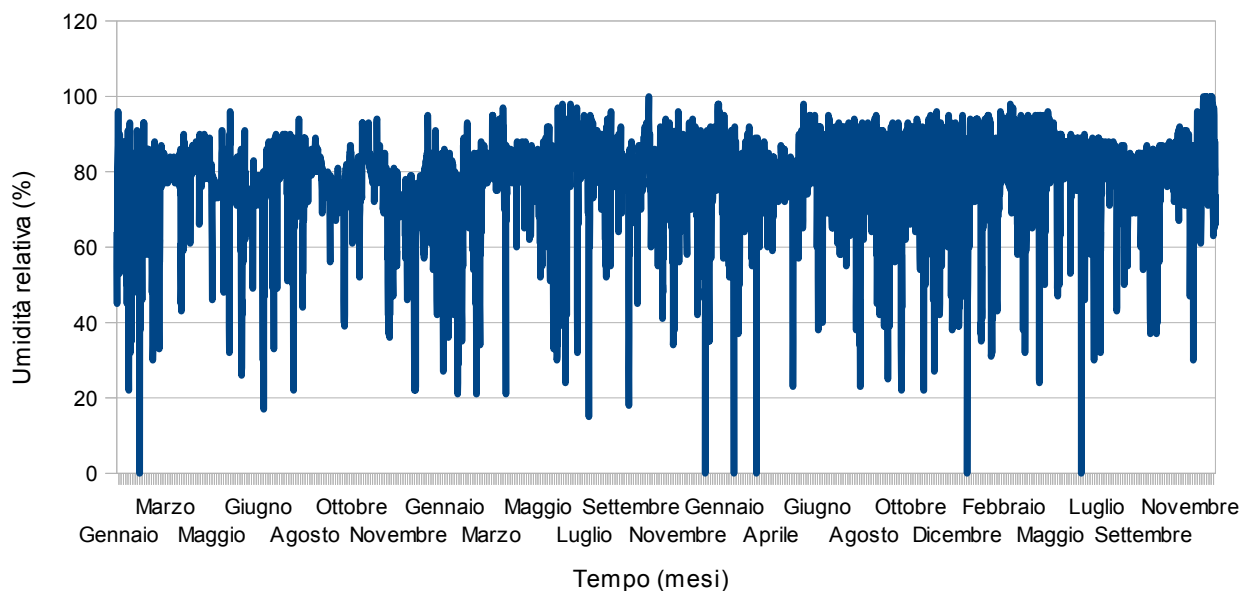


Figura 3.1.1-13: Variazione dell'umidità relativa nel tempo registrata dalla stazione meteo dell'Aeronautica Militare a Civitavecchia nel periodo 2005-2008.

Dati ISPRA

I dati della RMN sono a cadenza oraria, comprendono l'intervallo di tempo che va dal 1998 al 2008 e si riferiscono a temperatura dell'aria, pressione atmosferica e velocità e direzione del vento. Nelle figure che seguono viene riportato l'andamento di tali variabili.

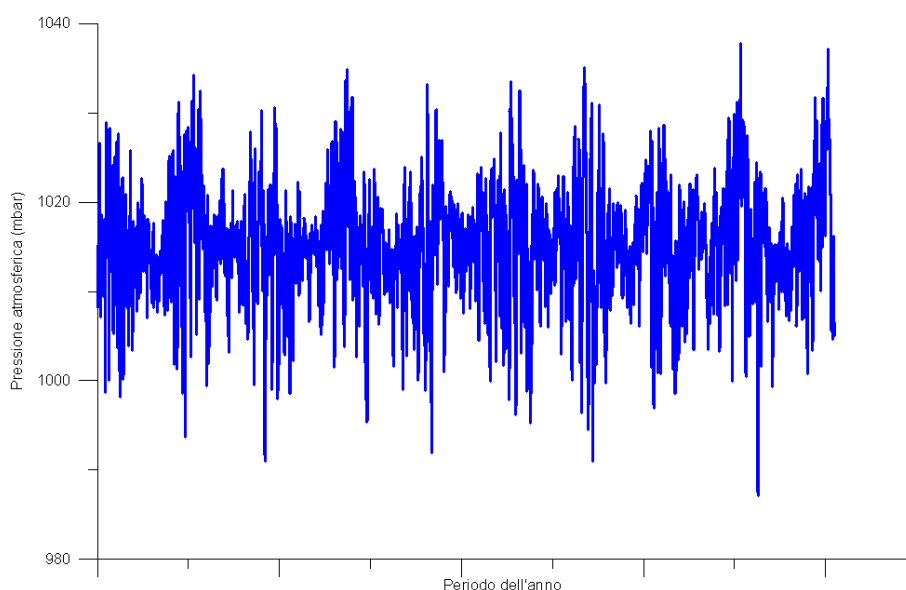


Figura 3.1.1-14: Variazione della pressione atmosferica misurata nella stazione meteo di Civitavecchia (RMN) nel periodo compreso tra il 1998 e il 2008.

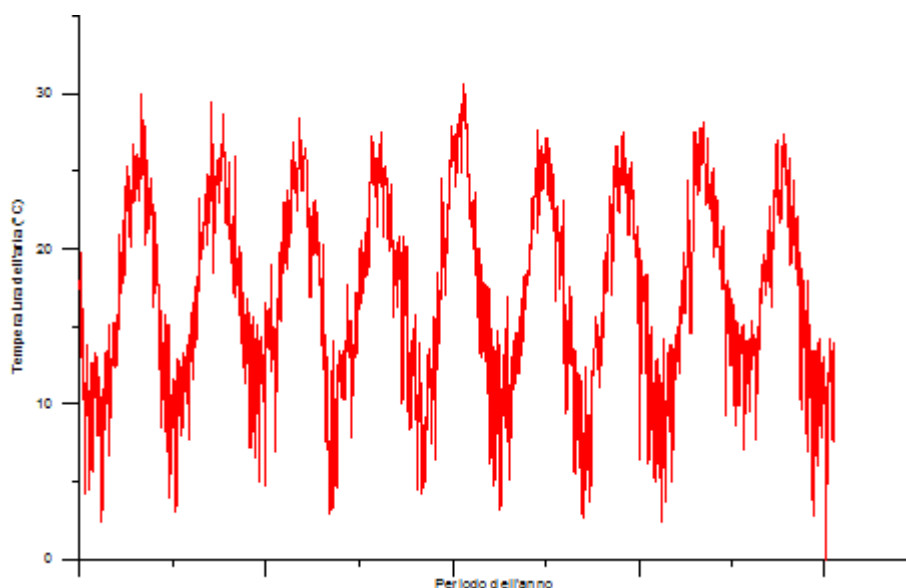


Figura 3.1.1-15: Variazione della temperatura dell'aria misurata nella stazione meteo di Civitavecchia (RMN) nel periodo compreso tra il 1998 e il 2008

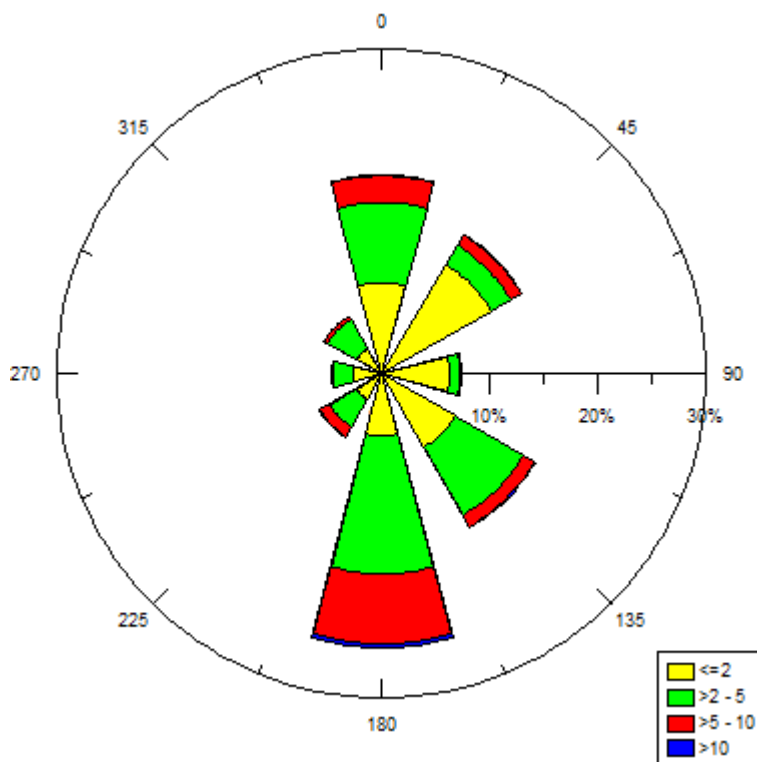


Figura 3.1.1-16: Rosa dei venti misurata nella stazione meteo di Civitavecchia (RMN) nel periodo compreso tra il 1998 e il 2008

Dati Autorità Portuale

I dati sono stati registrati da una centralina meteo installata su una struttura meccanica posizionata sulla sommità della torre faro sita presso antimurale esterno del Porto di Civitavecchia.

La strumentazione facente parte della stazione è composta dai seguenti sensori:

1. Acquisitore Dati Mod. CSI CR10X
2. Sensore velocità e direzione del vento Mod. Met-One WS201J
3. Sensore temperatura e umidità relativa Mod. Vaisala 50Y
4. Sensore pressione atmosferica Mod. Vaisala PTB101B
5. Sensore pluviometrico Mod. Texas Electronics TE 525MM
6. Sensore pirametrico Mod. Licor LI200X
7. Alimentatore PS002 completo di batteria tampone da 12VDC 12 Ah
8. Contenitore stagno IP65.

I dati di pressione atmosferica, velocità e direzione del vento, umidità relativa, radiazione solare e precipitazioni sono stati restituiti a cadenza oraria per un periodo di tempo compreso tra

Aprile del 2001 a Ottobre del 2002.

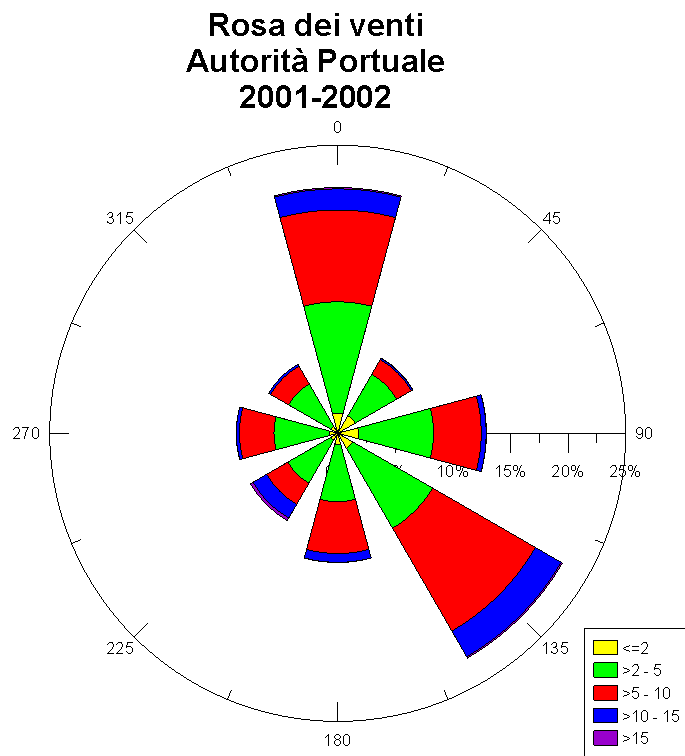


Figura 3.1.1-17: Rosa dei venti misurata nella stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2001 e il 2002.

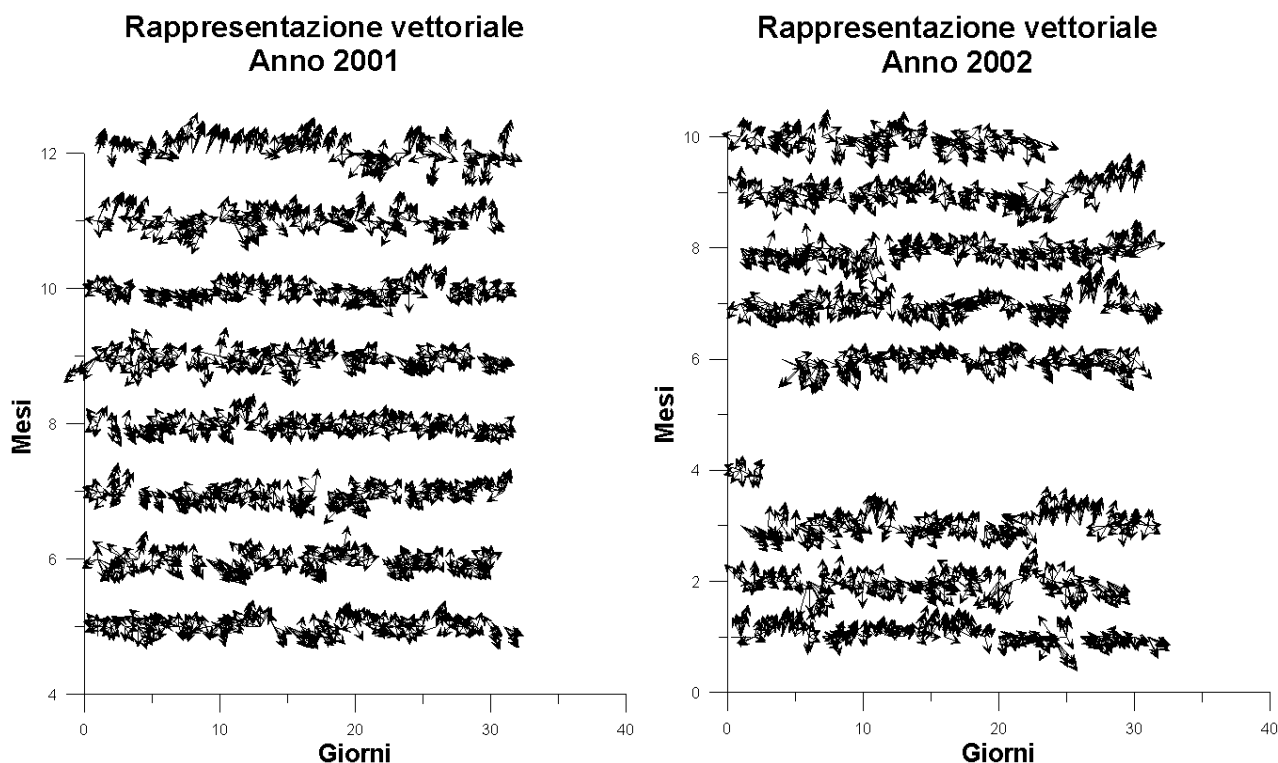


Figura 3.1.1-18: Rappresentazione vettoriale su dati orari effettuata nel corso di differenti mesi del 2001 (a sinistra) e del 2002 (a destra).

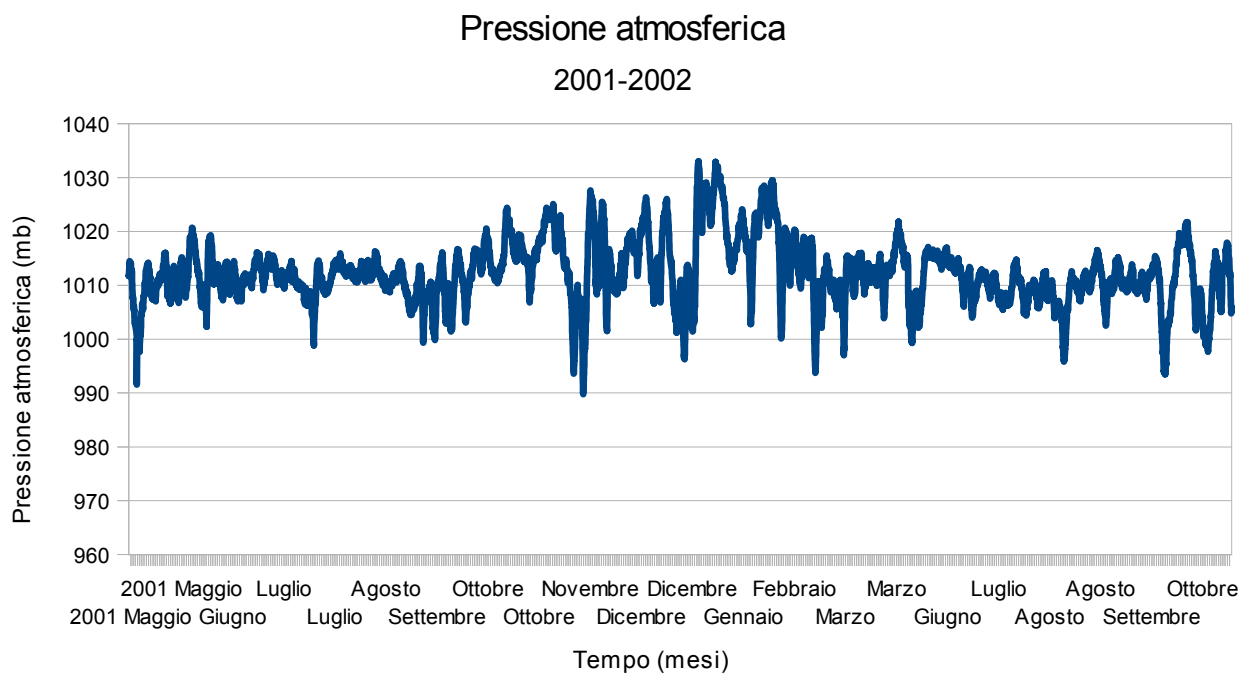


Figura 3.1.1-19: Variazione della pressione atmosferica misurata dalla stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2001 e il 2002.

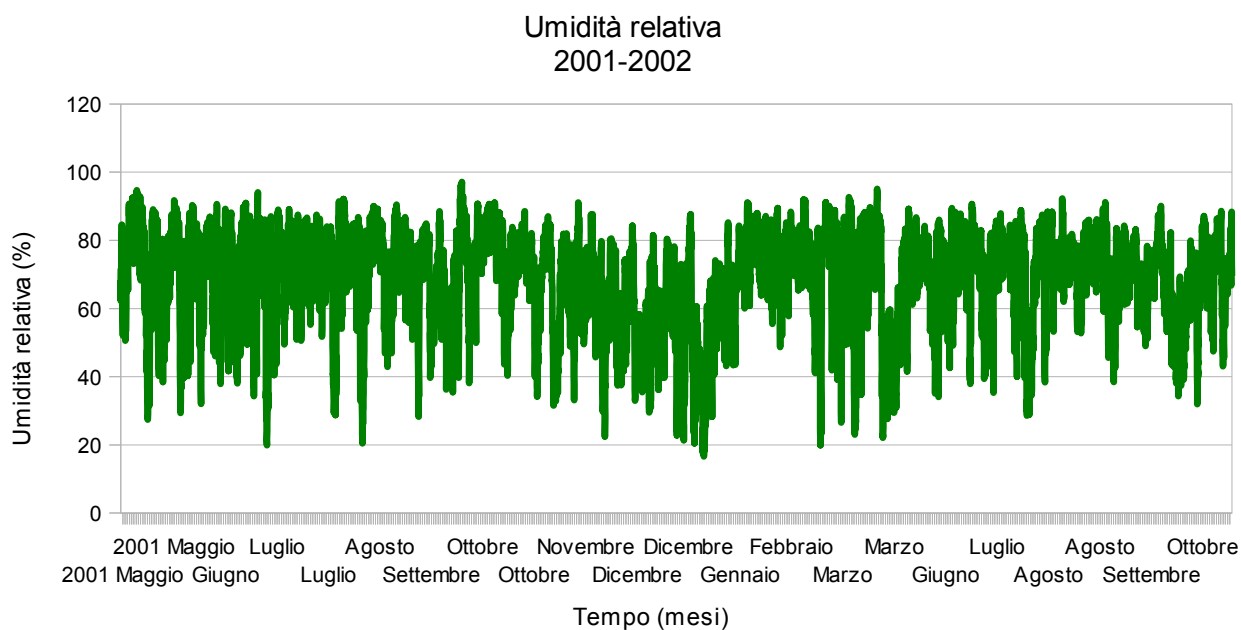


Figura 3.1.1-20: Variazione dell'umidità relativa misurata dalla stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2001 e il 2002.

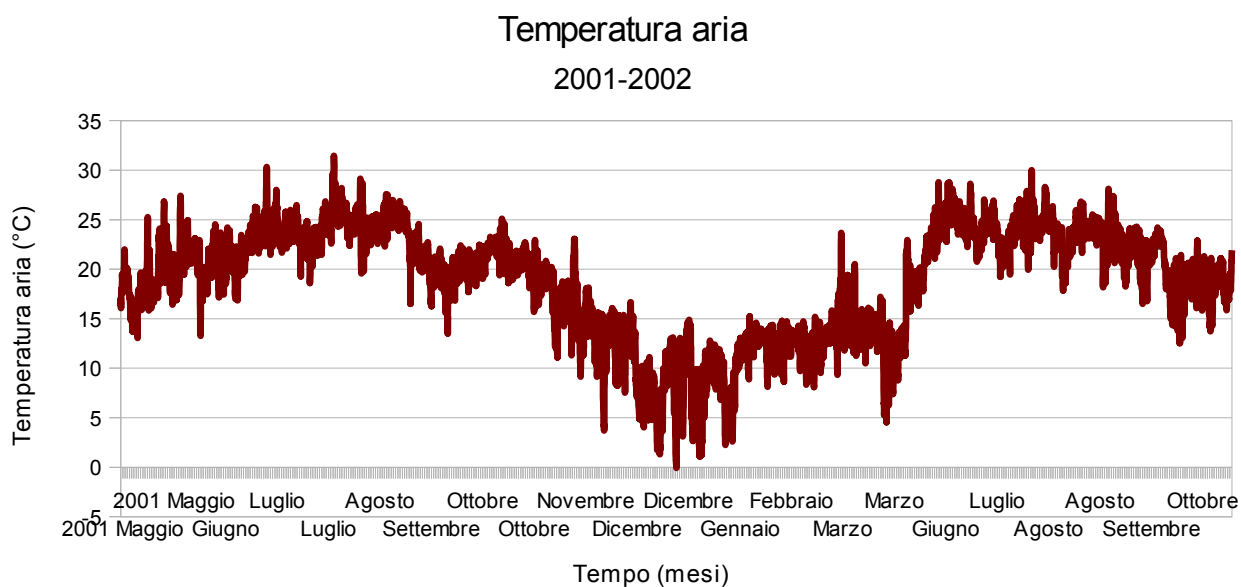


Figura 3.1.1-21: Variazione della temperatura dell'aria misurata dalla stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2001 e il 2002.

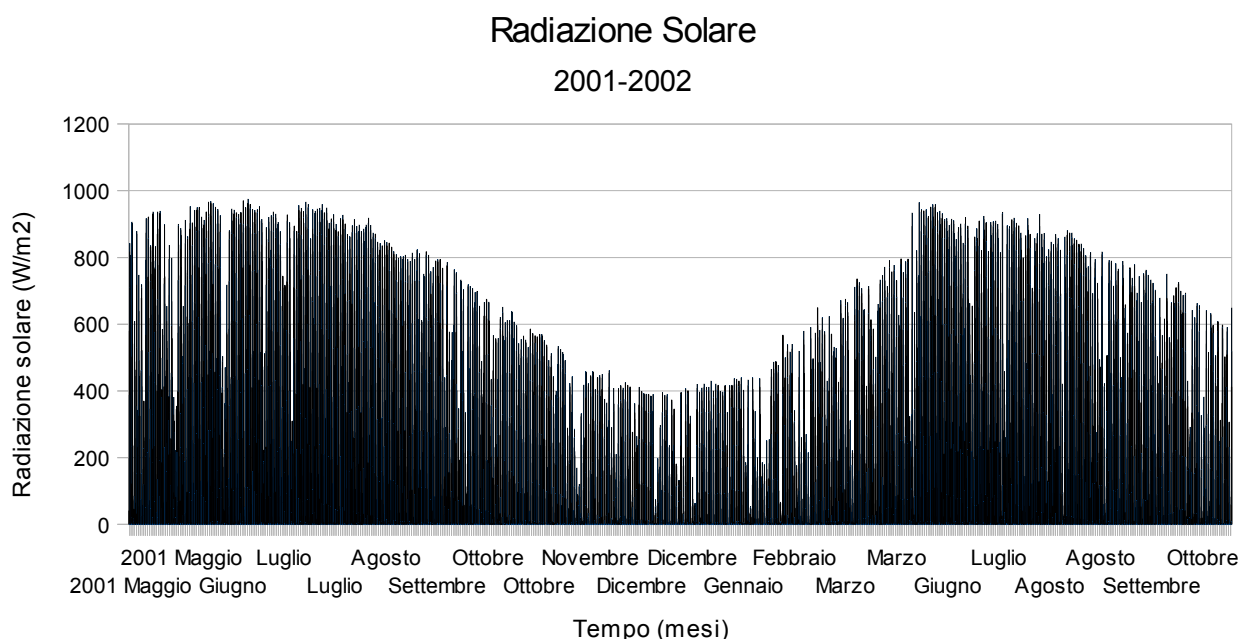


Figura 3.1.1-22: Variazione della radiazione solare misurata dalla stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2001 e il 2002.

Negli ultimi anni sono state posizionate dall'Autorità Portuale di Civitavecchia presso i porti di Civitavecchia, Gaeta e Fiumicino delle centraline meteo capaci di restituire ad intervalli di 10 minuti dati relativi alla pressione atmosferica, umidità relativa, velocità e direzione del vento, radiazione solare e precipitazione.

In particolare la centralina meteorologica di Civitavecchia è stata installata all'interno del porto sul tetto dell'edificio sede dell'Autorità Portuale ed è in funzione dal 2007.

Di seguito vengono riportate alcune rappresentazioni relative alle variabili sopra menzionate.

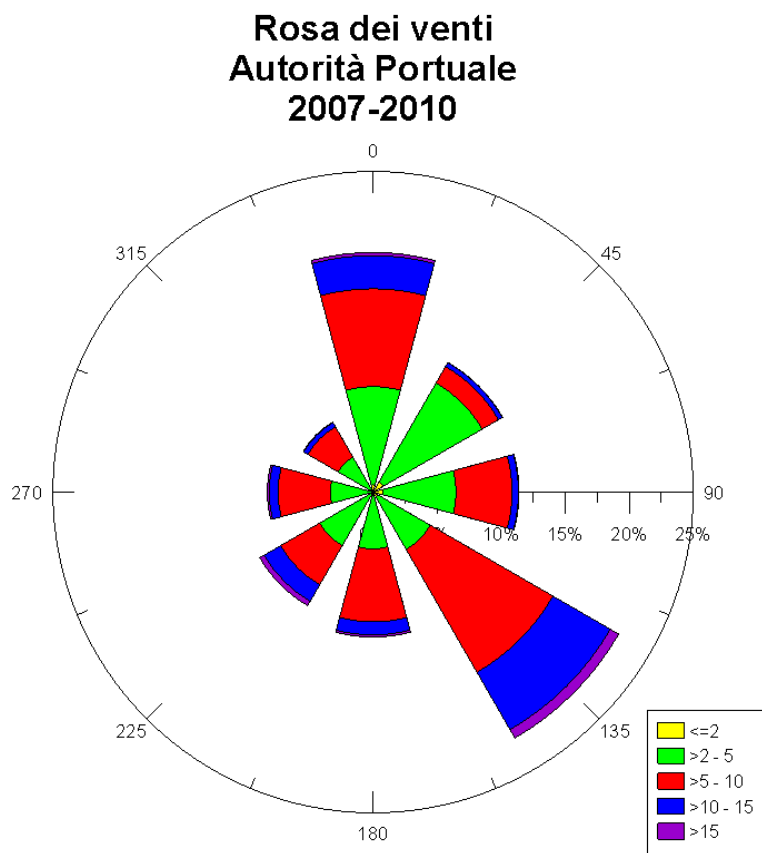


Figura 3.1.1-23: Rosa dei venti misurata nella stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2001 e il 2002.

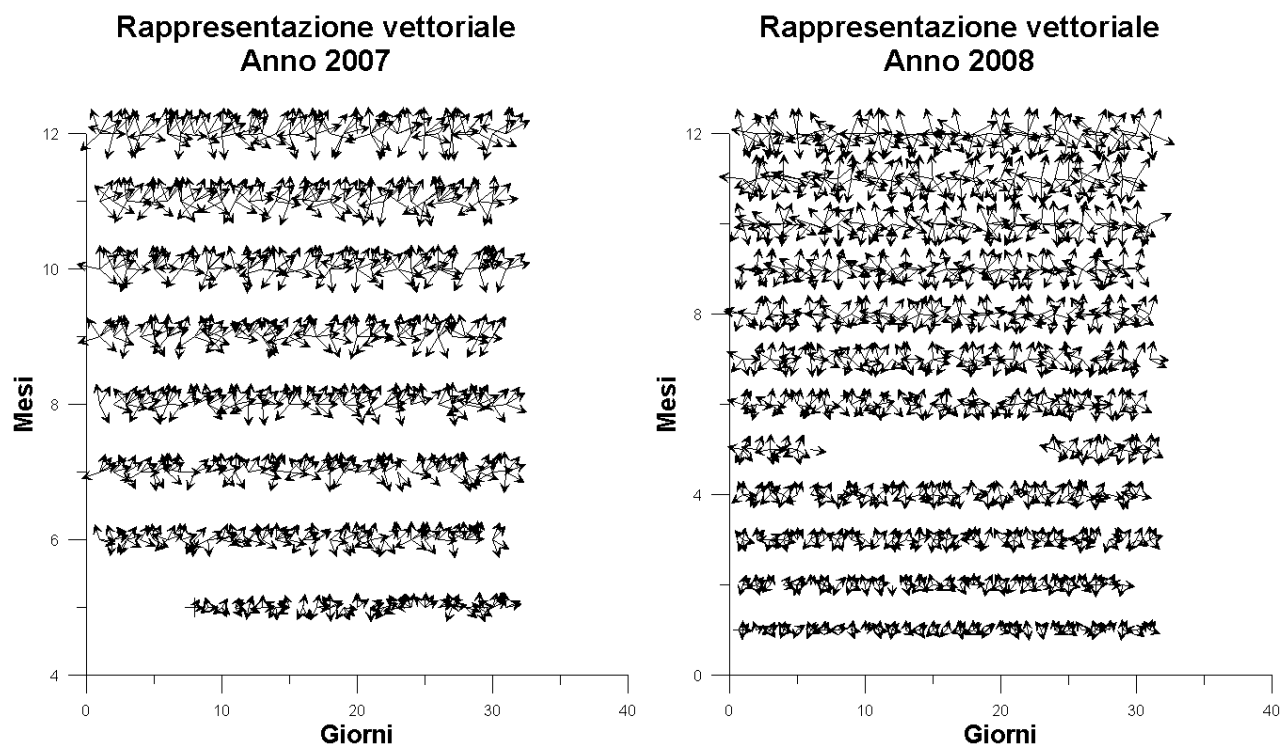


Figura 3.1.1-24: Rappresentazione vettoriale su dati orari effettuata nel corso di differenti mesi del 2007 (a sinistra) e del 2008 (a destra).

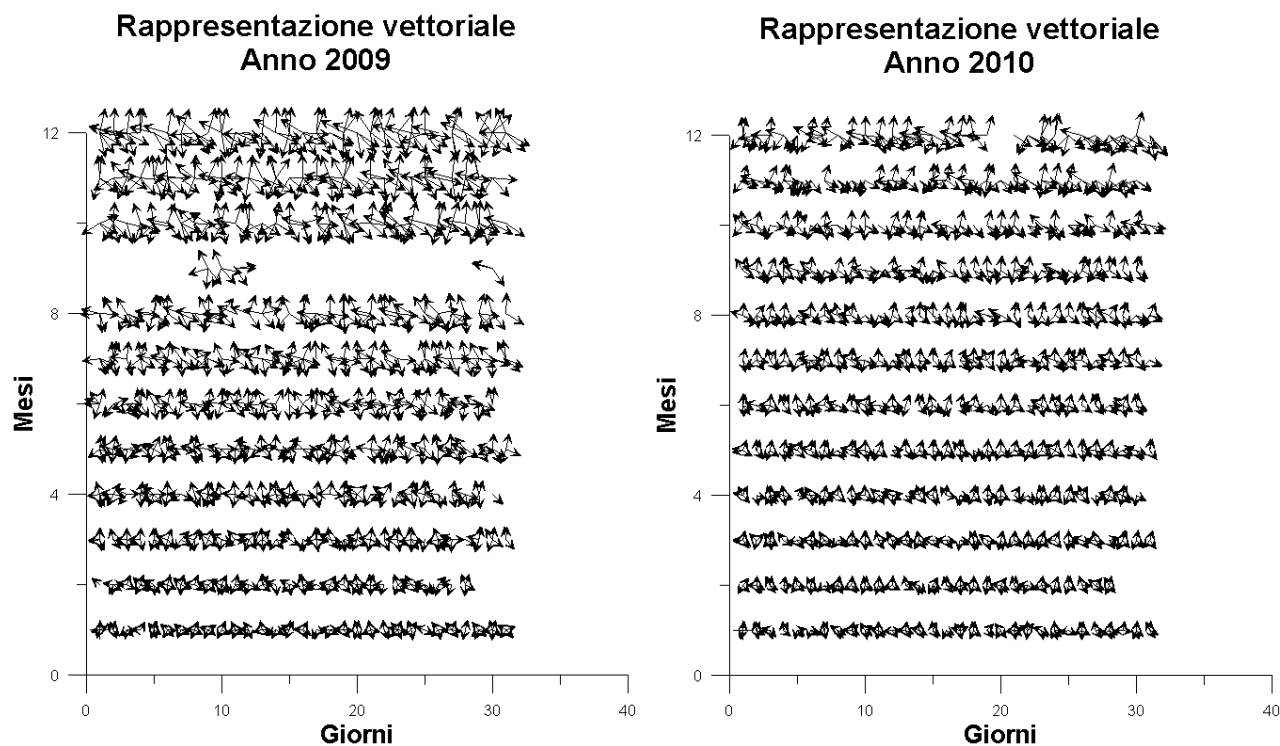


Figura 3.1.1-25: Rappresentazione vettoriale su dati orari effettuata nel corso di differenti mesi del 2009 (a sinistra) e del 2010 (a destra).

Pressione atmosferica 2007-2010

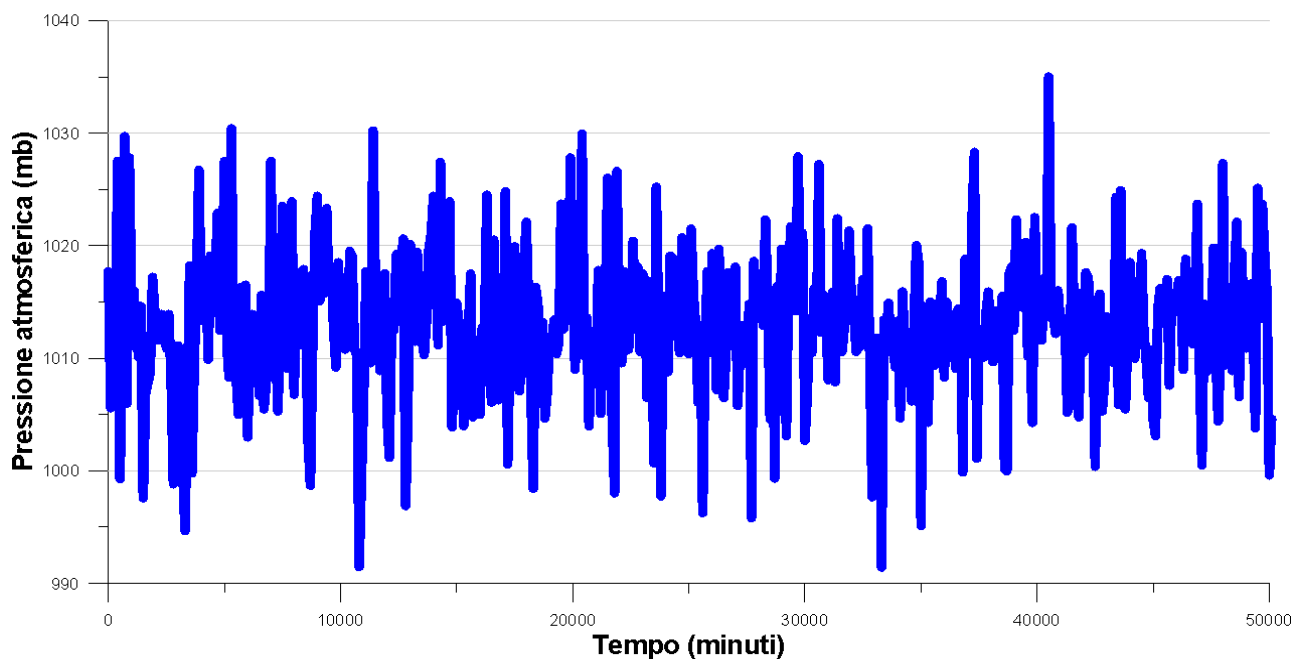


Figura 3.1.1-26: Variazione della pressione atmosferica misurata dalla stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2007 e il 2010.

Temperatura aria 2007-2010

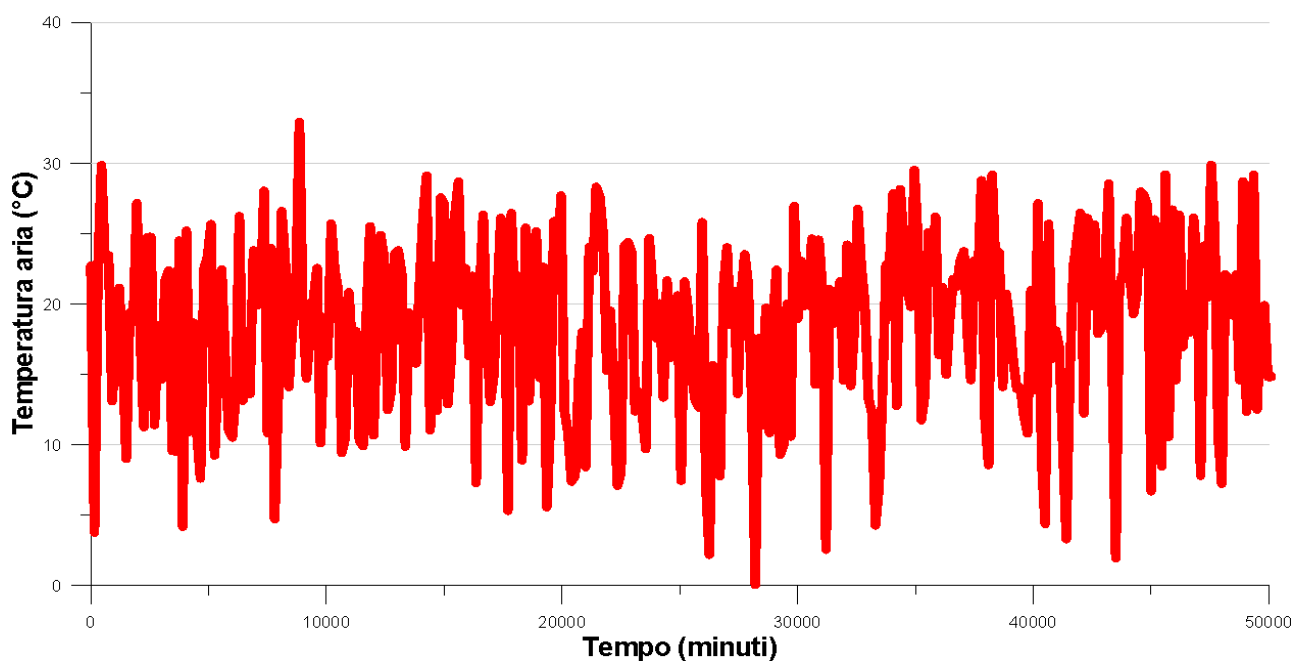


Figura 3.1.1-27: Variazione della temperatura dell'aria misurata dalla stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2007 e il 2010.

Umidità relativa 2007-2010

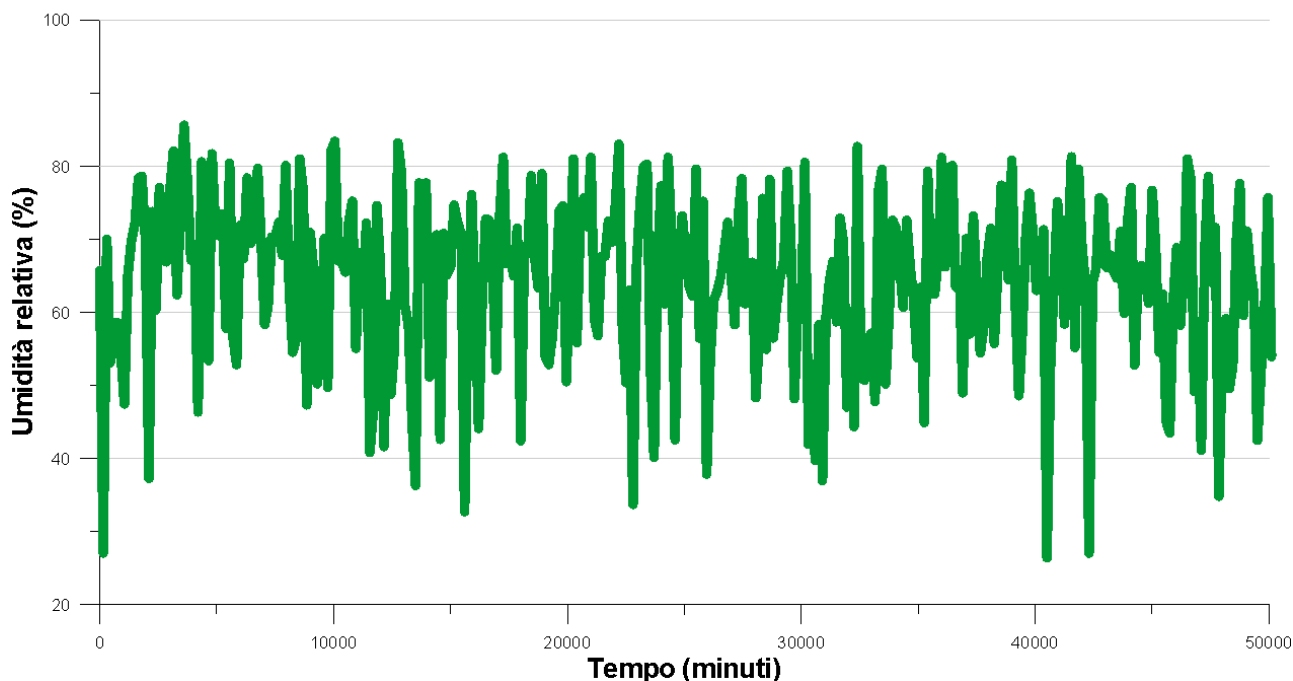


Figura 3.1.1-28: Variazione dell'umidità relativa misurata dalla stazione meteo all'interno del Porto di Civitavecchia nel periodo compreso tra il 2007 e il 2010.

3.1.2 Caratterizzazione ondametrica

L'analisi del clima d'onda è stata effettuata sulla base di dati acquisiti in due principali punti (Capo Linaro e Centrale ENEL di Torrevaldaliga) all'interno dell'area oggetto di studio, mentre la propagazione del moto ondoso verso costa è stata calcolata attraverso l'utilizzo di modelli numerici di simulazione. I dati relativi ad altezza d'onda, direzione e periodo sono stati acquisiti da:

- Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) attraverso un ondametro direzionale che fa parte della Rete Ondametrica Nazionale (RON) ha rilevato dati dal 2004 al 2006;
- ENEL in due distinti periodi di tempo: dal 1994 al 2001 e negli anni 2010 e 2011.

Sono stati inoltre calcolati l'altezza, la direzione e il periodo dell'onda grazie all'utilizzo di modelli di moto ondoso che utilizzato spettri d'onda come condizione al contorno. A differenza dei dati raccolti in situ le simulazioni modellistiche consentono di avere un quadro sinottico della variazione della velocità lungo un tratto di costa nei diversi istanti di tempo. Nel presente lavoro

sono stati considerati i risultati del modello bidimensionale STWAVE.

Dati ISPRA

Dal 2004 al 2006 sono stati acquisiti dati relativi al moto ondoso nella stazione di Capo Linaro che fa parte della RON gestita dall'istituto ISPRA. In tale periodo sono stati rilevati altezza, direzione e periodo dell'onda da cui è stato ottenuto il clima d'onda, che ha permesso di evidenziare i fenomeni dominanti e prevalenti nell'area di studio, e le tabelle altezza significativa e direzione (Hs-Dir), altezza significativa e periodo di picco (Hs-Tp).

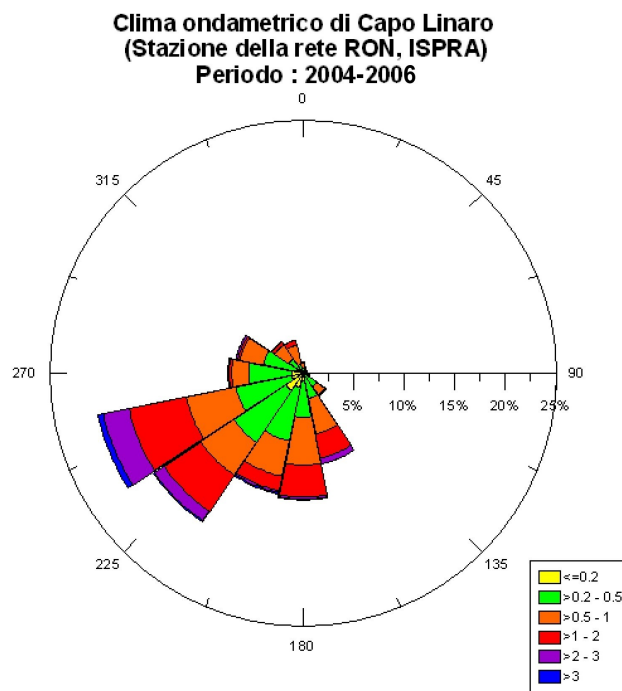


Figura 3.1.2-1. Clima d'onda registrato a Capo Linaro nel periodo 2004-2006

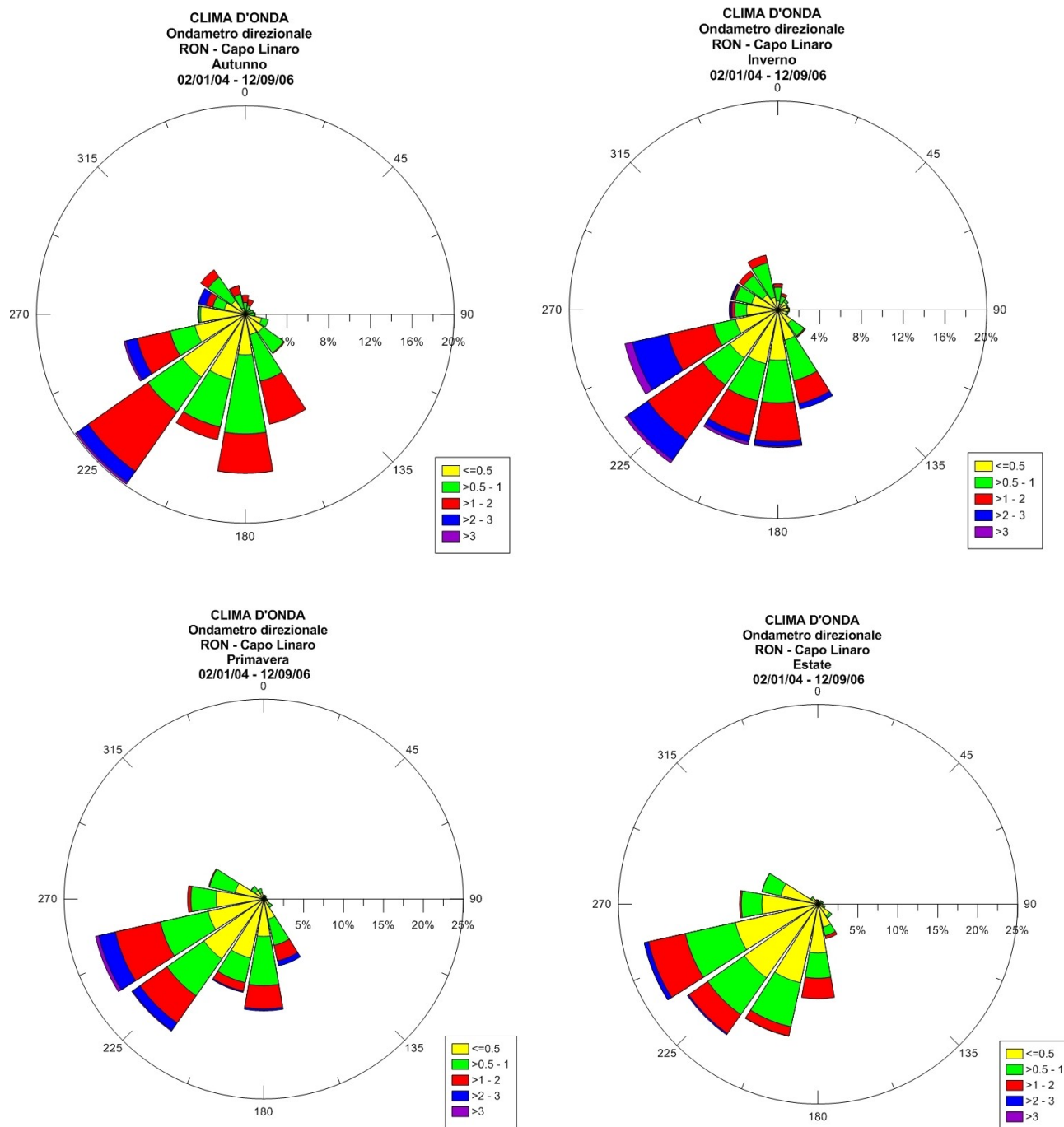


Figura 3.1.2-2: Clima d'onda stagionali registrati a Capo Linaro nel periodo 2004-2006

"N	<=15	<=30	<=45	<=60	<=75	<=90	<=105	<=120	<=135	<=150	<=165	<=180	<=195	<=210	<=225	<=240	<=255	<=270	<=285	<=300	<=315	<=330	<=345	<=360	>360	TOT
m																										
>9,5																										0
<=9,5																										0
<=9																										0
<=8,5																										0
<=8																										0
<=7,5																										0
<=7																										0
<=6,5																										0
<=6																										0
<=5,5																			1							1
<=5																			2							2
<=4,5												1		2	3	1			3	2						12
<=4				1								4	3	11	5	17	17		8					1		69
<=3,5												5	6	9	9	47	94		5							175
<=3										8	35	15	13	20	23	172	204	11	5	14	2					532
<=2,5						1				7	70	39	33	49	62	397	270	17	4	13	6	1				969
<=2	1	3	1	1	1					20	92	199	95	105	172	615	396	17	6	5	8	4	9	9		1759
<=1,5	36	39	3	3	1	1	2	2	2	33	320	580	431	292	424	941	608	73	53	28	62	56	62	39	1	4092
<=1	114	77	47	29	30	35	45	48	120	289	714	932	1045	905	759	1206	898	463	485	498	283	360	321	152		9865
<=0,5	92	86	118	125	114	91	131	137	223	365	553	855	1194	1516	1685	1655	1339	1100	962	712	327	272	187	106		13945
TOT	243	205	169	159	146	128	178	187	356	722	1784	2630	2820	2909	3142	5053	3827	1681	1534	1272	688	693	579	307	1	31411

Figura 3.1.2-3: Tabella Hs-Dir risultante dai dati ondametrici registrati a Capo Linaro dal 2004 al 2006

sec	<=1,5	<=3	<=4,5	<=6	<=7,5	<=9	<=10,5	<=12	<=13,5	<=15	<=16,5	<=18	>18	TOT
m														
>9,5														0
<=9,5														0
<=9													1	1
<=8,5														0
<=8														0
<=7,5									1					1
<=7									2	3				5
<=6,5									4	1				5
<=6								5	1					6
<=5,5							4	11	4					19
<=5							17	29	8					54
<=4,5					1	3	34	85	7					130
<=4					1	13	105	112	7					238
<=3,5					4	100	232	102	4					442
<=3				2	35	277	460	70	1					845
<=2,5				5	223	777	507	32					1	1545
<=2				105	920	1435	320	2					3	2785
<=1,5			60	865	2386	1169	138	1					1	4620
<=1		126	1587	3447	3131	515	13	1					51	8871
<=0,5		1530	3410	3548	2017	338	38	24	9	2	3	1	628	11548
TOT	0	1656	5057	7972	8718	4627	1868	474	48	6	3	1	685	31115

Figura 3.1.2-4: Tabella Hs-Tp risultante dai dati ondametrici registrati a Capo Linaro dal 2004 al 2006

Dati ENEL

Ponendosi a largo di Civitavecchia su fondali di circa – 50 m ove è posizionato l'ondametro direzionale di Torre Valdaliga gestito da ENEL, ad una distanza di circa 4 Km dalla costa, il paraggio è esposto al mare aperto per un ampio settore di traversia, delimitato a Nord Ovest dal promontorio del Monte Argentario e dall'Isola d'Elba (300°-320° N), a Est dall'isola della Corsica (280°-260° N), a Sud-Ovest dall'isola della Sardegna (250°-210° N), a Sud dall'isola della Sicilia (145°-170° N) a una distanza di circa 500 Km e a Sud-Est da Capo Anzio, dall'isola di Ponza e dalla costa calabrese (135°-145° N).

Per il tratto di costa dell'alto Lazio a fronte di un fetch geografico massimo dell'ordine di 500 Km si ha un fetch efficace massimo pari a circa 310 Km circa ed è riferibile al settore Sud (170°-190° N, Mezzogiorno).

Per quanto riguarda la correlazione tra la direzione del vento e direzione del mare si può notare che venti di Maestrale (paralleli alla costa da Nord-Ovest), generano moti ondosi provenienti da 290°- 280° N (Ponente) con uno sfasamento di circa 30° e venti di Scirocco (paralleli alla costa da Sud-Est) generano moti ondosi provenienti da 150°-160° N (Mezzogiorno) con uno sfasamento di 25°. L'ondametro ENEL ha acquisito dati relativi al moto ondoso in due diversi periodi di tempo:

- dal 1994 al 2001 in cui ha rilevato altezza, periodo e direzione dell'onda a cadenza trioraria;
- negli anni 2010 e 2011 dove ha acquisito solo altezza significativa e direzione ogni 5 minuti.

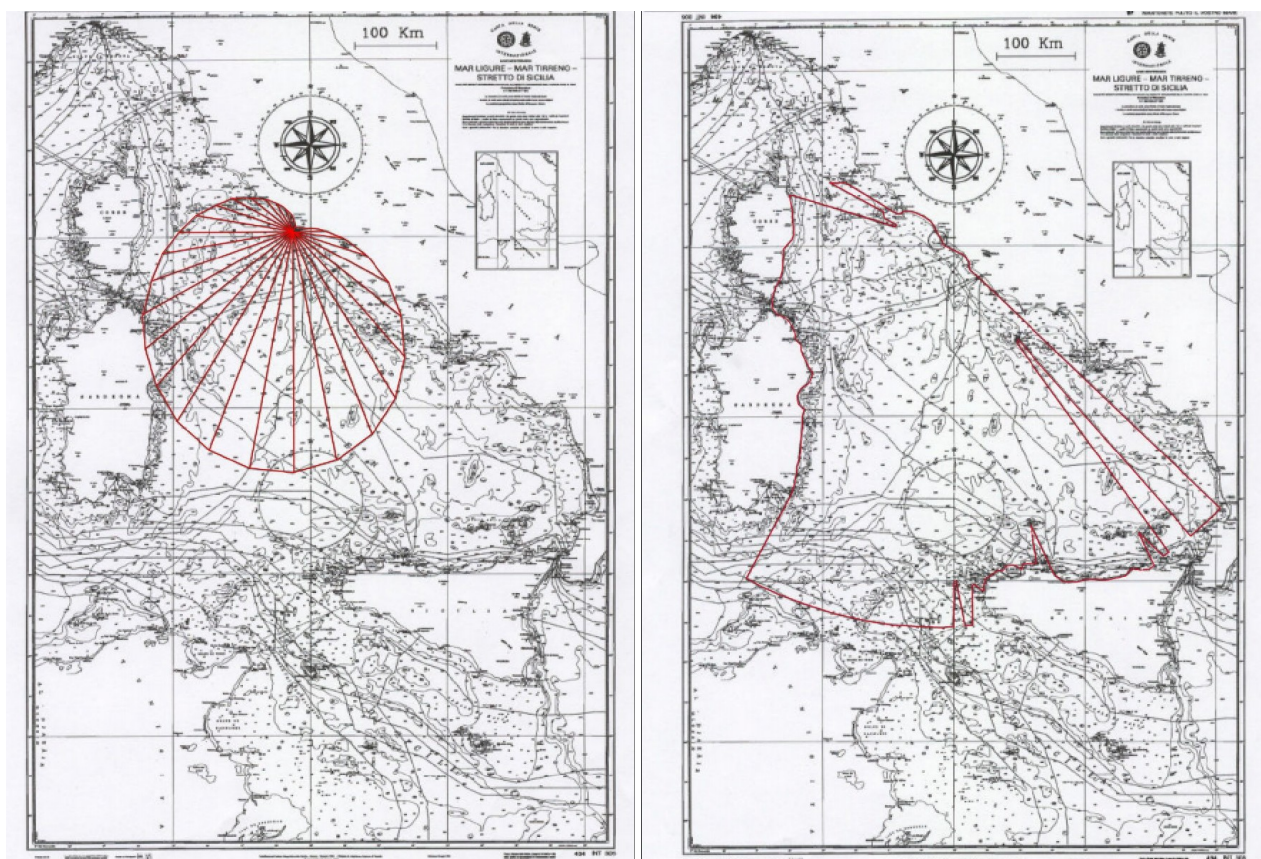


Figura 3.1.2-5: Fetch geografico ed efficace a largo di Civitavecchia

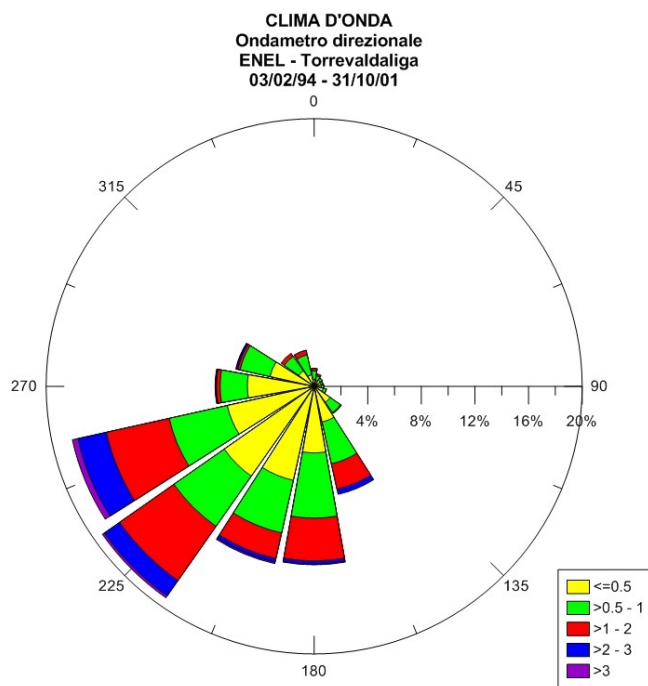


Figura 3.1.2-6. Clima d'onda registrato a largo di Torrevadalia nel periodo 1994-2001

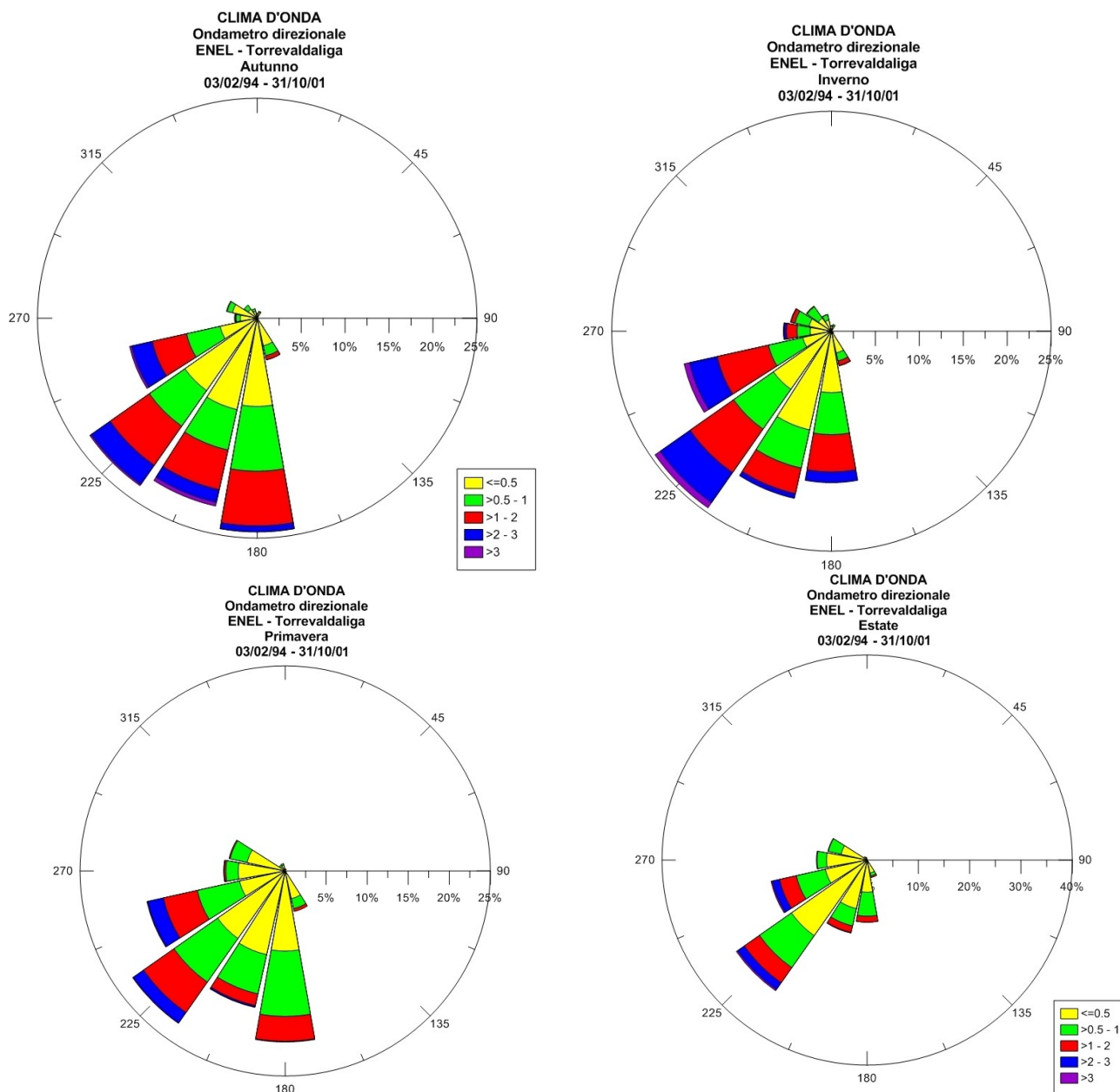


Figura 3.1.2-7. Climi d'onda stagionali registrati a largo di Torrevadalliga nel periodo 1994-2001

Dal confronto tra il clima d'onda generato dai dati della Rete Ondametrica e il clima generato dai dati ENEL si nota una lieve differenza, soprattutto per quanto riguarda le rose di Autunno e Primavera. In generale sembra verificarsi una leggera sottostima della componente proveniente da sud ($170^\circ - 190^\circ$) nelle rose generate dalla RON, in particolare in riferimento alla frequenza all'interno della stagione. Va sottolineato con forza che i periodi di acquisizione degli ondametri sono diversi e che la stazione ENEL di Torrevadalliga ha assimilato dati per 7 anni,

mentre la stazione RON di Capo Linaro per un periodo di poco superiore ai 2 anni. Se a questo si aggiunge il fatto che l'ondametro di Capo Linaro nel 2005 non ha acquisito dati tra Aprile e Dicembre, risulta evidente che le differenze che si possono riscontrare tra i due dataset sono facilmente attribuibili alla ristrettezza della serie temporale, soprattutto per ciò che riguarda la boa RON.

H_s	≤ 15	≤ 30	≤ 45	≤ 60	≤ 75	≤ 90	≤ 105	≤ 120	≤ 135	≤ 150	≤ 165	≤ 180	≤ 195	≤ 210	≤ 225	≤ 240	≤ 255	≤ 270	≤ 285	≤ 300	≤ 315	≤ 330	≤ 345	≤ 360	TOT	
>9.5																										
≤ 9.5																										
≤ 9																										
≤ 8.5																										
≤ 8																										
≤ 7.5																										
≤ 7																										
≤ 6.5																										
≤ 6																1										1
≤ 5.5																2			1							3
≤ 5																3	3		2							8
≤ 4.5												1		2	3	6	7	1	3	2						25
≤ 4				1								4	4	14	7	29	23		8						1	91
≤ 3.5												5	12	26	18	91	119	6	5							282
≤ 3										8	35	15	38	47	53	335	301	13	9	13	2					869
≤ 2.5						1				8	71	53	122	106	118	793	458	36	11	13	6	1				1797
≤ 2	1	3	1	1	1					25	99	253	292	206	257	1008	584	41	28	10	8	6	9	9		2842
≤ 1.5	36	39	3	3	1	1	2	2	2	35	350	777	887	533	614	1590	963	108	89	47	66	55	63	40		6306
≤ 1	122	91	49	29	30	35	45	48	131	293	835	1469	2029	1517	1275	2289	1517	595	743	767	369	432	362	155		15327
≤ 0.5	142	144	140	127	115	97	131	140	234	416	937	1638	2507	3004	3020	3227	2040	1579	1667	1261	478	410	302	145		23901

Figura 3.1.2-8: Tabella Hs-Dir risultante dai dati ondametrici registrati a Torrevadalliga dal 1994 al 2001

sec m	<=3	<=4.5	<=6	<=7.5	<=9	<=10.5	<=12	<=13.5	<=15	<=16.5	<=18	>18	TOT
>9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<=9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<=9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<=8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<=8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<=7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<=7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<=6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<=6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<=5.5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
<=5	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	8
<=4.5	0	0	0	0	6	19	0	0	0	0	0	0	25
<=4	0	0	0	1	39	48	1	0	0	0	0	2	91
<=3.5	0	0	0	9	186	84	3	0	0	0	0	0	282
<=3	0	0	0	205	558	105	0	0	0	0	0	1	869
<=2.5	0	0	26	754	941	73	1	0	0	0	0	2	1797
<=2	0	7	258	1587	926	41	3	0	0	0	0	20	2842
<=1.5	0	380	1642	3363	722	37	1	0	0	0	0	161	6306
<=1	376	4200	5434	3216	530	224	23	8	0	0	0	1316	15327
<=0.5	3337	6467	5266	2849	1027	751	258	213	6	0	0	3729	23903
TOT	3713	11054	12626	11984	4935	1394	290	221	6	0	0	5231	51454

Figura 3.1.2-9: Tabella Hs-Tp risultante dai dati ondametrici registrati a Torrevadalliga dal 1994 al 2001

I dati ondametrici relativi ad altezza significativa e direzione del moto ondoso, raccolti negli anni 2010 e 2011, sono stati rappresentati attraverso un clima d'onda per evidenziare i principali fenomeni che nell'ultimo periodo hanno caratterizzato il tratto di costa oggetto di studio.

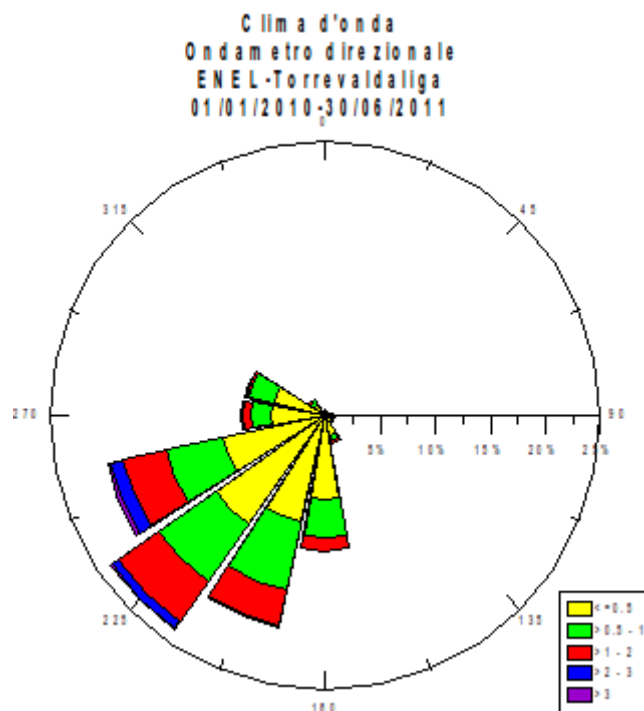


Figura 3.1.2-10. Clima d'onda registrato a largo di Torrevaldaliga negli anni 2010 e 2011.

Simulazioni modellistiche della propagazione del moto ondoso Tuscia

Sulla base dei dati raccolti dalle boe ondametrichi sono stati scelti degli scenari di simulazione che rappresentano i principali fenomeni che interessano il tratto di costa oggetto di studio. La propagazione del moto ondoso verso costa è stato riprodotto attraverso il modello numerico bidimensionale STWAVE.

L' STWAVE (Steady-state spectral WAVE model) è un modello alle differenze finite che risolve l'equazione di bilancio dell'azione dell'onda. Lo scopo della sua applicazione in regioni costiere è quello di descrivere quantitativamente i cambiamenti dei parametri dell'onda (come l'altezza, il periodo, la direzione e la deformazione dello spettro) tra la zona offshore e quella nearshore. Infatti, in acque profonde il campo d'onda è relativamente omogeneo, mentre in prossimità della costa, dove le onde sono fortemente influenzate dalle variazioni di batimetria e dalle correnti, i parametri d'onda possono variare significativamente sulla scala di decine di metri.

La caratterizzazione dell'onda nearshore è di fondamentale importanza per dimensionare le opere di ingegneria costiera e per calcolare le correnti litoranee dalle quali si determina il trasporto sedimentario e il relativo cambiamento morfologico del fondale.

L' STWAVE simula i fenomeni di rifrazione e shoaling indotte dalla profondità, di diffrazione e riflessione causata da ostacoli naturali (coste alte) o artificiali (pennelli o antemurali di porti); calcola i parametri d' onda, come l'altezza, il periodo e la direzione, la zona del dominio dove l'onda frange e il radiation stress. Tiene conto inoltre dell'interazione corrente-onda e vento-onda.

L' equazione fondamentale che risolve l' STWAVE è la relazione di dispersione dell'onda.

L'approccio alla sua formulazione segue dalla descrizione delle variabili su due diversi sistemi di riferimento: quello in movimento con le correnti dove le variabili hanno il pedice r , e quello relativo alla Terra (sistema assoluto) dove le variabili hanno il pedice a .

La relazione di dispersione per un sistema in movimento è data da:

$$\omega_r^2 = g \cdot k \cdot \tanh(k \cdot d)$$

In un sistema di riferimento assoluto, l'equazione di dispersione è calcolata mediante:

$$\omega_a = \omega_r + k \cdot U \cdot \cos(\delta - \alpha)$$

Le soluzioni per la rifrazione e lo shoaling richiedono sia la celerità della singola onda, C , sia la celerità di gruppo, C_g . Nel sistema di riferimento relativo alla corrente si ha :

$$C_r = \frac{\omega_r}{k}$$
$$C_{gr} = 0.5 \cdot C_r \left(1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right)$$

La direzione di entrambe le celerità è α , ovvero la direzione ortogonale al fronte d' onda. Nel sistema di riferimento assoluto le espressioni delle velocità dell'onda sono date da :

$$C_a = C_r + U \cdot \cos(\delta - \alpha)$$
$$(C_{ga})_i = (C_{gr})_i + (U)_i$$

dove il pedice i indica la notazione tensoriale per le componenti nella direzione x e y . In

questo caso la direzione con cui si propaga la velocità dell'onda singola è perpendicolare al fronte d'onda, mentre la celerità di gruppo definisce il cosiddetto raggio dell'onda. La direzione di quest'ultimo è definita dalla seguente formula:

$$\mu = \tan^{-1} \left(\frac{C_{gr} \cdot \sin(\alpha) + U \cdot \sin(\delta)}{C_{gr} \cdot \cos(\alpha) + U \cdot \cos(\delta)} \right)$$

Si ha quindi che, in presenza di corrente, l'energia dell'onda si muove lungo il suo raggio mentre la direzione effettiva è quella perpendicolare alla sua cresta.

I fenomeni di rifrazione e di shoaling sono implementati nel modello STWAVE applicando l'equazione di conservazione dell'onda che è definita nelle due direzioni sopracitate. Se si considera la propagazione perpendicolare al fronte d'onda (assenza di corrente) si ha :

$$C_{ga} \frac{D\alpha}{DR} = - \frac{C_r \cdot k}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \cdot \frac{Dd}{Dn} \cdot \frac{k_i}{k} \cdot \frac{DU_i}{Dn}$$

mentre se si tiene conto della direzione lungo il raggio d'onda (interazione onda-corrente) si ottiene

$$(C_{ga})_i \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{C_a \cdot C_{ga} \cdot \cos(\mu \cdot \alpha) \cdot E(\omega_a, \alpha)}{\omega_r} = \sum \frac{S}{\omega_r}$$

Il fenomeno di diffrazione viene incluso nel modello attraverso lo smoothing dell'energia dello spettro d'onda in una specifica banda di direzione e frequenza. Il risultato è la seguente espressione:

$$E_j(\omega_a, \alpha) = 0.55 \cdot E_j(\omega_a, \alpha) + 0.255 \cdot [E_{j+1}(\omega_a, \alpha) + E_{j-1}(\omega_a, \alpha)]$$

Il frangimento dell'onda è stato implementato all'interno di STWAVE dalla seguente formula empirica :

$$H_{mo_{max}} = 0.1 \cdot L \cdot \tanh(k \cdot d)$$

I gradienti del radiation stress sono calcolati nel modello per fornire le forzanti al campo idrodinamico sotto forma di correnti nearshore e di cambiamenti del livello dell'acqua (wave setup e setdown). Le correnti indotte dalle onde sono infatti le principali artefici del trasporto sedimentario all'interno della surf zone.

I tensori del radiation stress sono calcolati sulla base della teoria lineare dell'onda :

$$S_{xx} = \rho_w \cdot g \cdot \iint E(f, \alpha) \cdot \left[0.5 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \cdot (\cos^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] df d\alpha$$

$$S_{xy} = \rho_w \cdot g \cdot \iint \frac{E(f, \alpha)}{2} \cdot \left[0.5 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \cdot \sin(2 \cdot \alpha) \right] df d\alpha$$

$$S_{yy} = \rho_w \cdot g \cdot \iint E(f, \alpha) \cdot \left[0.5 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \cdot (\sin^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] df d\alpha$$

I relativi gradienti hanno quindi la seguente forma :

$$\tau_x = - \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}$$

$$\tau_y = - \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}$$

Il dominio del modello STWAVE comprende un piccolo tratto di costa, lungo circa 40 km, posto tra le foci del fiume Mignone, a Nord, e Capo Linaro a Sud.

Il dominio ha una forma rettangolare ed è delimitato a ovest dalla batimetria dei -100 m che, da dati relativi ai periodi di picco (da cui si può calcolare la lunghezza d'onda) misurati per la suddetta area, risulta essere maggiore rispetto alla profondità dove avviene la deformazione delle onde.

La griglia di calcolo (Fig. 3.1.2-11) è formata da elementi quadrati con un lato di 30 m tale da rappresentare la linea di costa e le opere di protezione in maniera adeguata.

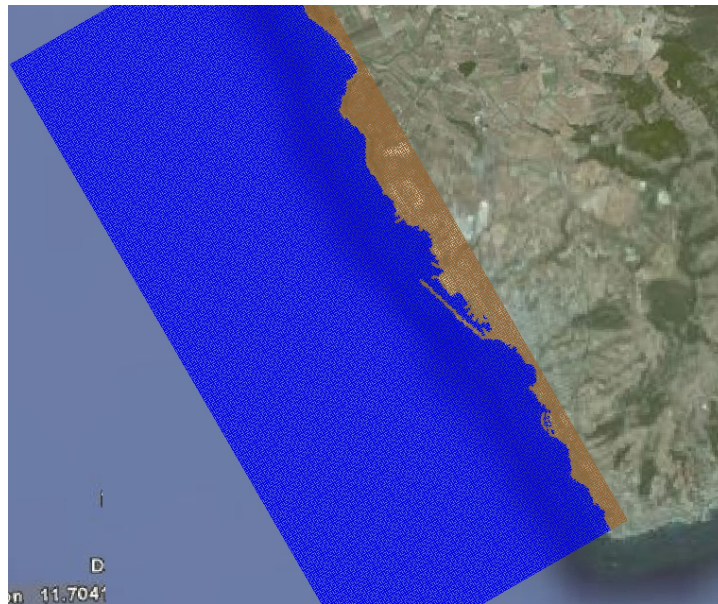


Figura 3.1.2-11: Griglia di calcolo del modello di moto ondoso STWAVE

Sul lato Ovest del dominio viene definita l'onda incidente sotto forma di spettro d'energia bidimensionale. Quest'ultimo descrive, infatti, la distribuzione dell'energia d'onda in funzione della frequenza e della direzione. Lo spettro d'onda incidente può essere specificato all'interno del modello utilizzando un algoritmo che, dati alcuni valori in ingresso, ricostruisce una forma parametrica spettrale. Nel nostro caso è stato utilizzato il metodo TMA (shallow water) che è capace di ricostruire uno spettro incidente dai seguenti parametri: periodo di picco dell'onda (T_p), altezza d'onda, angolo che determina la direzione dello spettro e due altri parametri (γ e nn) che sono funzione del periodo di picco.

Gli altri due lati, a Nord e a Sud del dominio, hanno la condizione di 1D transformed spectrum.

Sono state effettuate due simulazioni rappresentanti i seguenti scenari:

1. Moto ondoso proveniente da Libeccio di altezza di 3 m

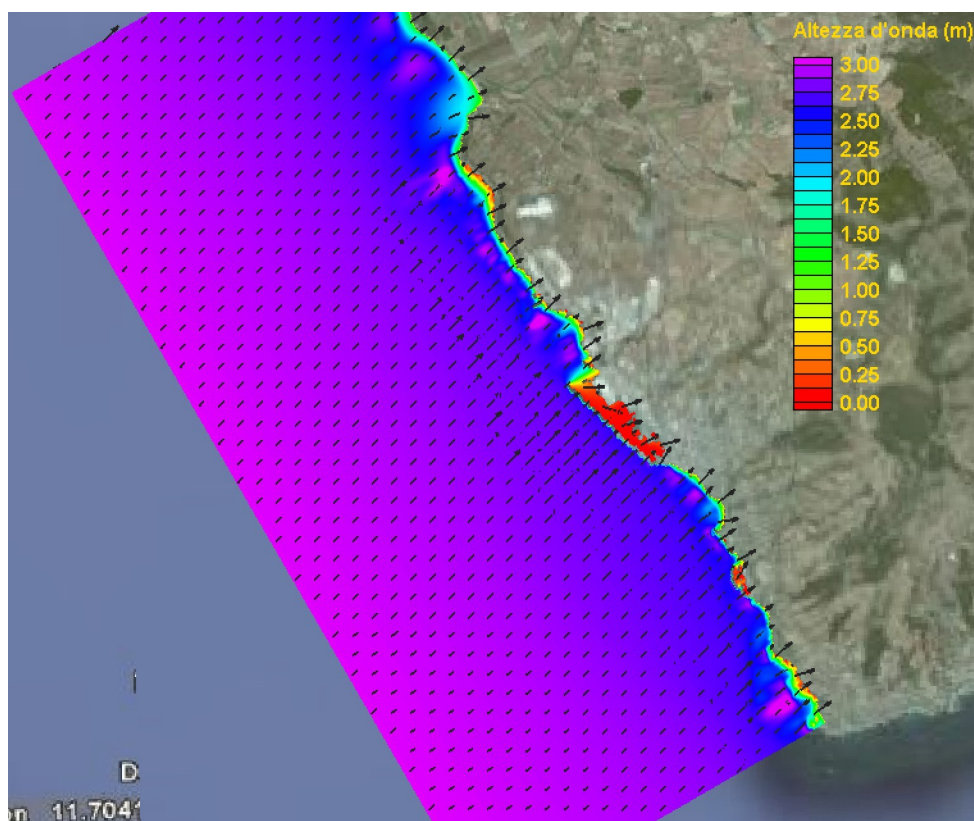


Figura 3.1.2-12: Simulazione del moto ondoso rappresentante un'onda di Libeccio di 3 m

2. Moto ondoso proveniente da Maestrale di altezza di 2 m

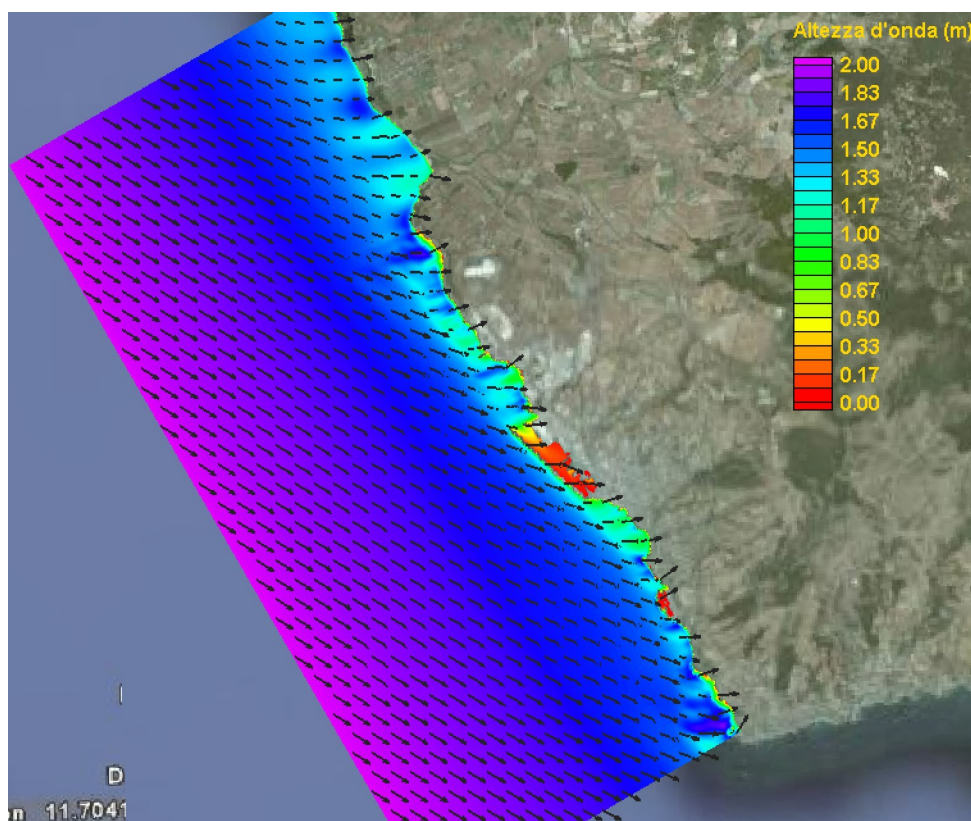


Figura 3.1.2-13: Simulazione del moto ondoso rappresentante un'onda di Maestrale di 2 m

4. CARATTERIZZAZIONE CORRENTOMETRICA DELL'AREA DI STUDIO

4.1 Dati disponibili

L'analisi delle correnti marine all'interno dell'area oggetto di studio è stata effettuata sulla base di dati acquisiti da diversi tipi di strumenti e calcolati attraverso l'utilizzo di modelli numerici di simulazione. Le campagne di misura sono state svolte in due differenti momenti:

- tra il 2001 e il 2002 dall'Autorità Portuale di Civitavecchia attraverso tre boe correntometriche;
- nel 2009 dal LOSEM (Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina, Dipartimento DEB, Università della Toscana) attraverso un monitoraggio in continuo con ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler).

Sono state inoltre calcolate le velocità delle correnti marine grazie all'utilizzo di modelli idrodinamici in differenti scenari meteomarinari. A differenza dei dati raccolti in situ le simulazioni modellistiche consentono di avere un quadro sinottico della variazione della velocità lungo un tratto di costa nei diversi istanti di tempo. Nel presente lavoro sono stati considerati i risultati di modelli bidimensionali relativi al modello idraulico TELEMAC-2D (HR Wallingford) e il modello idrodinamico ADCIRC (LOSEM).

4.2 Rete di misura dell'Autorità Portuale

4.2.1 Materiale e metodi

Il monitoraggio delle correnti marine sono state effettuate nei mesi estivi (Prima Restituzione) del 2001 e a Dicembre dello stesso anno (Seconda Restituzione).

Per i rilievi di correntometria diretta sono state utilizzate catene correntometriche (Fig. 4.2.1-1) ancorate in tre stazioni, come indicato successivamente (Tab. 4.2.1-1 e Fig. 4.2.1-2). Lungo le catene sono state posizionati due correntometri: uno in prossimità della superficie (-7 metri) e l'altro in prossimità del fondo.

CATENA CORRENTOMETRICA TIPO

Schema di ancoraggio

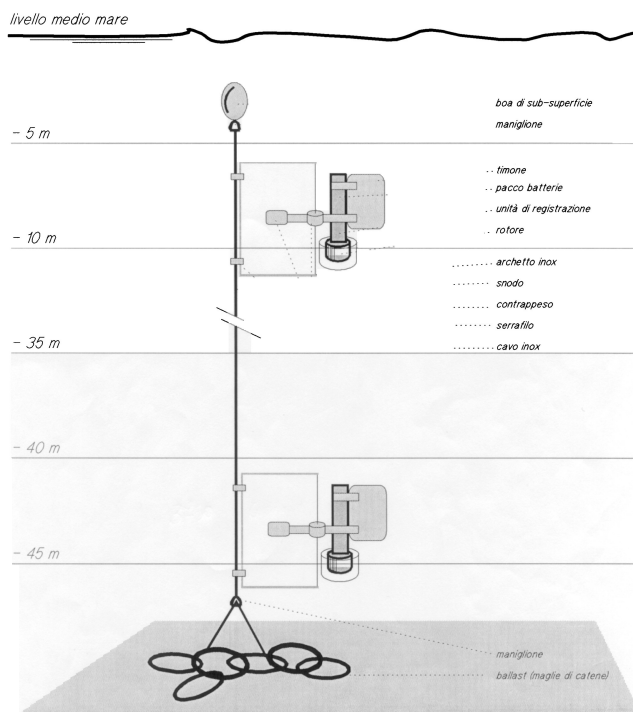


Figura 4.2.1-1: Schema di montaggio di una catena correntometrica tipo.



Figura 4.2.1-2: Ubicazione delle stazioni correntometriche

STAZIONE	FONDO (m)	PROFONDITA' (m)	LATITUDINE	LONGITUDINE
ST1 Cor. sup	33	7	42° 09' 18.8N	11° 42' 43.7E
ST1 Cor. fondo	33	23	42° 09' 18.8N	11° 42' 53.7E
ST2 Cor. sup	30	7	42° 05' 57.3N	11° 46' 12.5E
ST2 Cor. fondo	30	20	42° 05' 57.3N	11° 46' 12.5E
ST3 Cor. sup	35	7	42° 03' 30.4N	11° 48' 04.3E
ST3 Cor. fondo	35	25	42° 03' 30.4N	11° 48' 04.3E

Tabella 4.2.1-1: Posizione geografica delle catene correntometriche e profondità in cui sono posizionati i sensori (Sensor Data)

Nel corso dei rilievi i dati registrati sono stati periodicamente trasferiti dal correntometro al computer mediante collegamento con testa di lettura ottica in laboratorio e successivamente sono stati successivamente elaborati presso il CED della Cooperativa Nautilus con un apposito software.

Le elaborazioni hanno riguardato la distribuzione delle velocità secondo le direzioni, l'analisi generale statistica e i relativi elaborati grafici di supporto.

I dati sono stati mediati su 6 ore e rappresentati mediante vettori progressivi per ottenere lo spostamento della corrente. Il riferimento utilizzato per la rappresentazione dei dati è stato orientato secondo la inclinazione della costa rispetto al Nord.

Per l'acquisizione dei dati, sono stati utilizzati correntometri euleriani, Sensor Data, singol point a registrazione su eeprom per i quali sono riportate le caratteristiche tecniche (Tabella 4.2.1-2):

SENSORDATA SD-6000	
range di velocità	opzionale 1, 2, 4 o 8 m/s
Risoluzione	0.5 cm/s
Accuratezza	+/- 2°
range di temperatura	-2 a +40° C
intervallo minimo tra le misure	5 min.
capacità max memoria	6144 data set
Trasferimento dati	ottico
durata di una misura	240 s
Alimentazione	2 batterie al litio tipo AA (autonomia: 1 anno circa)
profondità max	660 m

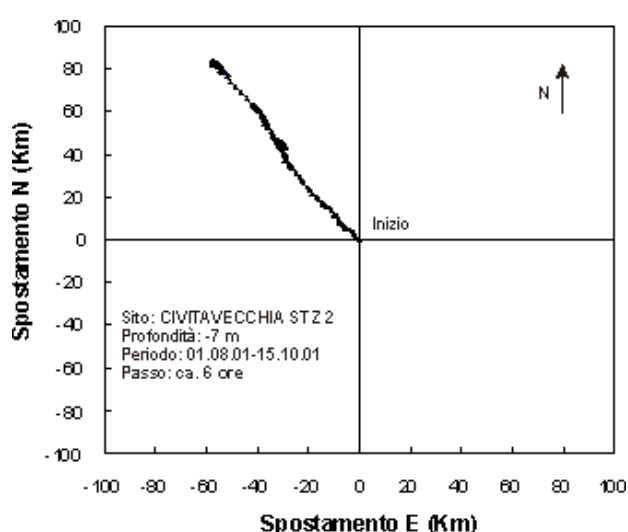
Tabella 4.2.1-2: Caratteristiche tecniche del Sensor Data SD-600

4.2.2 Risultati

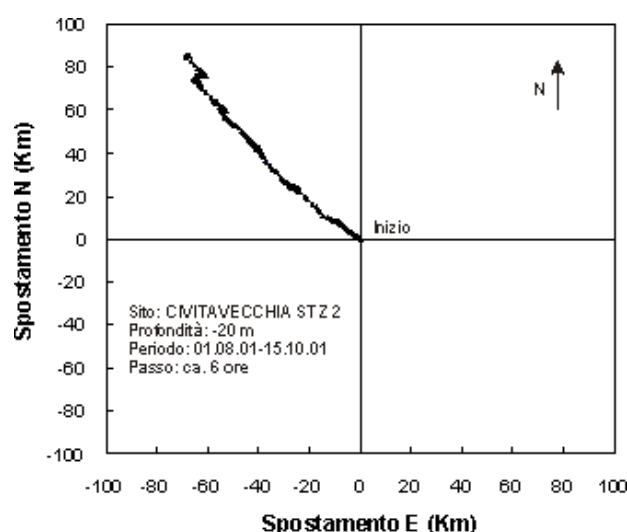
Le elaborazioni statistiche dei dati hanno permesso di ottenere classi percentuali di direzione e velocità della corrente che, oltre ad essere rappresentate in tabelle, come per le percentuali di velocità, sono state anche rappresentate attraverso la rosa di corrente.

Per ogni singolo correntometro e periodo di indagine vengono di seguito riportate:

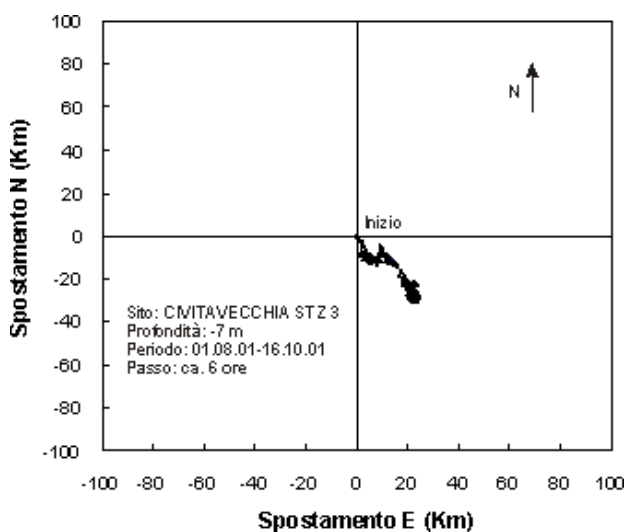
- diagramma dei vettori progressivi;



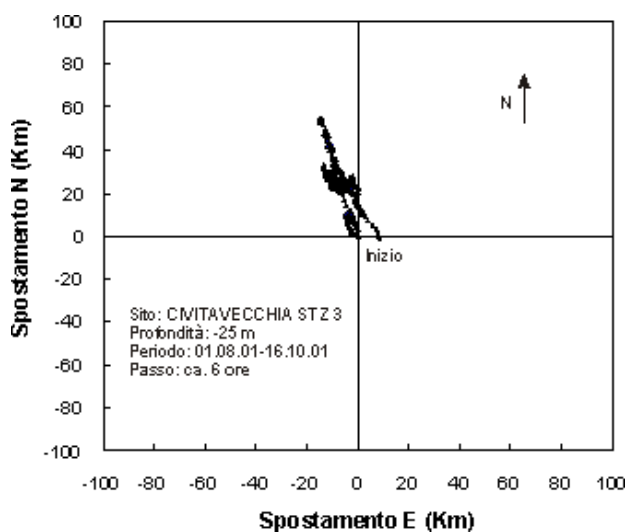
Stz2 SensorData a -7 m (Prima Restituzione)



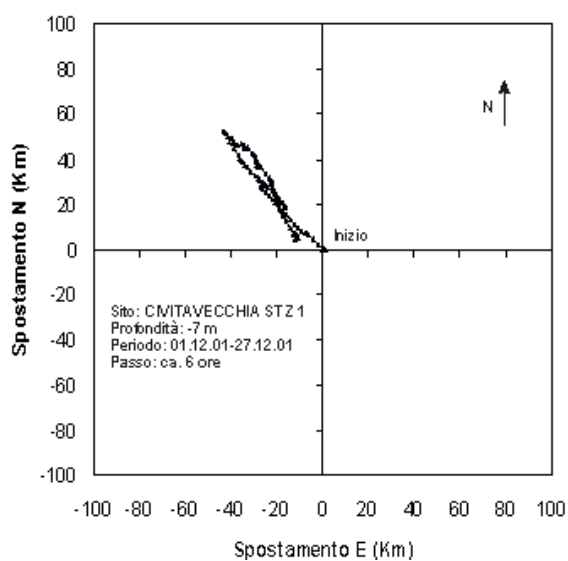
Stz 2 SensorData a -20 m (Prima Restituzione)



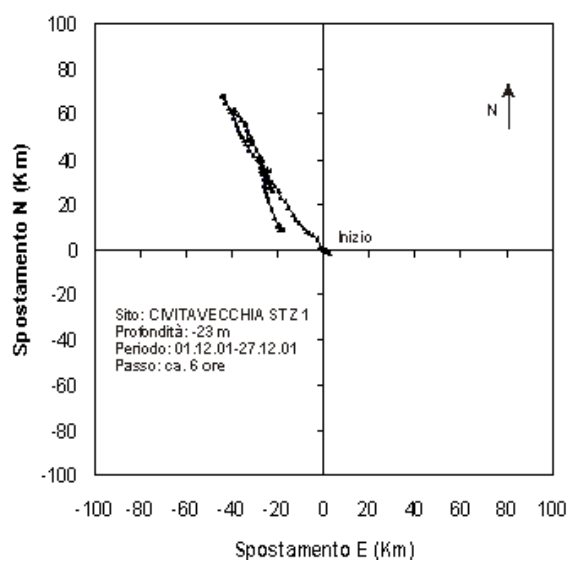
Stz 3 SensorData a -7 m (Prima Restituzione)



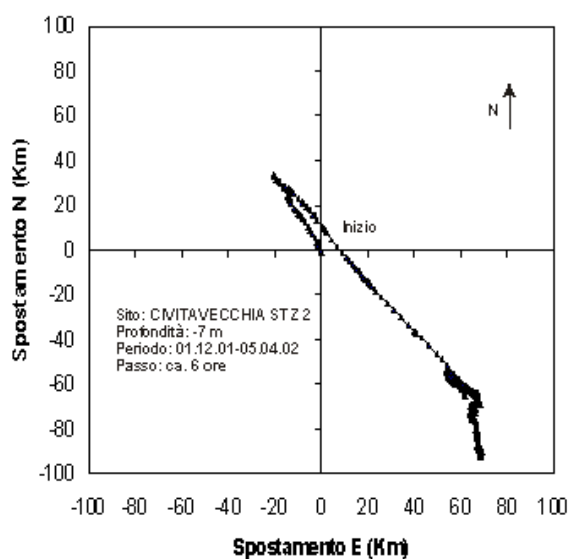
Stz 3 SensorData a -25 m (Prima Restituzione)



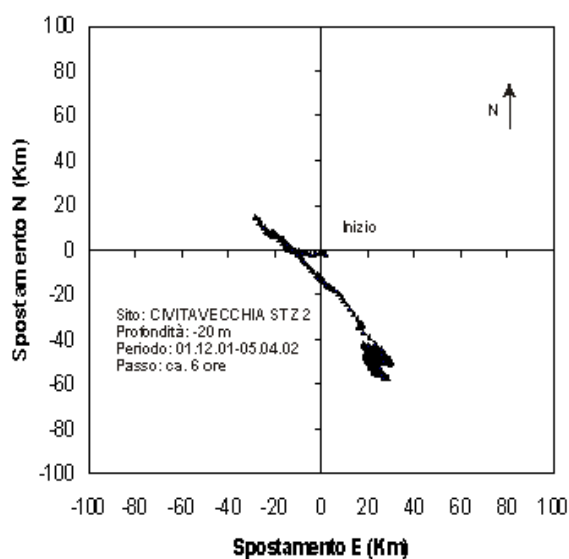
Stz 1 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)



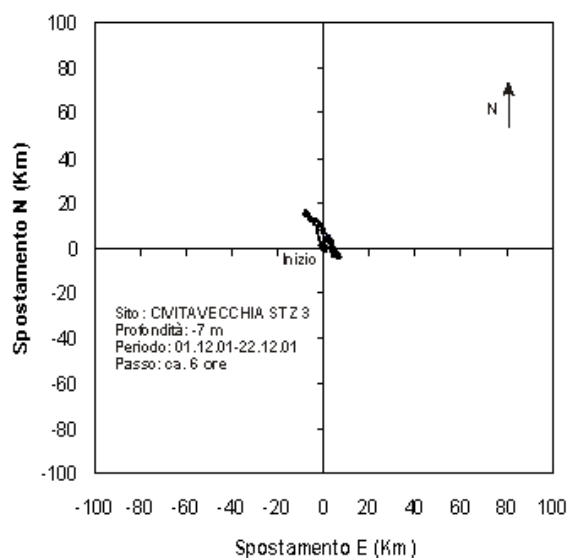
Stz 1 SensorData a -23 m (Seconda Restituzione)



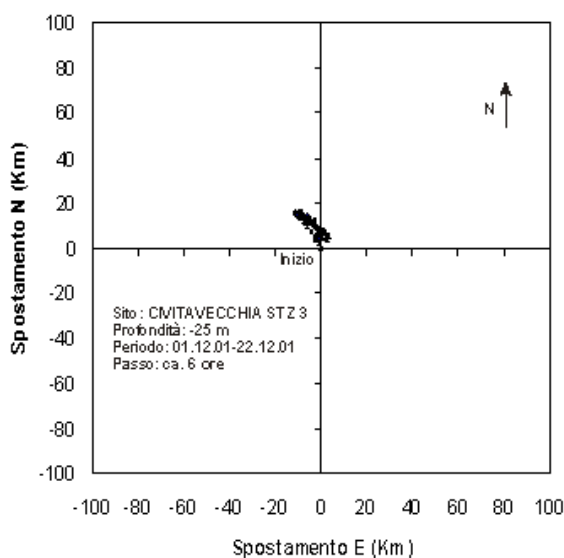
Stz 2 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)



Stz 2 SensorData a -20 m (Seconda Restituzione)

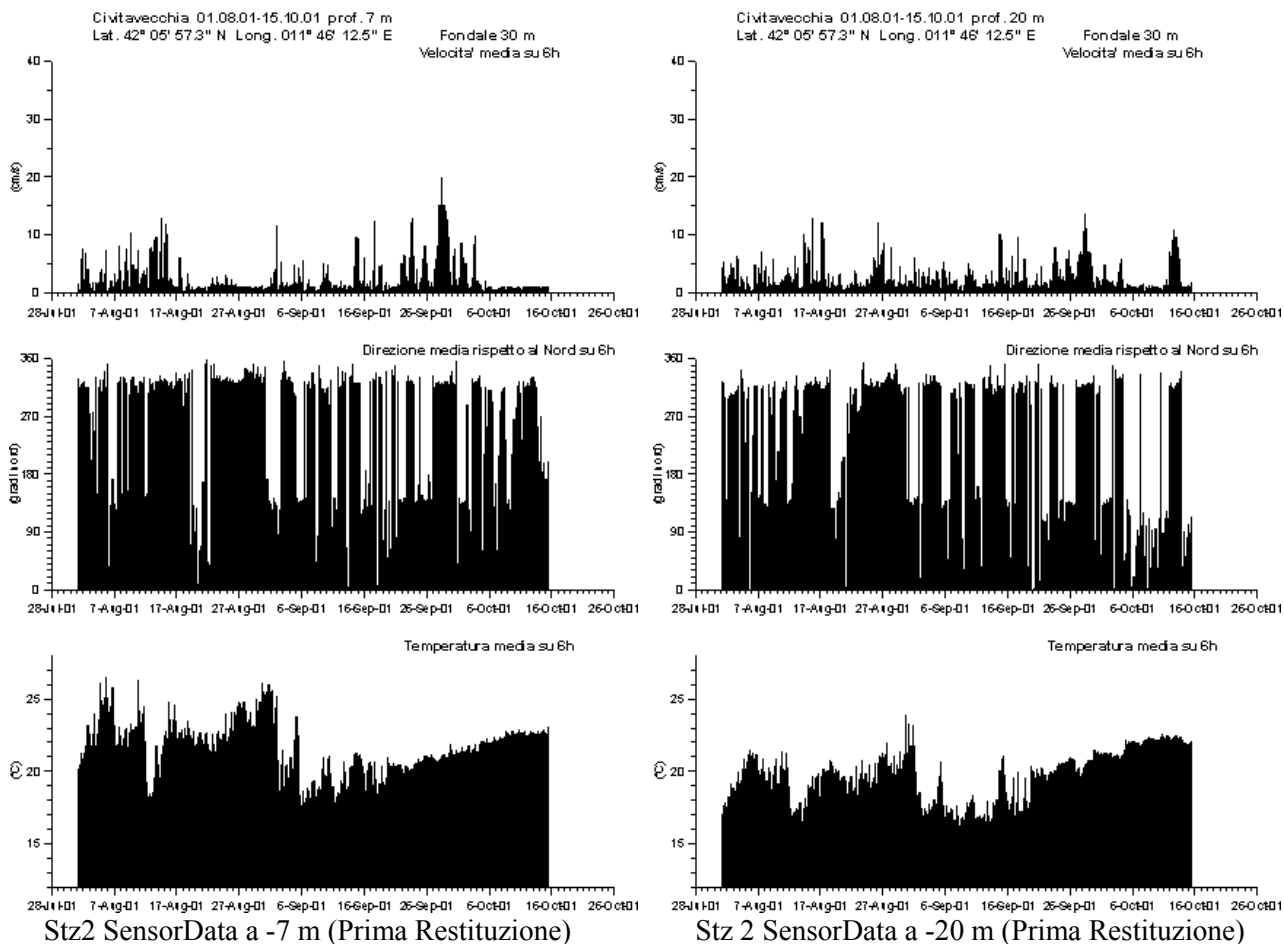


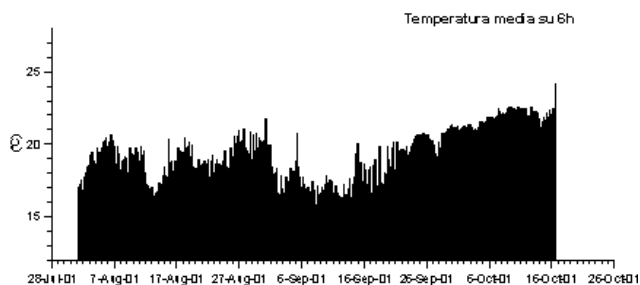
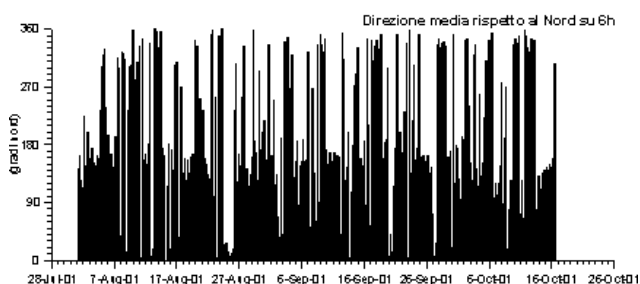
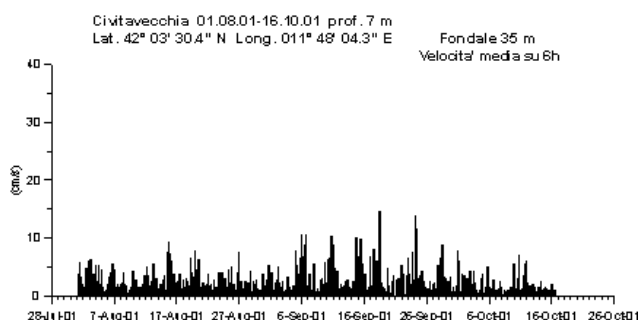
Stz 3 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)



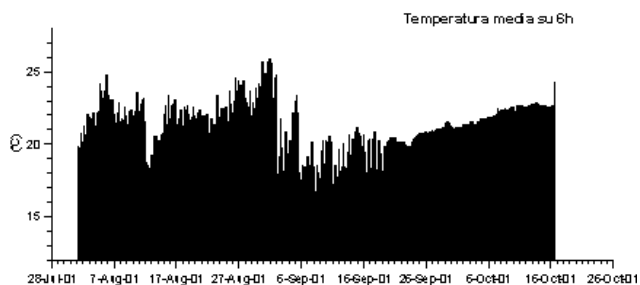
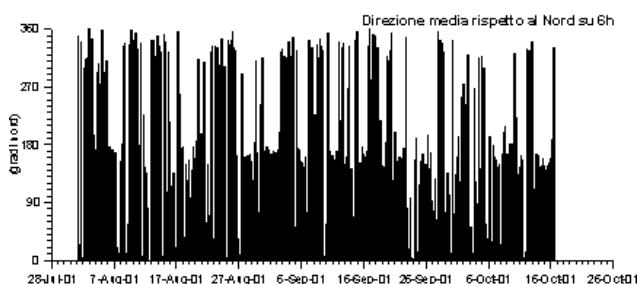
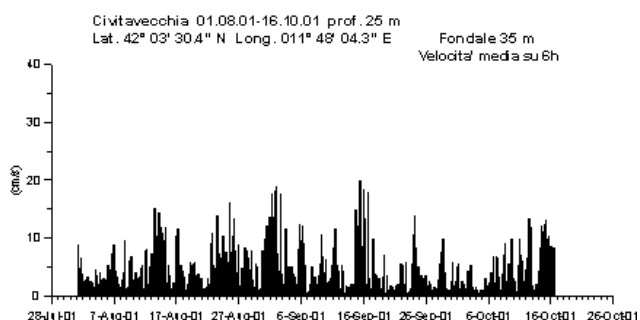
Stz 3 SensorData a -25 m (Seconda Restituzione)

- grafici dei valori medi delle velocità, direzioni e temperatura;

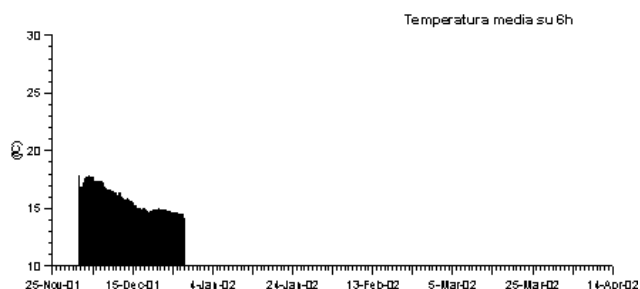
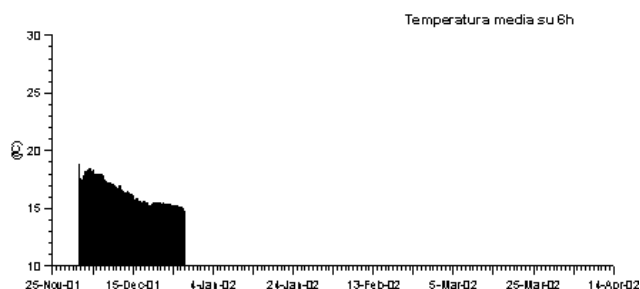
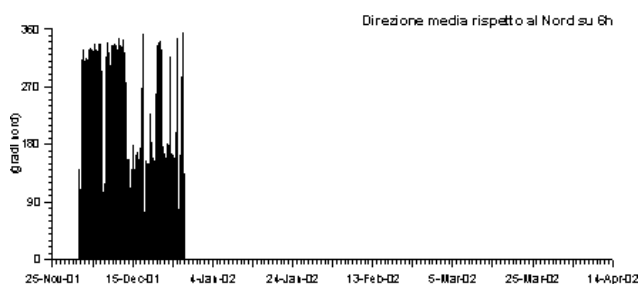
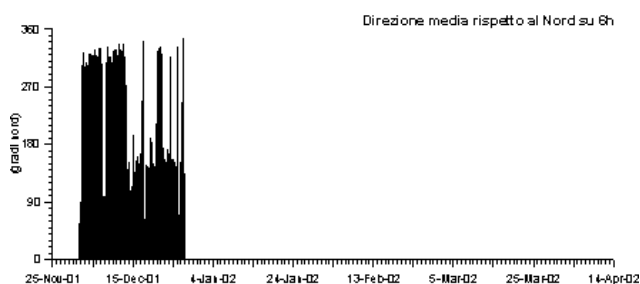
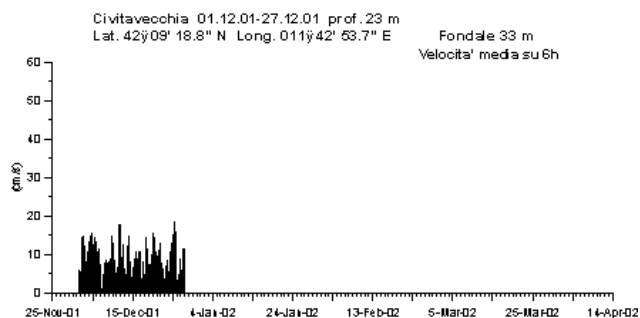
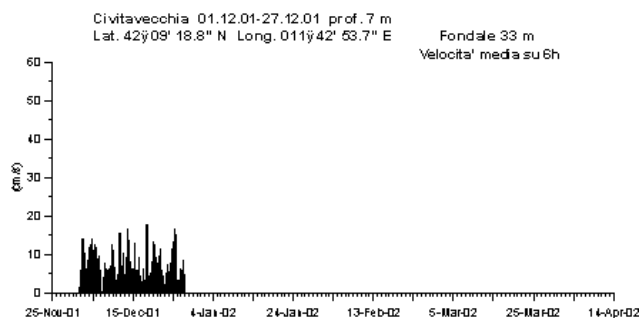




Stz 3 SensorData a -7 m (Prima Restituzione)

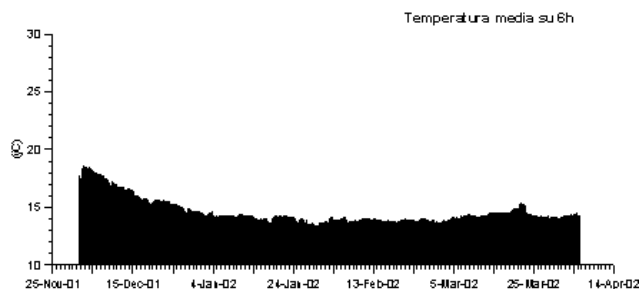
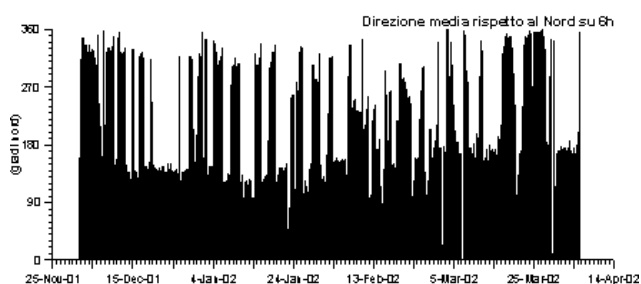
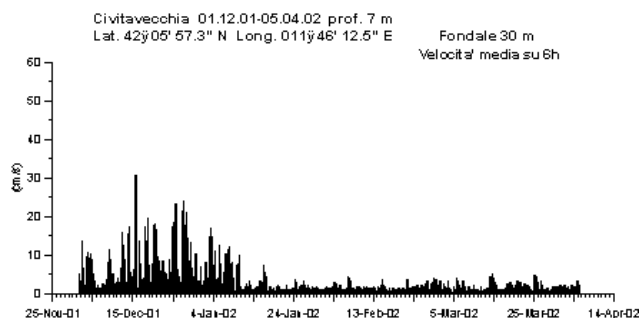


Stz 3 SensorData a -25 m (Prima Restituzione)

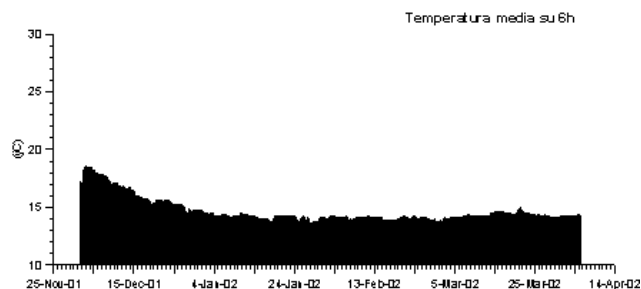
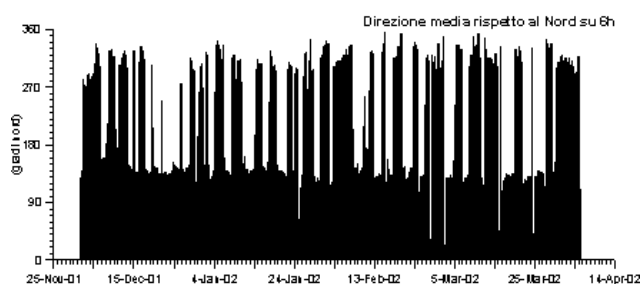
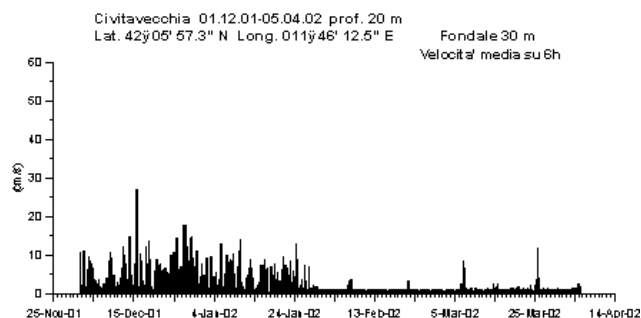


Stz 1 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)

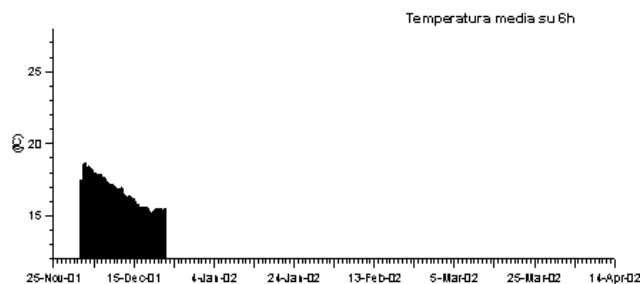
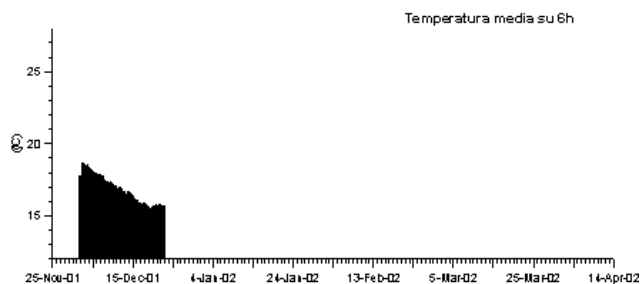
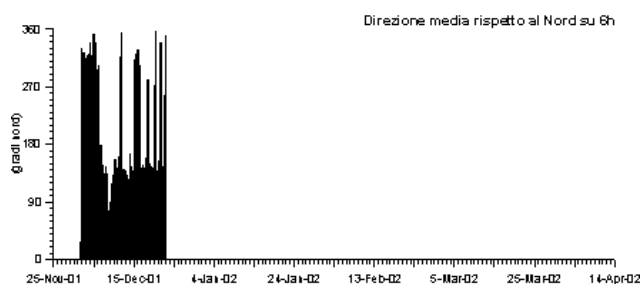
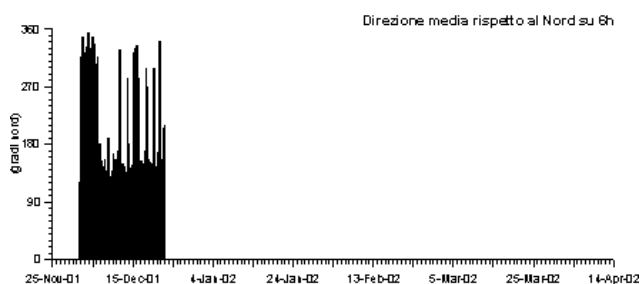
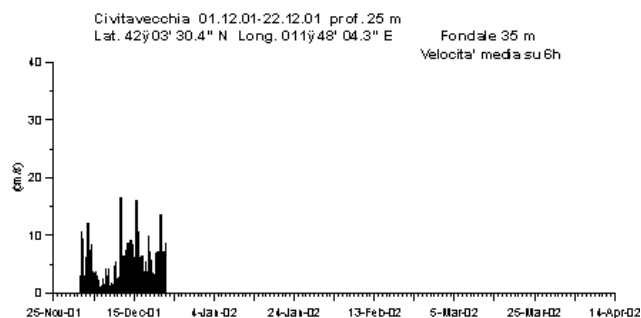
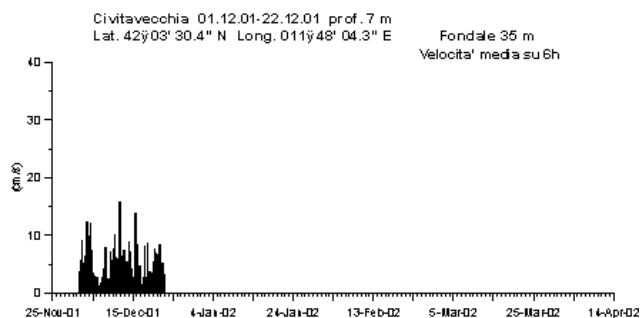
Stz 1 SensorData a -23 m (Seconda Restituzione)



Stz 2 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)



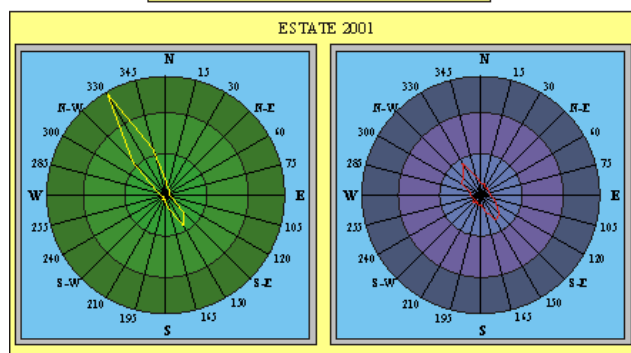
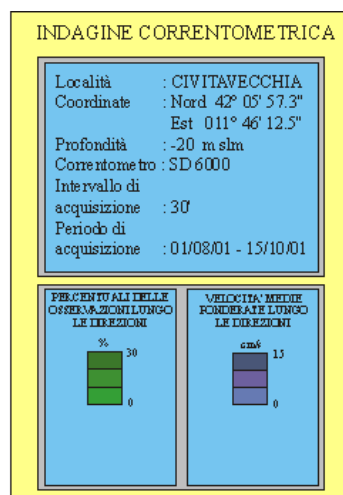
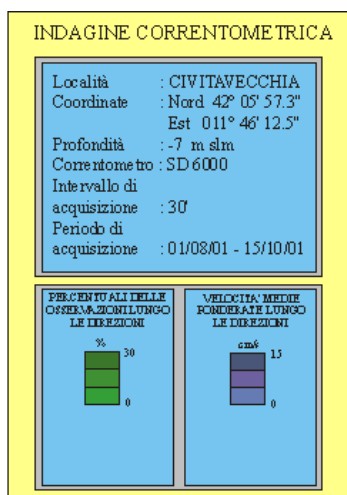
Stz 2 SensorData a -20 m (Seconda Restituzione)



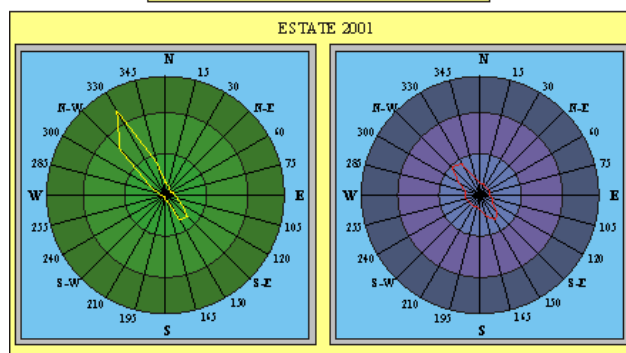
Stz 3 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)

Stz 3 SensorData a -25 m (Seconda Restituzione)

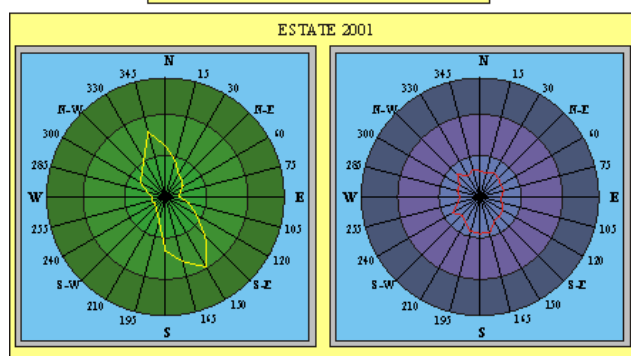
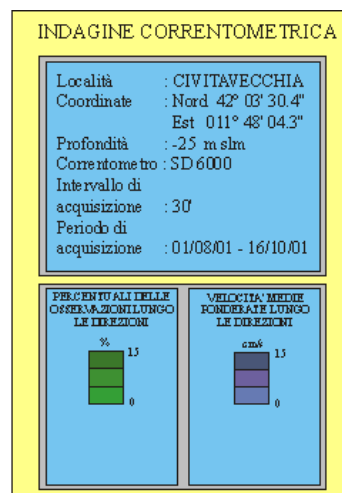
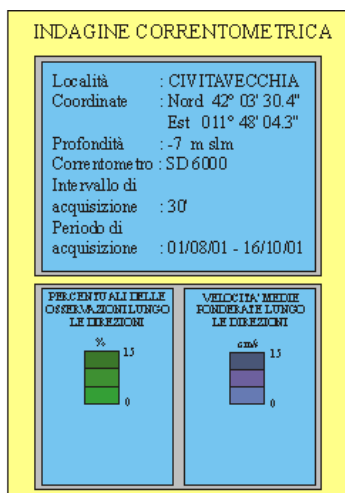
- diagramma delle percentuali delle osservazioni lungo le direzioni;



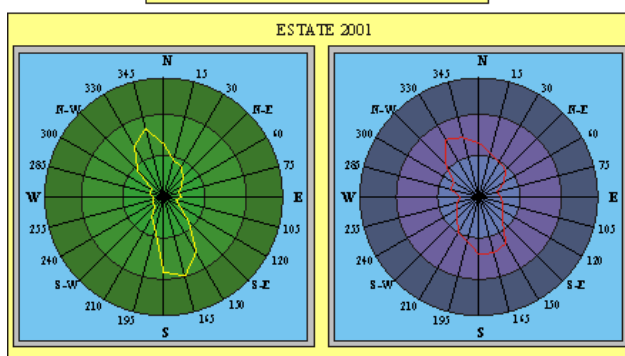
Stz2 SensorData a -7 m (Prima Restituzione)



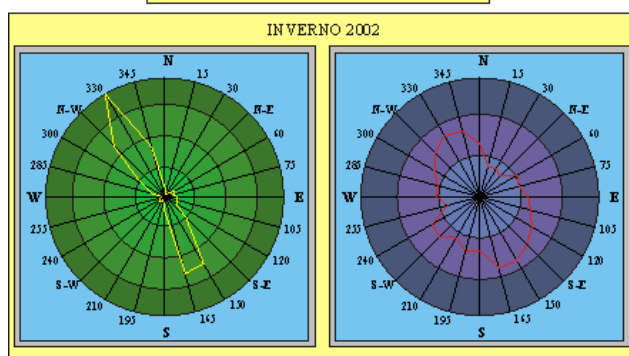
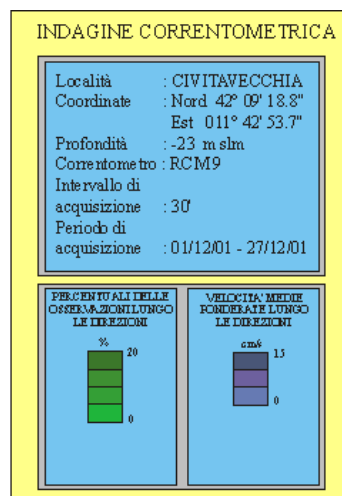
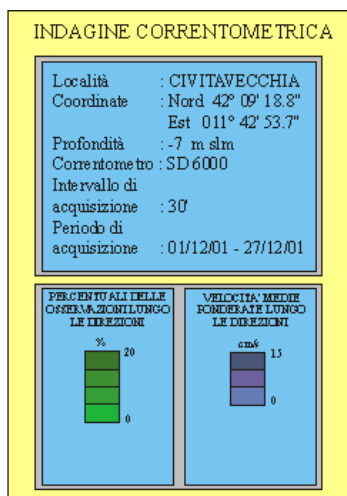
Stz 2 SensorData a -20 m (Prima Restituzione)



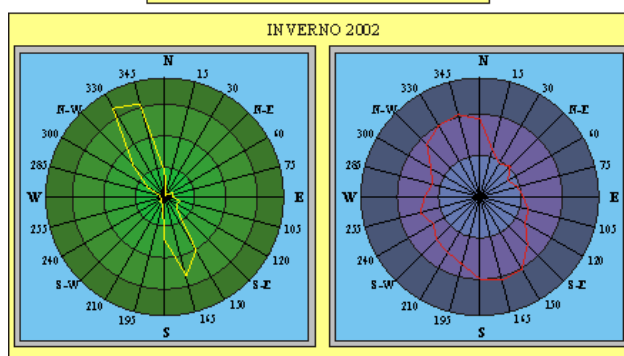
Stz 3 SensorData a -7 m (Prima Restituzione)



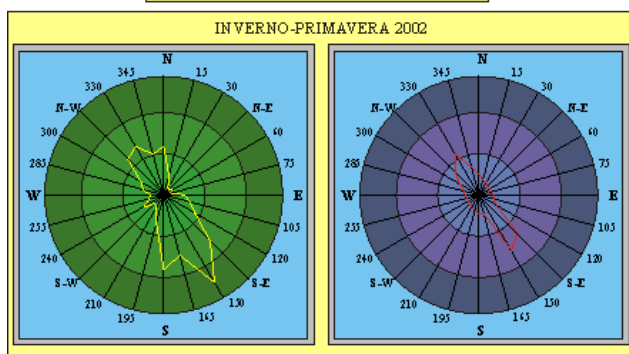
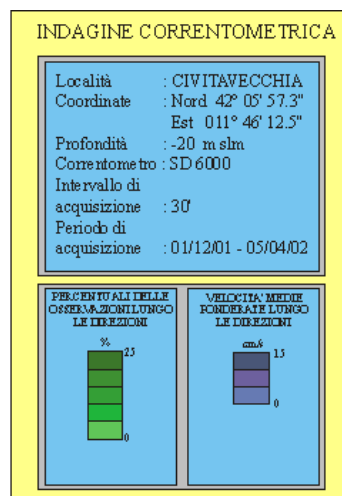
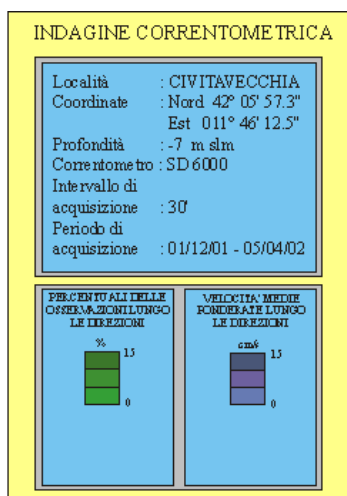
Stz 3 SensorData a -25 m (Prima Restituzione)



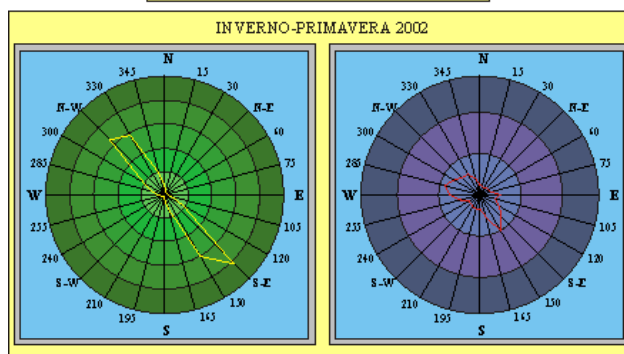
Stz 1 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)



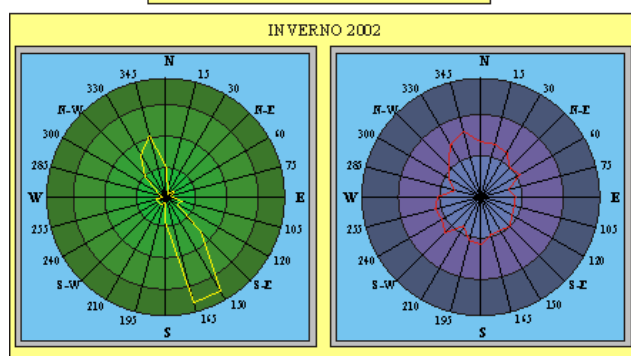
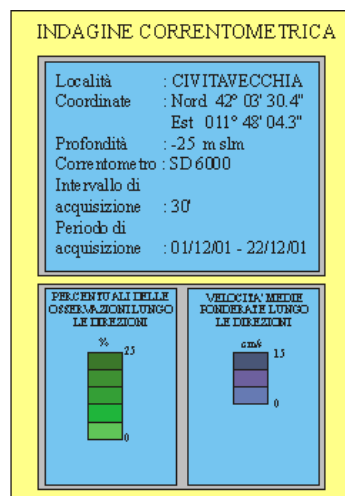
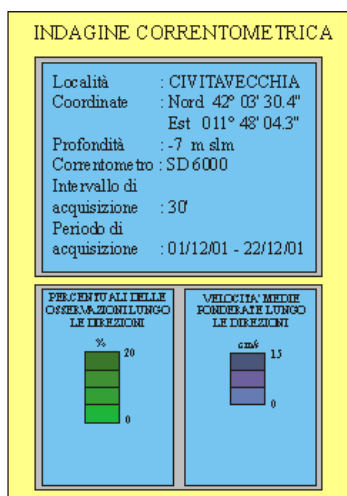
Stz 1 SensorData a -23 m (Seconda Restituzione)



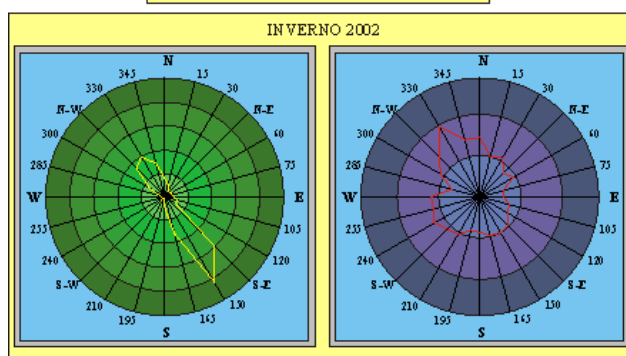
Stz 2 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)



Stz 2 SensorData a -20 m (Seconda Restituzione)

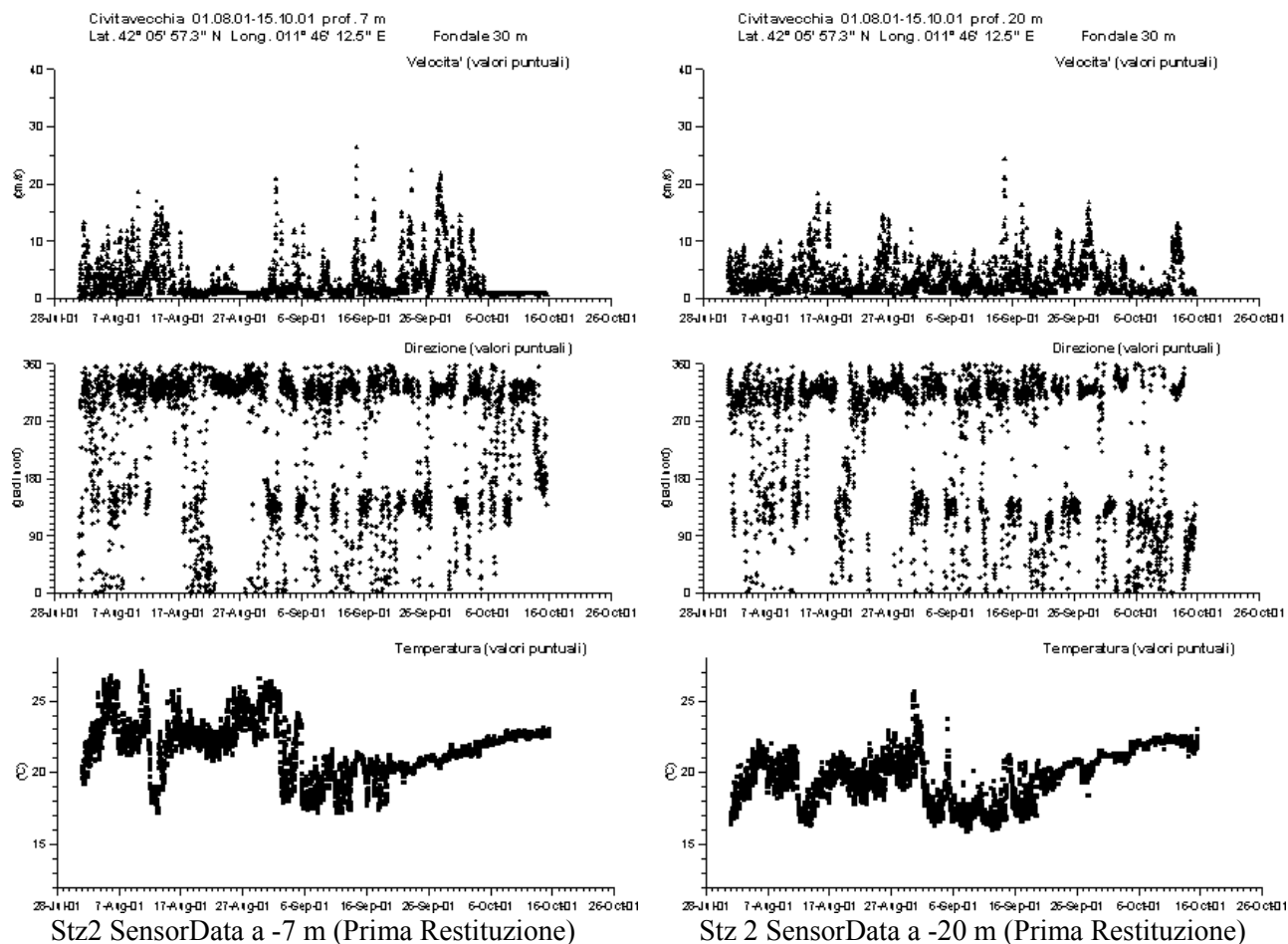


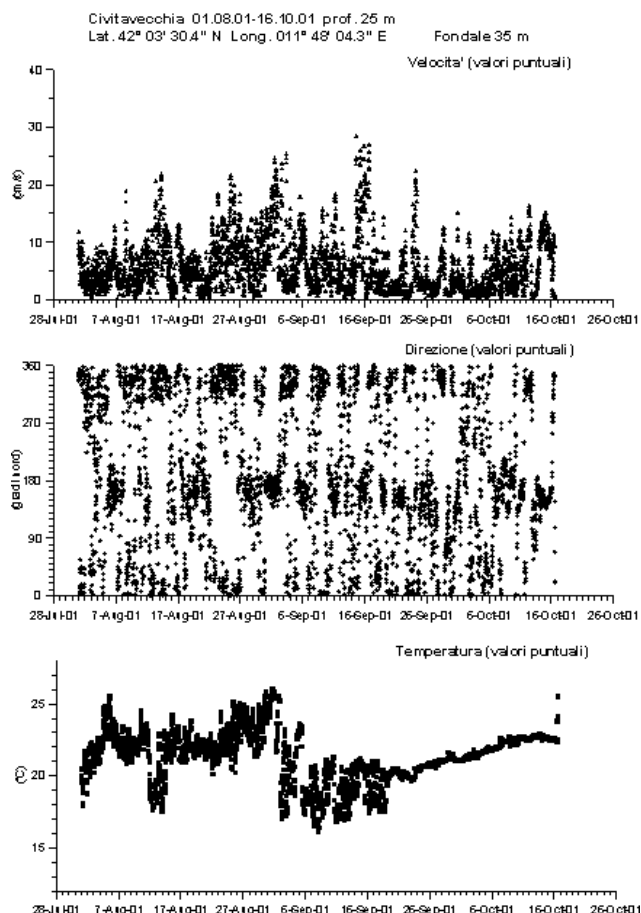
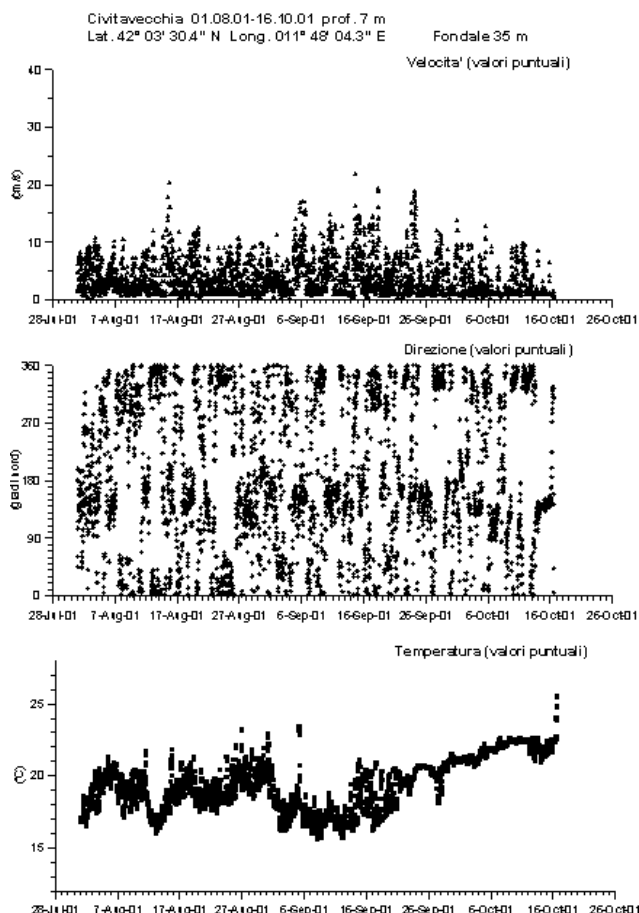
Stz 3 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)

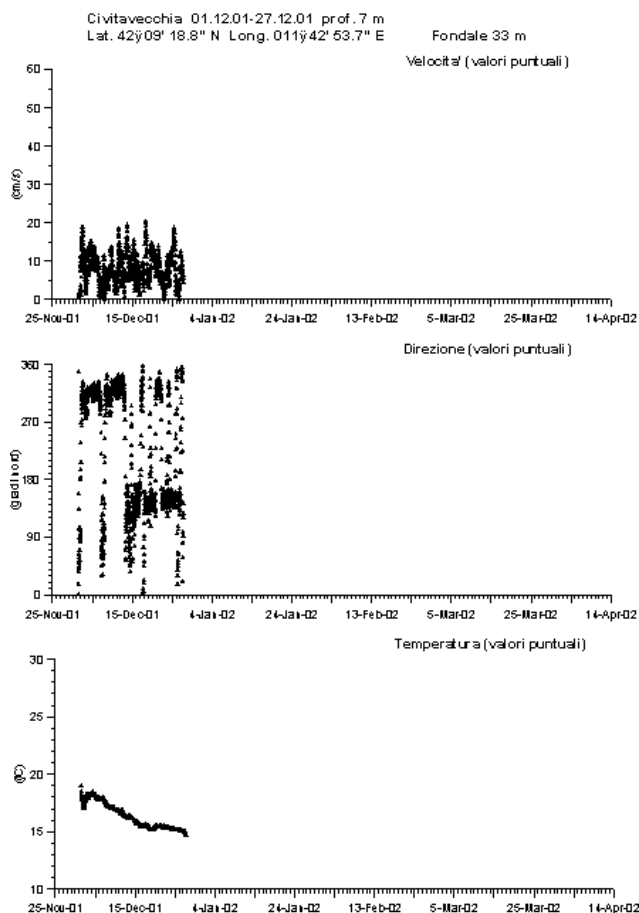


Stz 3 SensorData a -25 m (Seconda Restituzione)

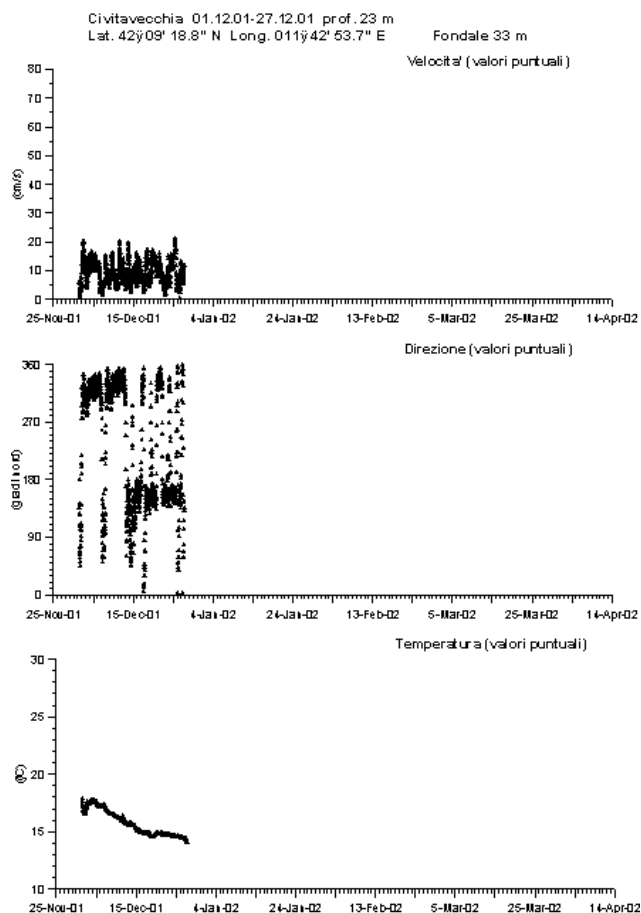
- grafici dei valori puntuali delle velocità, direzioni e temperatura;



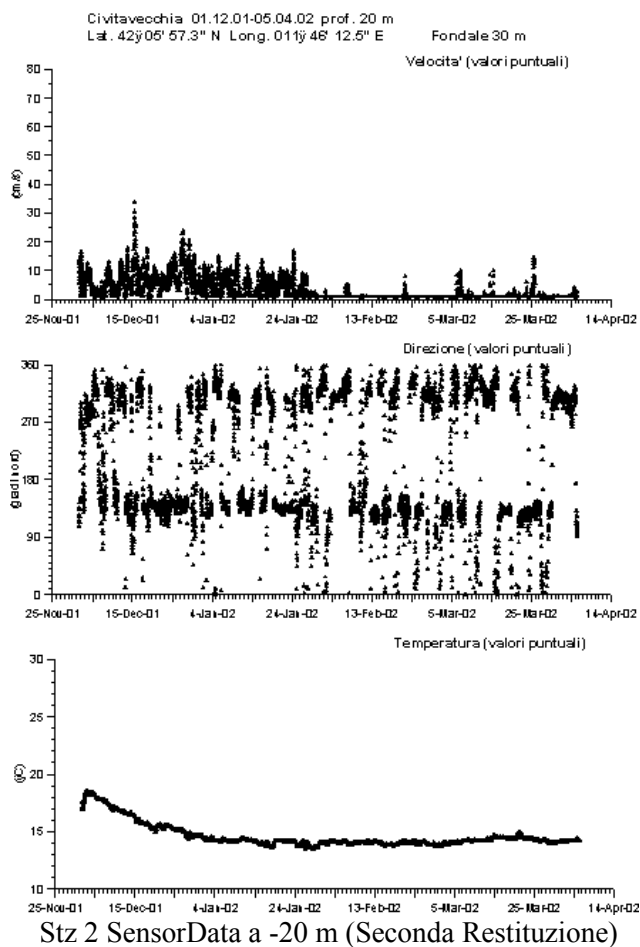
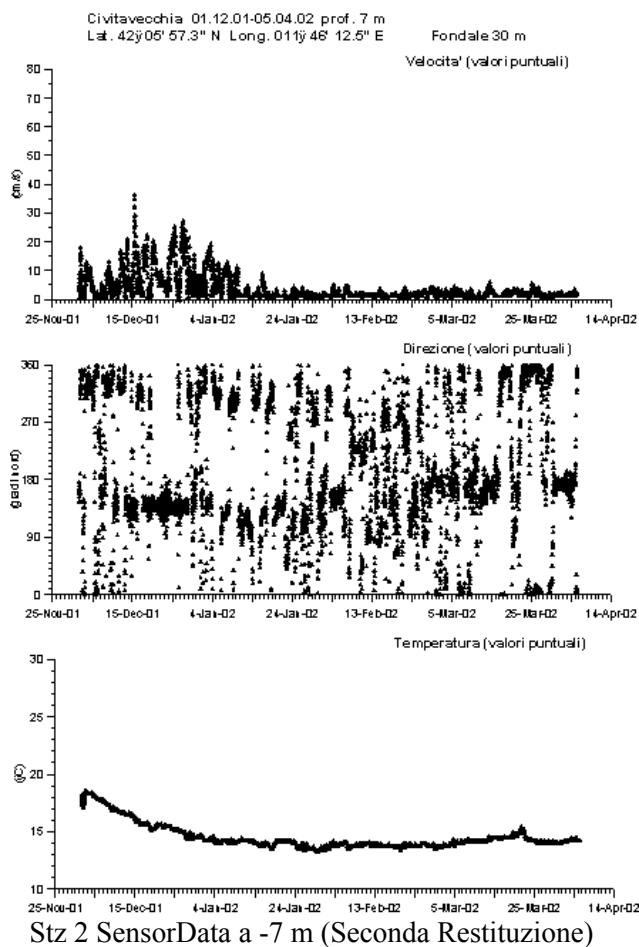


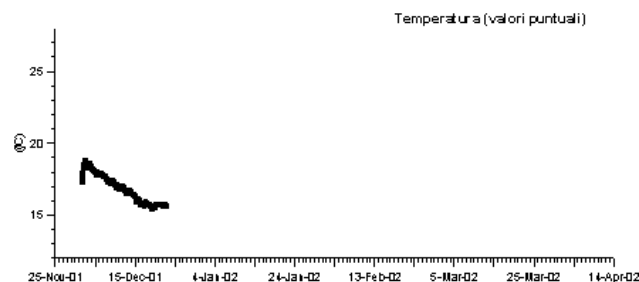
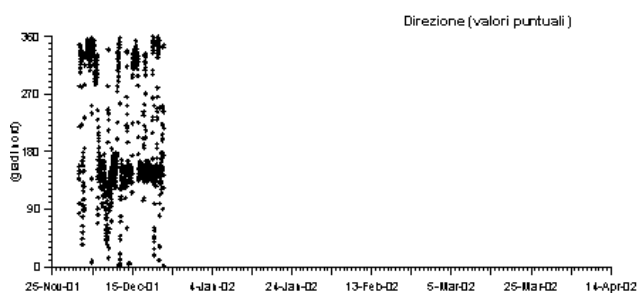
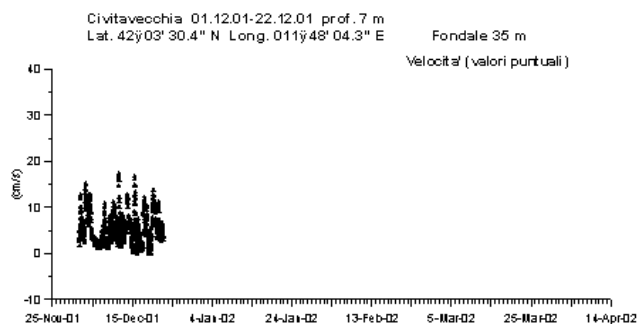


Stz 1 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)

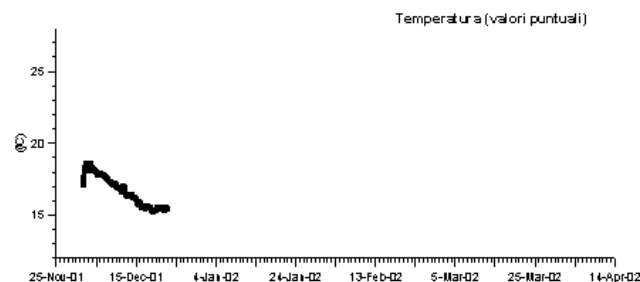
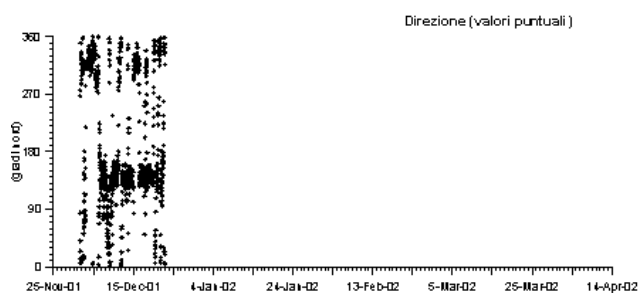
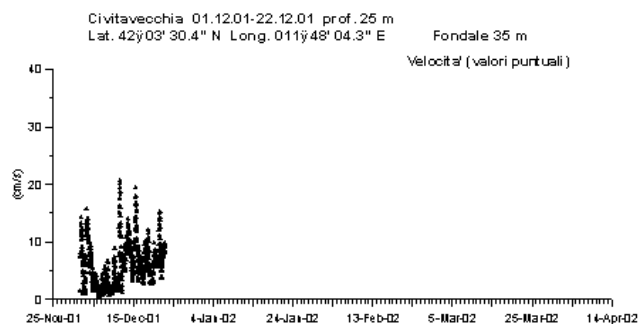


Stz 1 SensorData a -23 m (Seconda Restituzione)



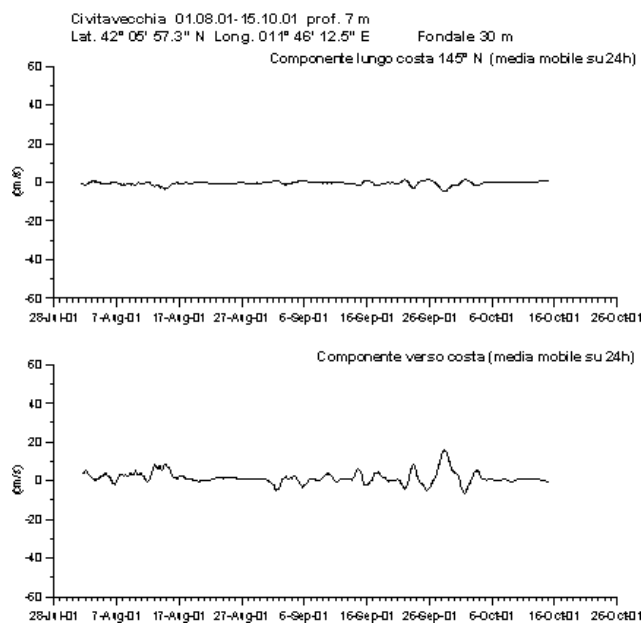


Stz 3 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)

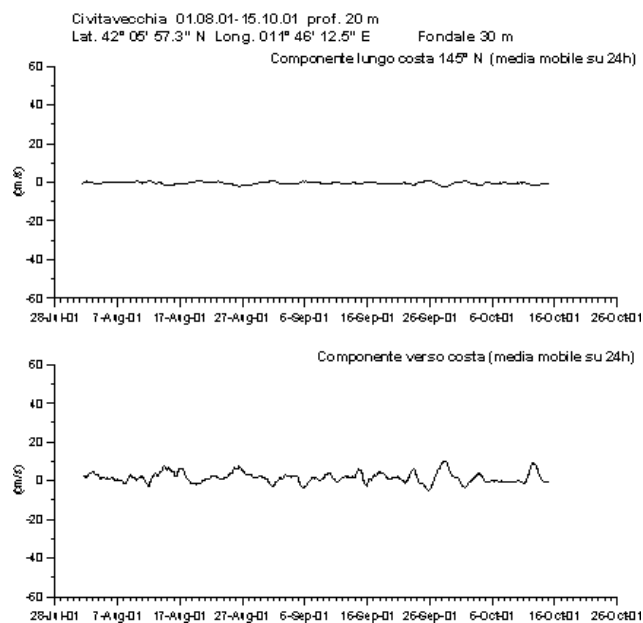


Stz 3 SensorData a -25 m (Seconda Restituzione)

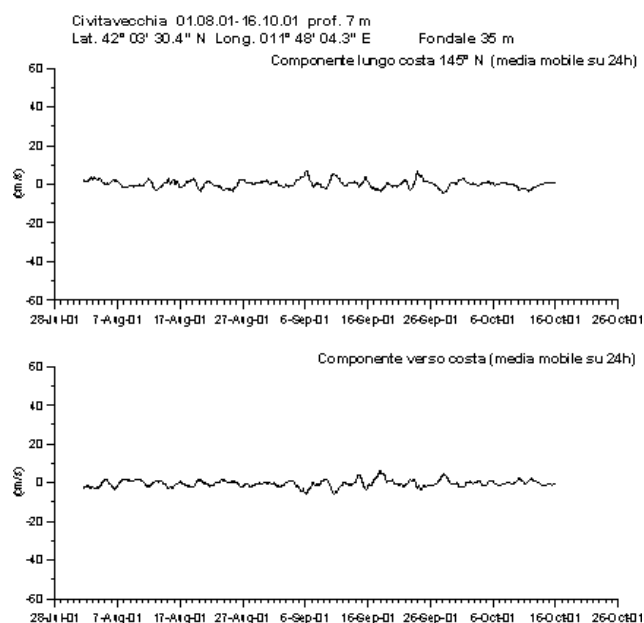
- grafici delle componenti lungo e verso costa.



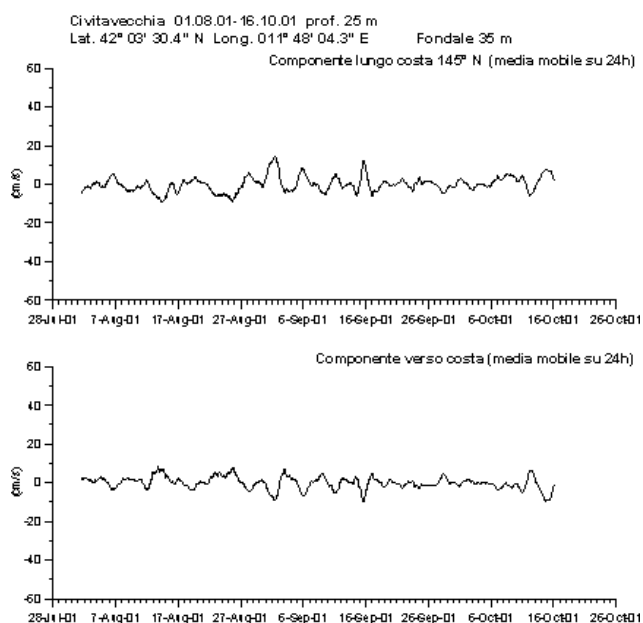
Stz2 SensorData a -7 m (Prima Restituzione)



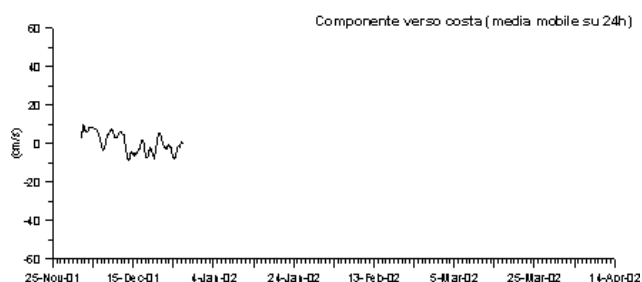
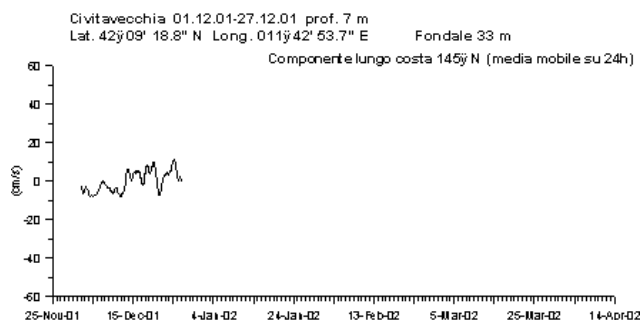
Stz 2 SensorData a -20 m (Prima Restituzione)



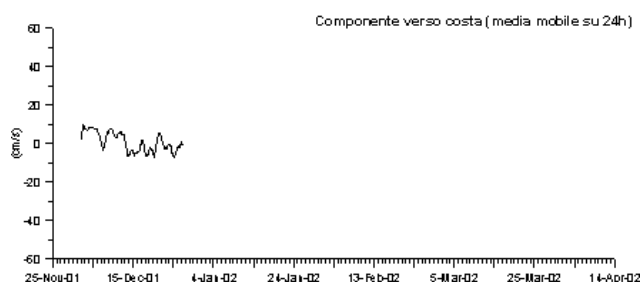
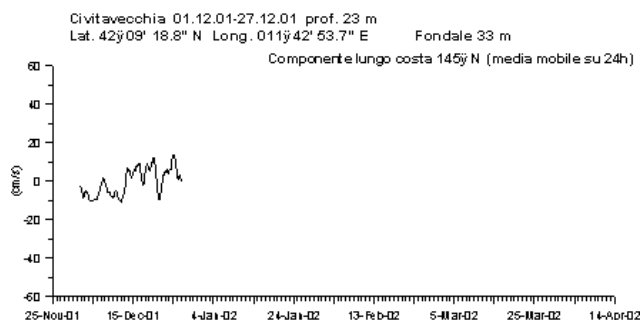
Stz 3 SensorData a -7 m (Prima Restituzione)



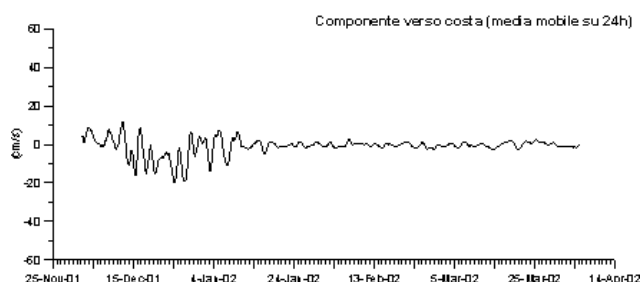
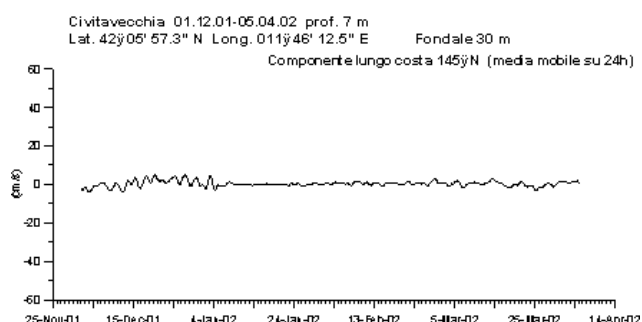
Stz 3 SensorData a -25 m (Prima Restituzione)



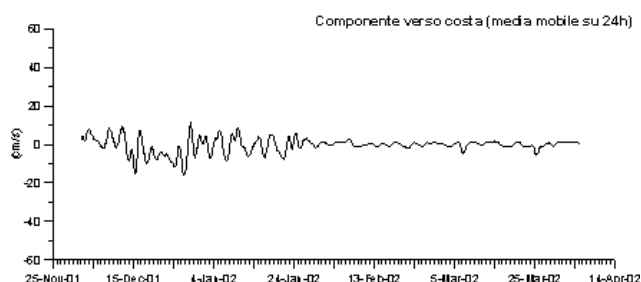
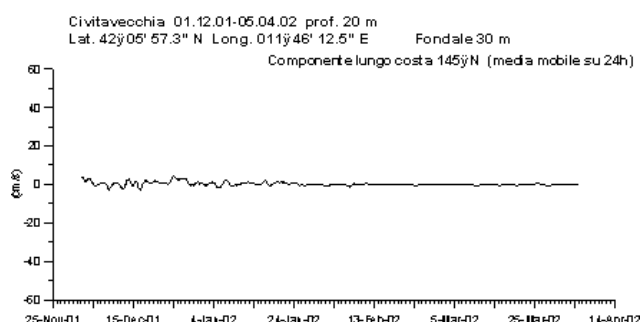
Stz 1 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)



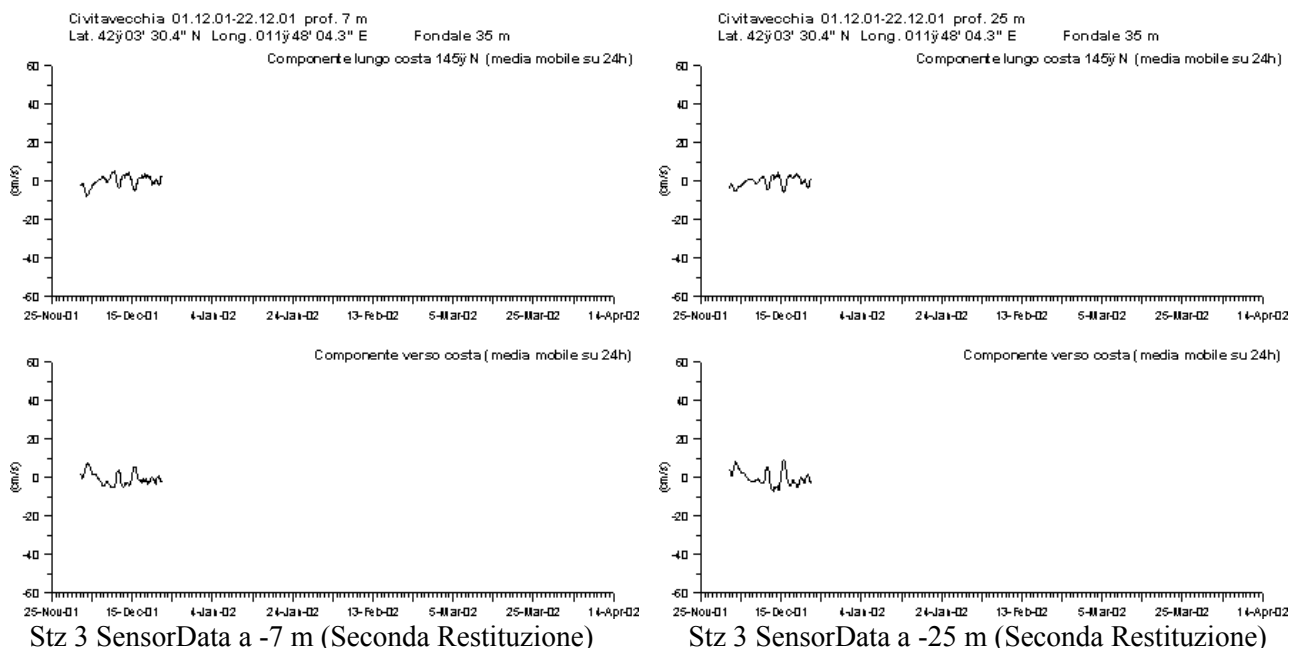
Stz 1 SensorData a -23 m (Seconda Restituzione)



Stz 2 SensorData a -7 m (Seconda Restituzione)



Stz 2 SensorData a -20 m (Seconda Restituzione)



4.3 Campagna correntometrica Tuscia

4.3.1 Materiali e metodi

L'attività di indagine correntometrica è stata effettuata, in continuo, lungo 3 transetti (paralleli alla linea di costa, rispettivamente in corrispondenza della batimetria dei 10, 20 e 30 metri) attraverso delle rotte costituite da diversi waypoints; ogni transetto è rappresentato da una spezzata costituita da due o più waypoints che seguono, nel limite del possibile, la disposizione delle isobate alle varie profondità; sono stati eseguiti anche delle acquisizioni di bianco ad imbarcazione ferma. In tabella 4.3.1-1 sono riportate le coordinate dei 3 transetti e dei relativi waypoints mentre in tabella 4.3.1-2 sono riportate le coordinate dei punti di bianco acquisiti ad imbarcazione ferma.

Transetto 10m		Transetto 20m		Transetto 30m	
x	y	x	y	x	y
11.83135	42.020933	11.803917	42.067267	11.82645	42.018867
11.826683	42.0318	11.810333	42.054333	11.8115	42.034717
11.816183	42.033717	42.05195	11.814617	11.813817	42.038267
11.815367	42.049183	42.044733	11.8138	11.807033	42.054333
11.8176	42.053033	42.0374	11.815767	11.7988	42.067917
11.814	42.053683	42.032967	11.81465		
11.816567	42.056	42.026667	11.824683		
11.81125	42.0564	42.019483	11.827083		
11.8087	42.061167				
11.8086	42.066067				

Tabella 4.3.1-1: Coordinate dei waypoints dei transetti di rilevamento correntometrico

Stazioni Fisse		
B1	11.799608	42.063822
B2	11.836797	42.013556
B3	11.808653	42.056925
B4	11.805383	42.050353
B5	11.753489	42.100239
B6	11.789597	42.074706
B7	11.746794	42.121406

Tabella 4.3.1-2: Coordinate punti fissi caratterizzazione correntometrica

La strumentazione utilizzata è costituita da un profilatore acustico doppler SonTek per la misura delle correnti sull'intera colonna d'acqua interfacciato con un GPS Lowrance LMS-525C DF per la navigazione lungo i waypoints stabiliti (Fig. 4.3.1-1).



Figura 4.3.1-1: Profilatore SonTek e GPS Lowrance utilizzati nella campagna correntometrica

L'ADP SonTek è munito di tre trasduttori montati sul sistema; ognuno dei trasduttori ha un diverso orientamento in modo da generare un impulso sonoro stretto che si proietta lungo tutta la colonna d'acqua. L'orientamento geometrico di ogni trasduttore permette all'ADP di calcolare la velocità in un sistema cartesiano XYZ relativo alla posizione ed all'orientamento dello strumento stesso. L'ADP SonTek è inoltre munito di appositi sensori interni che effettuano la correzione delle velocità dell'acqua in funzione del pitch&roll, fornendo in output i valori calcolati relativamente alle coordinate della terra (East-North-Up o ENU) indipendenti dall'orientamento dello strumento.

Nel caso del presente lavoro è stato utilizzato il sistema di riferimento ENU con relativa correzione delle variazioni di orientamento dovute al pitch&roll.

Gli impulsi generati dai tre trasduttori sono divisi in celle discrete delle quali è possibile stabilire la lunghezza; l'ADP registra, per ogni cella, i valori delle tre componenti spaziali della velocità e la relativa deviazione standard ed i valori di intensità del segnale per ognuno dei tre trasduttori (Fig. 4.3.1-2).

Nel caso di acquisizioni in continuo i valori di velocità relativi all'ADP sono di fatto la somma della velocità dell'ADP rispetto al fondo e della velocità della corrente d'acqua che scorre sopra il fondo; la velocità della corrente lungo la colonna d'acqua è dunque ottenuta sottraendo la velocità dell'ADP rispetto al fondo; tale procedimento viene effettuato automaticamente dal sistema SonTek attraverso due metodi:

- Bottom-Track: la velocità dell'imbarcazione viene sottratta alla velocità totale misurata prendendo come riferimento assoluto lo spostamento rispetto al fondo dell'ADP.
- GPS: la velocità dell'imbarcazione calcolata tramite sistema GPS viene sottratta alla velocità totale acquisita.

Nel caso del presente lavoro sono stati effettuati profili utilizzando il metodo del Bottom-Track.

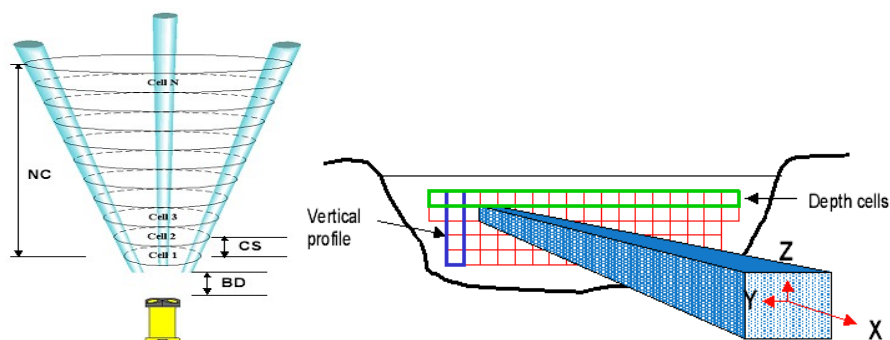


Figura 4.3.1-2: Parametri necessari all'impostazione del profilatore (sinistra) e esempio di profilo costituito da celle

Acoustic Frequency	Blanking Distance	Cells Size	Number of Cells
3.0 MHz	Range 0.2 - 2.0 m Default 0.2 m	Range 0.15 - 2.0 m Default 0.5 m	Range 1 - 100 Default 12
1.5 MHz	Range 0.4 - 4.0 m Default 0.4 m	Range 0.25 - 4.0 m Default 1.0 m	Range 1 - 100 Default 20
1.0 MHz	Range 0.5 - 6.0 m Default 0.5 m	Range 0.4 - 5.0 m Default 1.0 m	Range 1 - 100 Default 25
500 kHz	Range 1.0 - 12.0 m Default 1.0 m	Range 1.0 - 12.0 m Default 4.0 m	Range 1 - 100 Default 30
250 kHz	Range 1.5 - 20.0 m Default 1.5 m	Range 1.0 - 20.0 m Default 4.0 m	Range 1 - 100 Default 30

Tabella 4.3.1-3: Variabili di default del profilatore

4.3.2 Risultati

I dati acquisiti tramite ADCP, confrontati con le misure di calibrazione effettuate ad imbarcazione ferma, sono stati successivamente elaborati attraverso il software SonTek ViewADP. Di seguito vengono riportate le rappresentazioni grafiche dei dati correntometrici misurati lungo i 3 transetti precedentemente citati. Per ogni traiettoria è stato rappresentato l'andamento della velocità lungo 3 profili indicativi (un profilo all'inizio, uno a metà ed uno alla fine del transetto) e la relativa rappresentazione tridimensionale delle direzioni della corrente in funzione della profondità.

I dati sono stati filtrati attraverso l'analisi dell'intensità del segnale dell'ADP in funzione della dissipazione del suono rispetto alla profondità.

L'ADP, infatti, misura la velocità dell'acqua sfruttando il principio fisico detto "Effetto Doppler" basandosi su tre assunti principali:

- Quando una sorgente è in moto rispetto ad un ricevente, la frequenza del suono che arriva al ricevente è spostata rispetto alla frequenza di trasmissione.
- Il particellato sospeso in acqua riflette il suono e permette all'ADP di rilevare l'effetto

doppler.

- Il cambiamento della frequenza è proporzionale alla velocità dell'acqua.

Il cambio della frequenza è dato dalla relazione:

$$F_{doppler} = -2F_{source} \frac{V}{C}$$

con:

$F_{doppler}$ = cambio della frequenza ricevuta (shift della frequenza);

F_{source} = frequenza del suono trasmesso;

V = velocità relativa del particolato sospeso;

C = velocità del suono.

La velocità V rappresenta la velocità relativa tra la sorgente e i ricevitori.

Tutti i sistemi Doppler sono soggetti ad un rumore di fondo nella misura; il rumore Doppler può quindi essere utilizzato per filtrare i dati utilizzabili quando l'intensità del segnale acustico si mantiene al di sopra di un valore soglia (nel presente caso pari a 3 dB) in grado di permettere di discriminare tra l'intensità del segnale stesso ed il rumore Doppler che genera errore.

Per quanto riguarda l'intensità del segnale, si può dire che:

- l'intensità del segnale decresce con il range a causa della diffusione e dell'assorbimento;
- l'intensità del segnale è letta come ampiezza del segnale grezzo (utilizzando un'unità interna detta "count" dove 1 count = 0.43dB) o come segnale di rumore (SNR in dB);
- il massimo range del profilo è determinato dal range al quale l'intensità del segnale si avvicina al livello di rumore o al range nel quale la pulsazione impatta una barriera (il fondo);
- il massimo range del profilo dell'ADP (senza presenza di boundary o barriere) è funzione della frequenza acustica e della intensità dello scattering che ritorna dall'acqua.

L'utilizzo principale del dato di intensità di segnale è quindi la determinazione del range entro il quale lo strumento può misurare la velocità con un'accuratezza accettabile.

Nel caso del presente lavoro per ogni transetto di misura correntometrica il dato è stato filtrato tenendo conto del valore in dB del Signal Noise Ratio (SNR).

Di seguito vengono presentati i dati trattati attraverso smoothing con bandwidth pari a 5 e

corretti in funzione del livello di SNR:

Transetto 10m

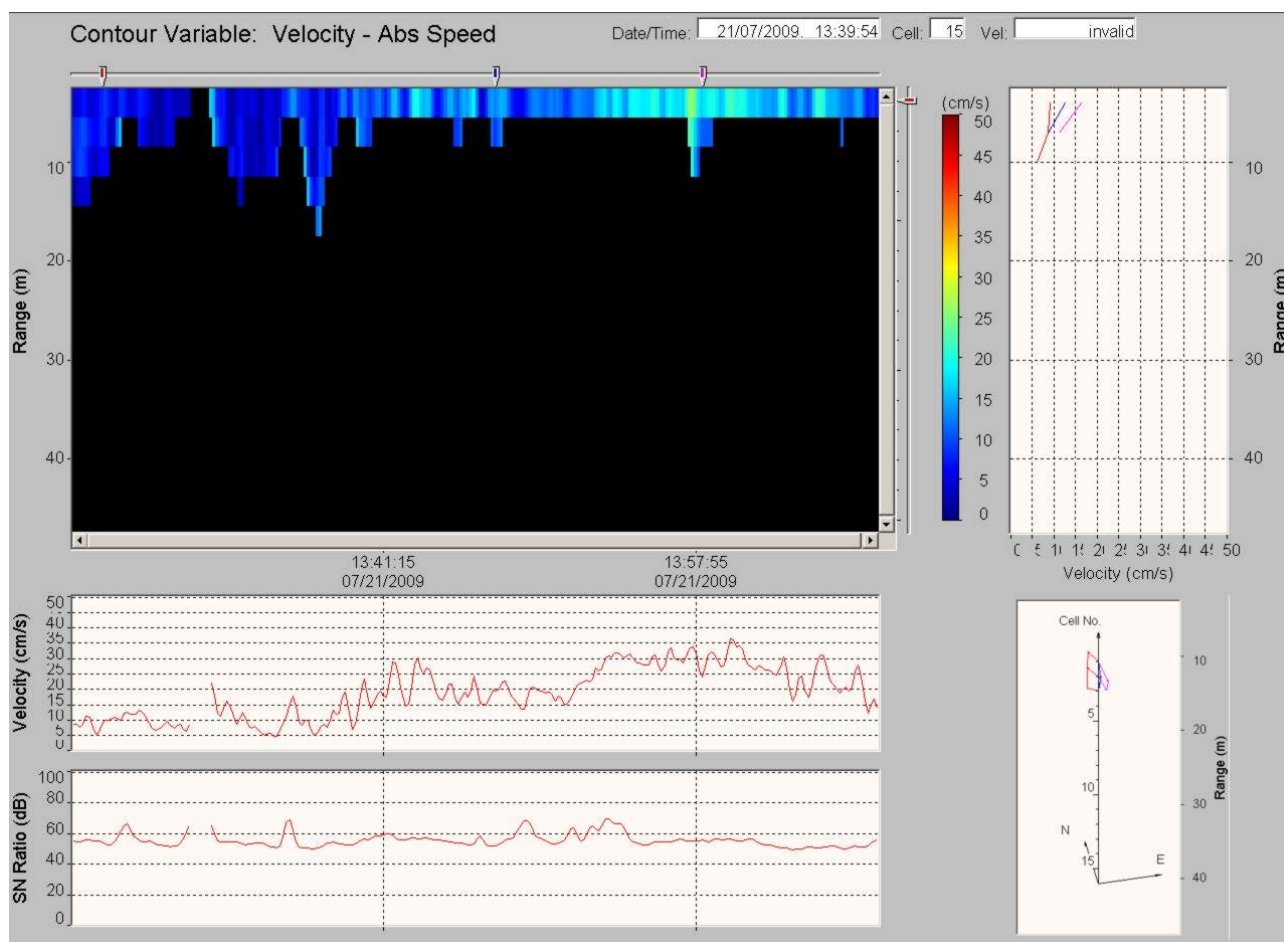


Figura 4.3.2-1: Profilo di velocità relativo al transetto 10m (da Capo Linaro al Porto Riva di Traiano)

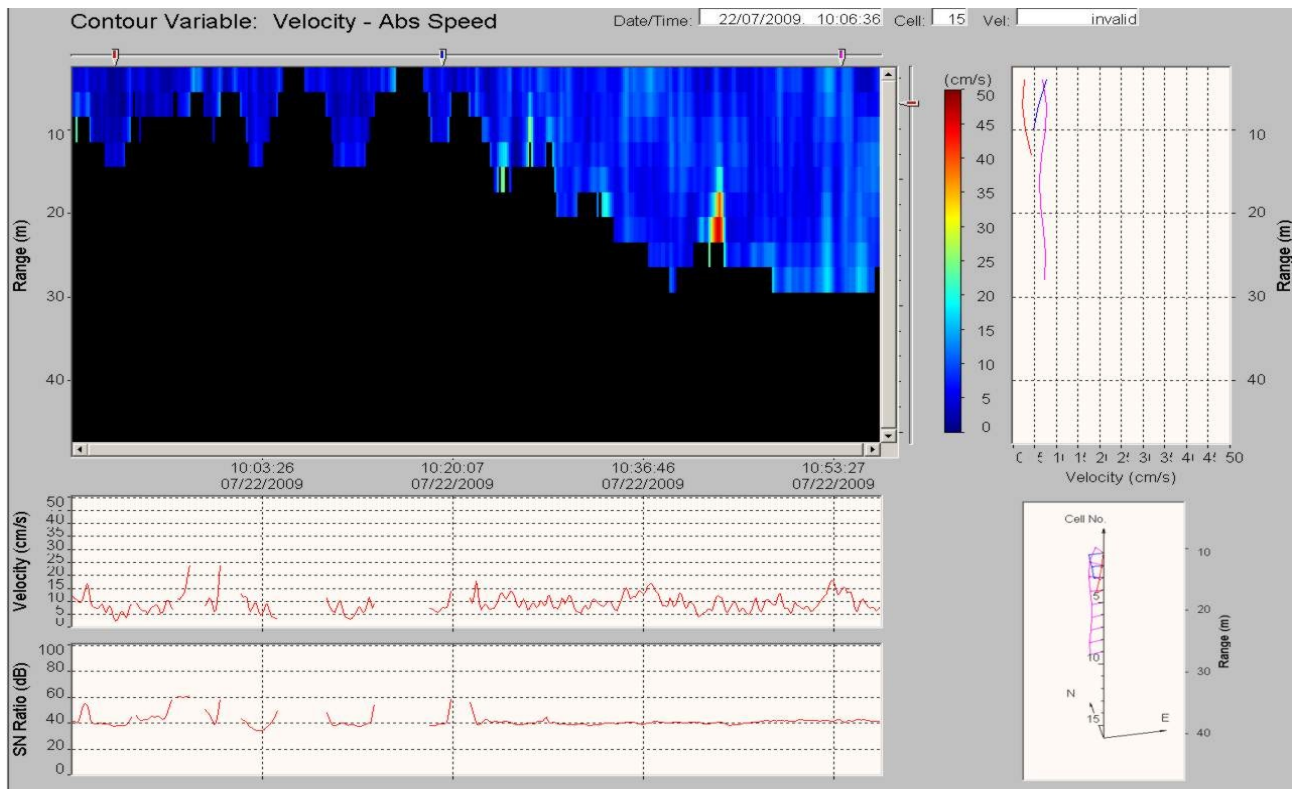


Figura 4.3.2-2: Profilo di velocità relativo al transetto 10m (dal Porto Riva di Traiano al porto di Civitavecchia)

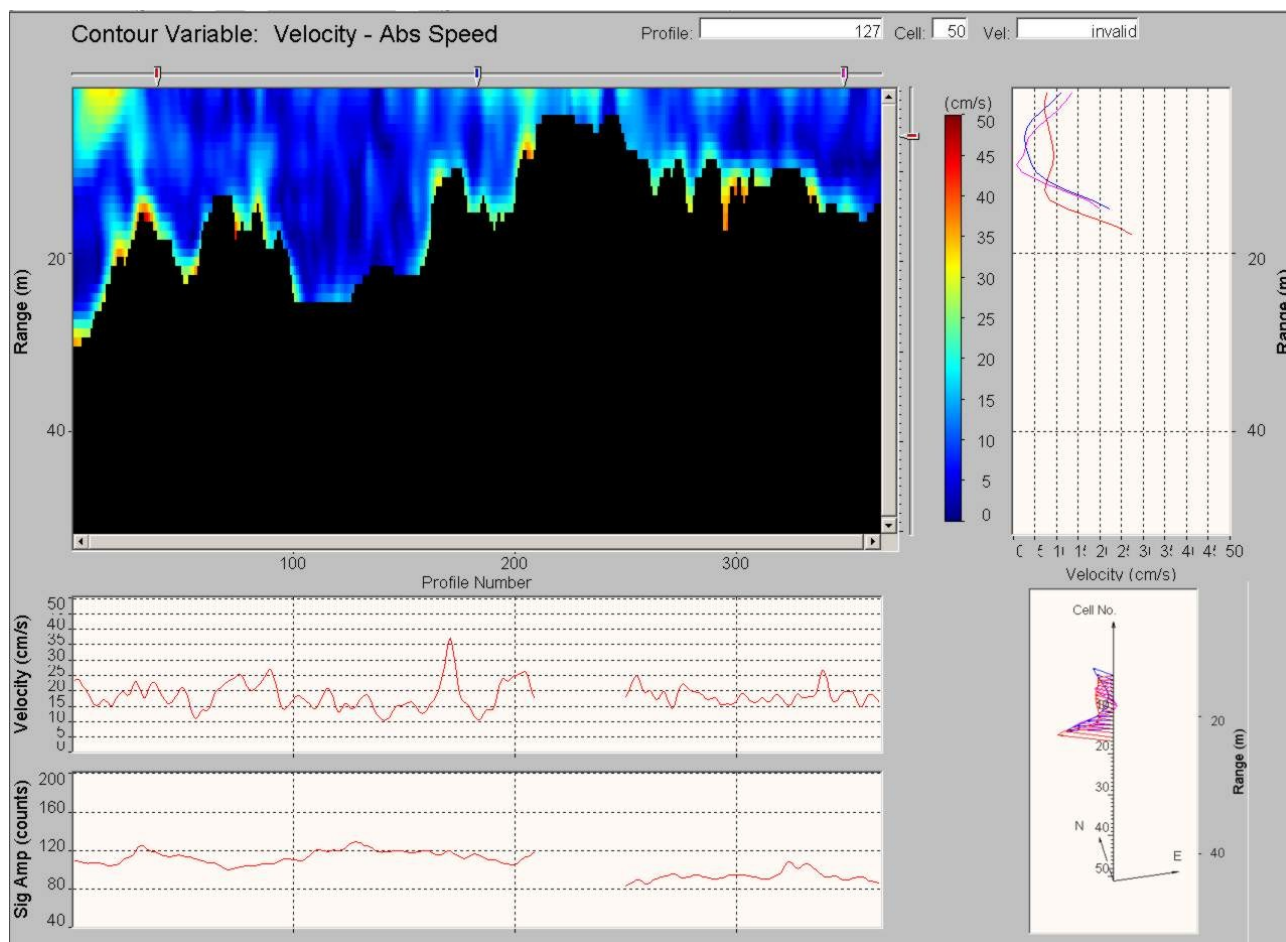


Figura 4.3.2-3: Profilo di velocità relativo al transetto 10m (dal Porto di Civitavecchia a Punta S.Agostino)

Effettuando il controllo dei valori di SNR, essi non risultano mai inferiori al valore soglia di 3dB:

Transetto 20m

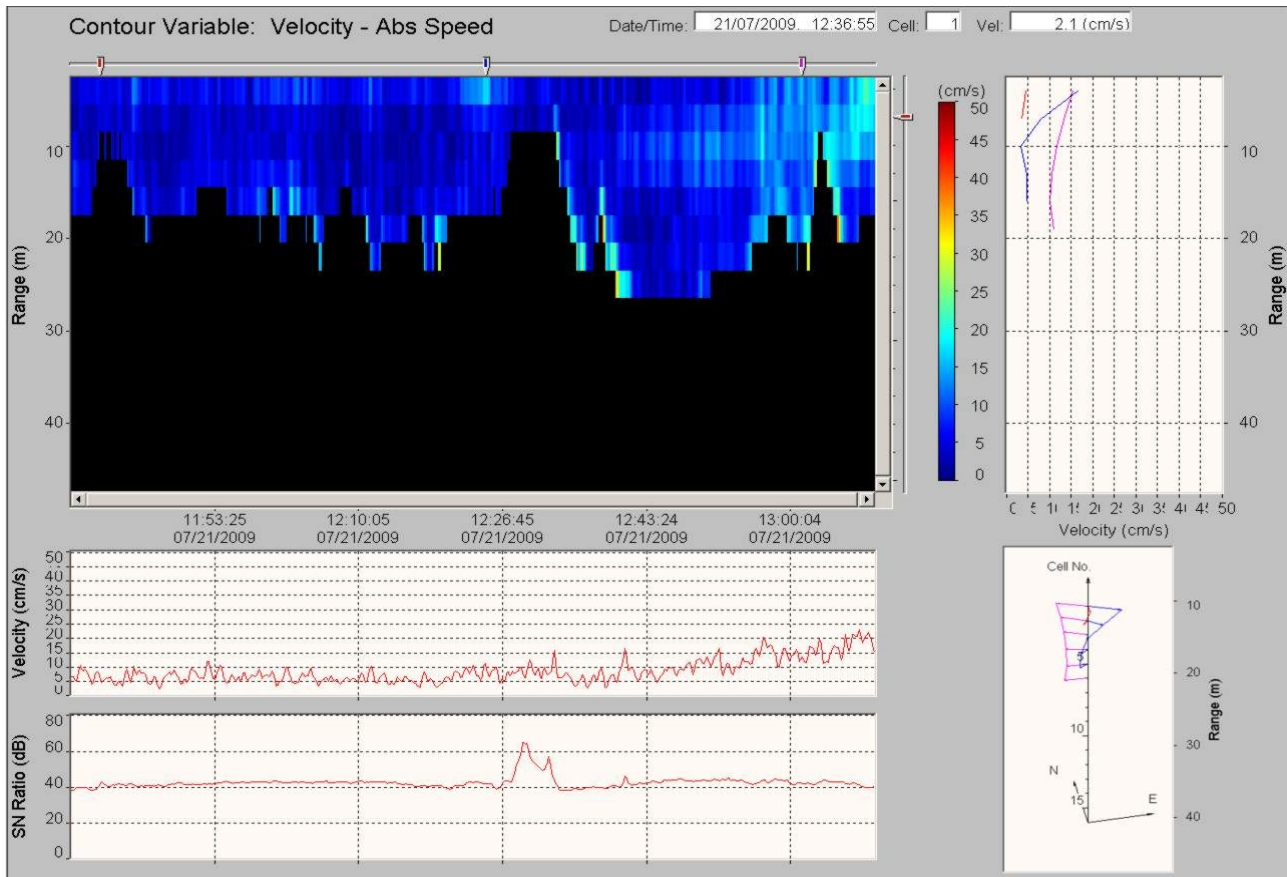


Figura 4.3.2-4: Profilo di velocità relativo al transetto 20m (da Capo Linaro al Porto Riva di Traiano)

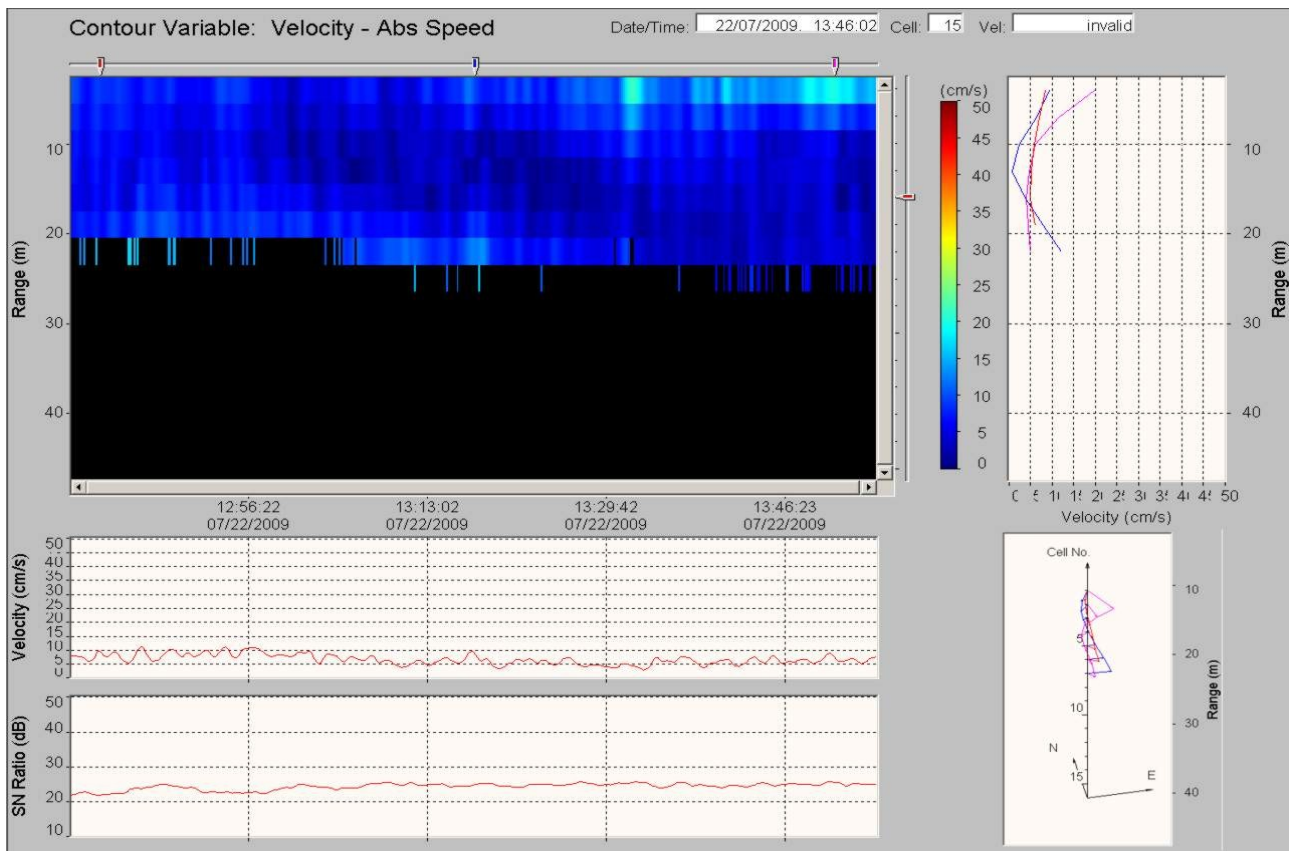


Figura 4.3.2-5: Profilo di velocità relativo al transetto 20m (dal Porto Riva di Traiano al Porto di Civitavecchia)

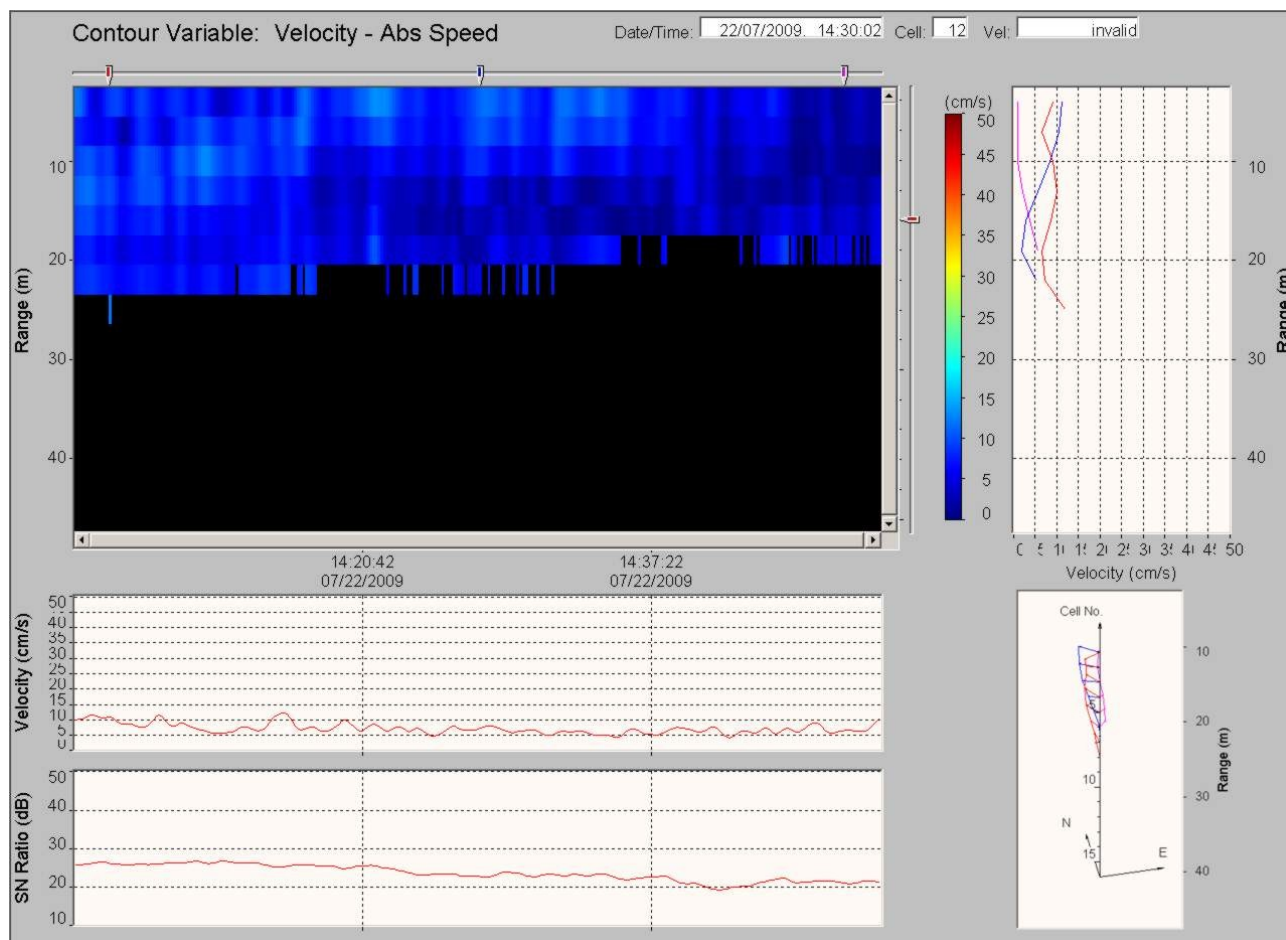


Figura 4.3.2-6: Profilo di velocità relativo al transetto 20m (dal Porto di Civitavecchia a Punta S.Agostino)

Come nel caso precedente il dato non risulta soggetto ad errore Doppler.

Transetto 30m

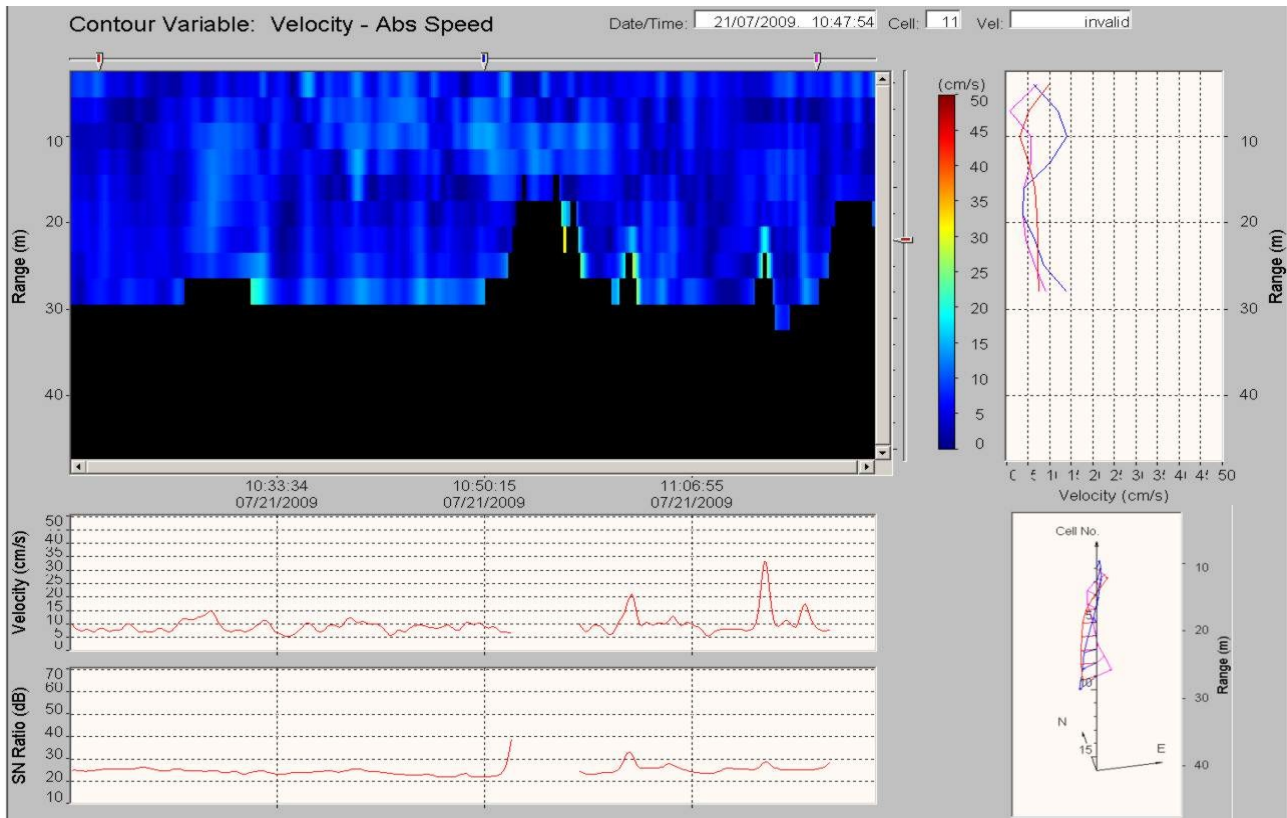


Figura 4.3.2-7: Profilo di velocità relativo al transetto 30m (da Capo Linaro al Porto Riva di Traiano)

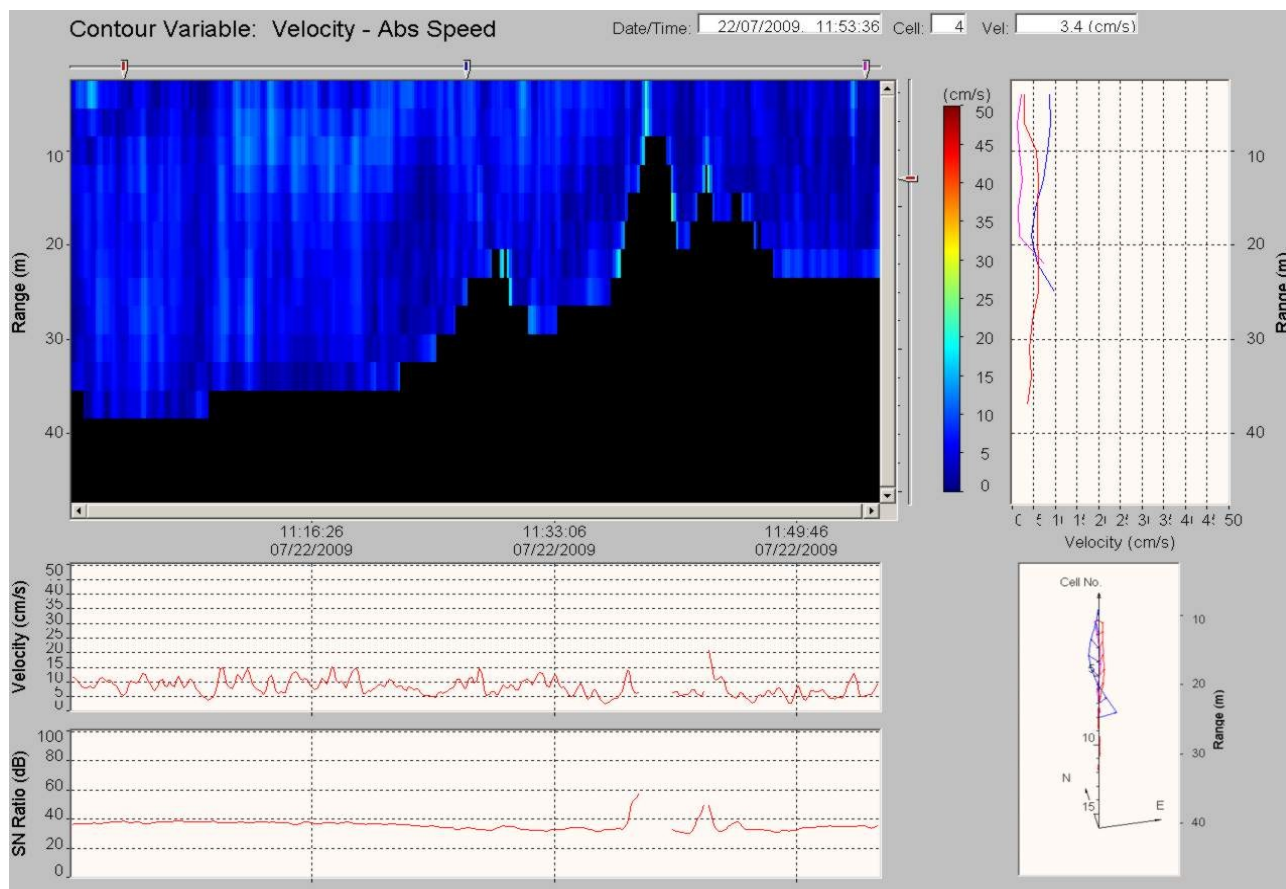


Figura 4.3.2-8: Profilo di velocità relativo al transetto 30m (dal Porto Riva di Traiano al Porto di Civitavecchia)

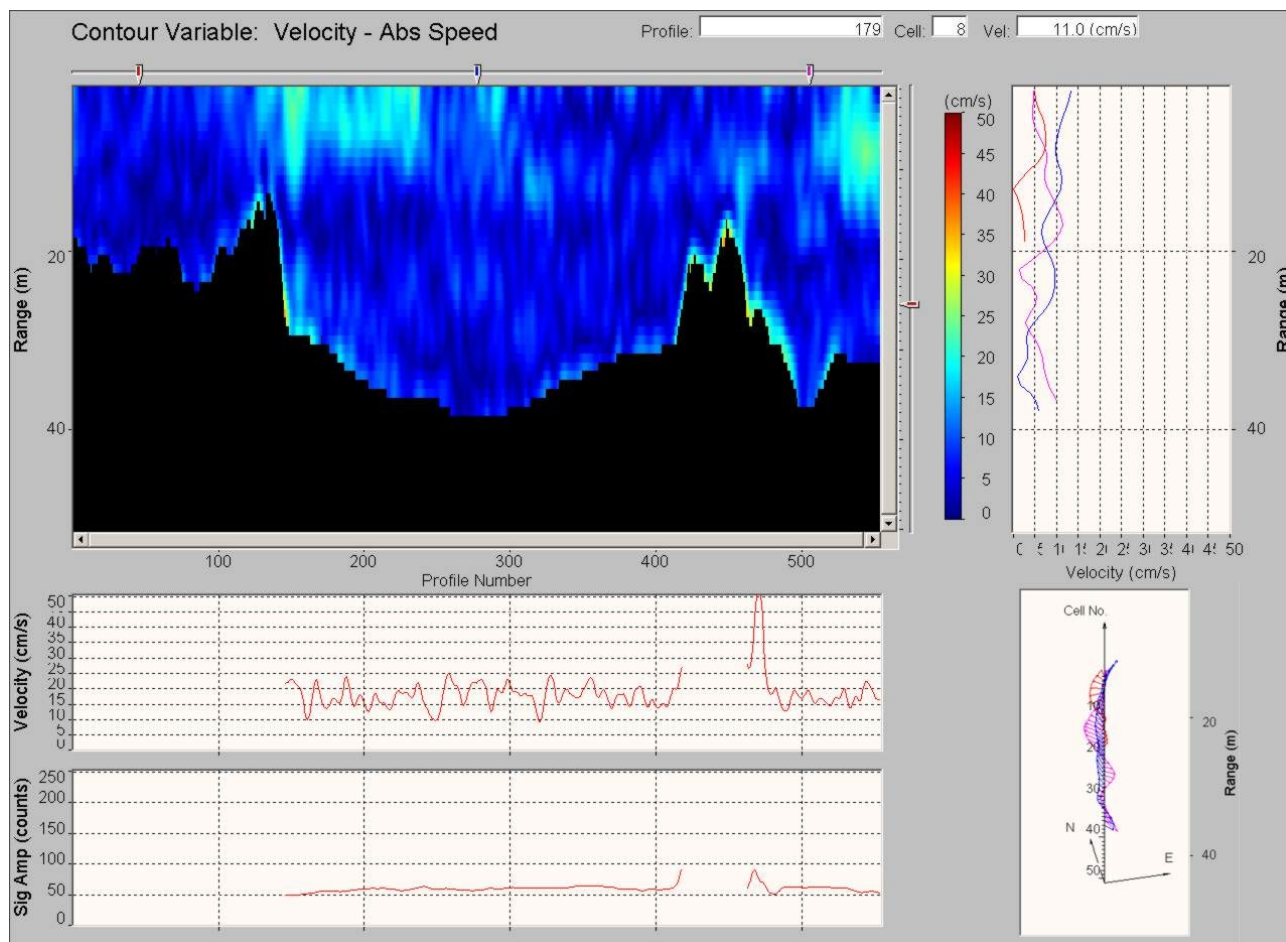


Figura 4.3.2-9: Profilo di velocità relativo al transetto 30m (dal Porto di Civitavecchia a Punta S.Agostino)

Anche in questo ultimo transetto i valori di SNR sono sempre maggiori di 3dB

4.4 Modelli idrodinamici HR Wallinford

4.4.1 Materiale e metodi

Il modello numerico è stato configurato per rappresentare il tratto di costa compreso tra Tarquinia a Nord e S. Severa a Sud, e si estende fino a 7-8 km verso il mare aperto dove la profondità è superiore ai 100m. (Figura 4.4.1-1).

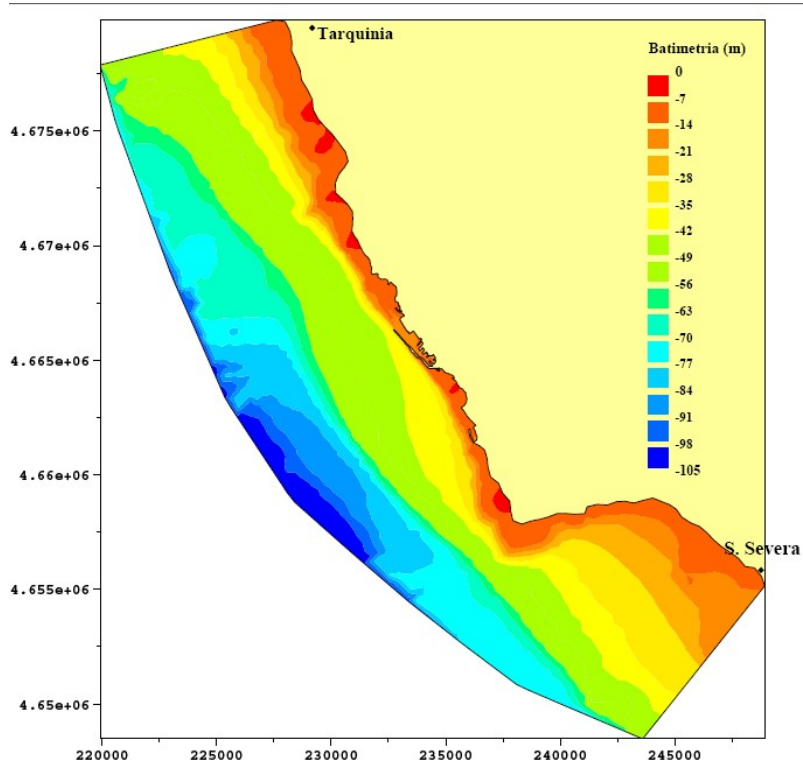


Figura 4.4.1-1: Mappa batimetrica dell'area di studio

Il tratto di costa rappresentato nel modello TELEMAC—2D è lungo circa 37 km. Questo modello, sviluppato dalla LNH a Parigi, utilizza una maglia agli elementi finiti triangolari. La maglia è estremamente flessibile e permette di variare la dimensione degli elementi per incorporare strutture articolate presenti lungo la linea di costa. Le dimensioni degli elementi della maglia in questo progetto variano da 25 m nel porto a 500 m nelle aree limitrofe all'estremità occidentale (Figura 4.4.1-2).

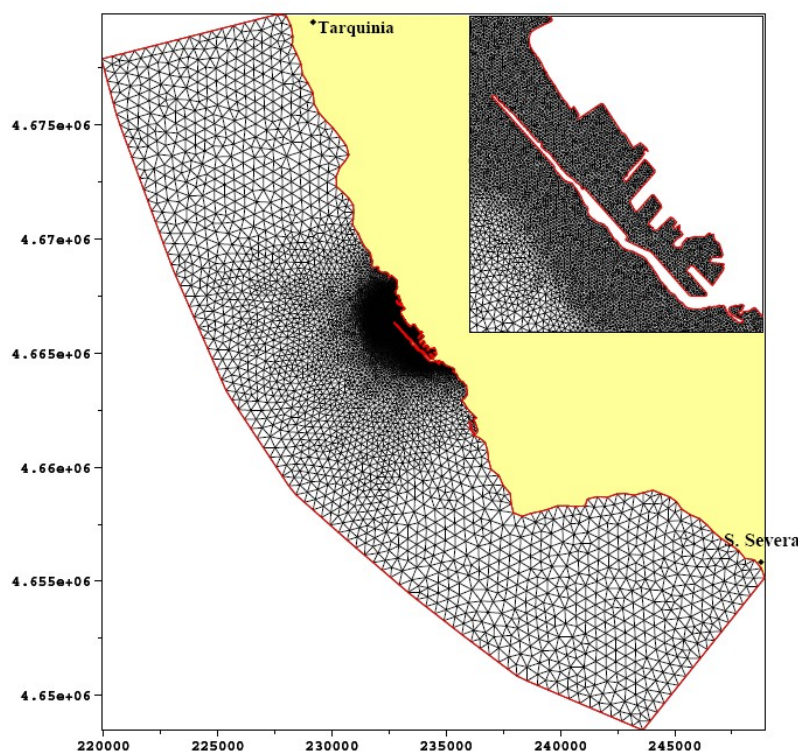


Figura 4.4.1-2: Griglia di calcolo del modello TELEMAC-2D

Si noti che i numeri sugli assi delle figure riferite al modello TELEMAC, indicano il sistema di riferimento applicato, cioè l'UTM (Universal Transverse Mercator). I nodi dei singoli elementi sono localizzati tramite coordinate Est — Nord.

A causa delle piccole oscillazioni di marea all'interno del Mar Mediterraneo, le correnti di marea sono molto deboli e non è stata trovata una correlazione evidente tra i dati di vento e quelli di corrente. Di conseguenza, piuttosto che generare campi di corrente con il modello numerico applicando una direzione e velocità di vento opportuni, l'approccio adottato è stato analizzare i dati di corrente misurati e quindi fissare le condizioni al contorno del modello per generare la corrente desiderata.

A questo scopo sono stati imposti due livelli medi del mare diversi al contorno meridionale e in quello settentrionale del modello in modo da assegnare una pendenza della superficie libera.

L'inclinazione è stata definita sulla base della velocità di corrente osservata, che è poi stata usata anche per la calibrazione del modello, la profondità e l'attrito di fondo.

La simulazione è stata fatta effettuata partendo da una situazione di quiete e, dopo aver imposto le condizioni al contorno, è stata terminata quando è stata raggiunta una certa inclinazione

della superficie libera. I livelli così determinati sono stati applicati al modello per generare una corrente di velocità costante che è poi stata confrontata con i dati osservati.

E' poi stato determinato l'orientamento della linea di costa rispetto alla direzione Nord (circa 35°). A questo punto è stato possibile dividere i dati (usando il campo di direzione della corrente) in due categorie : correnti parallele alla costa dirette verso Nord e correnti parallele alla costa dirette verso

Sud.

4.4.2 Risultati

Sulla base dei dati calcolati dal modello TELEMAC-2D è stato realizzato un istogramma riportato in Fig. 4.4.2-1.

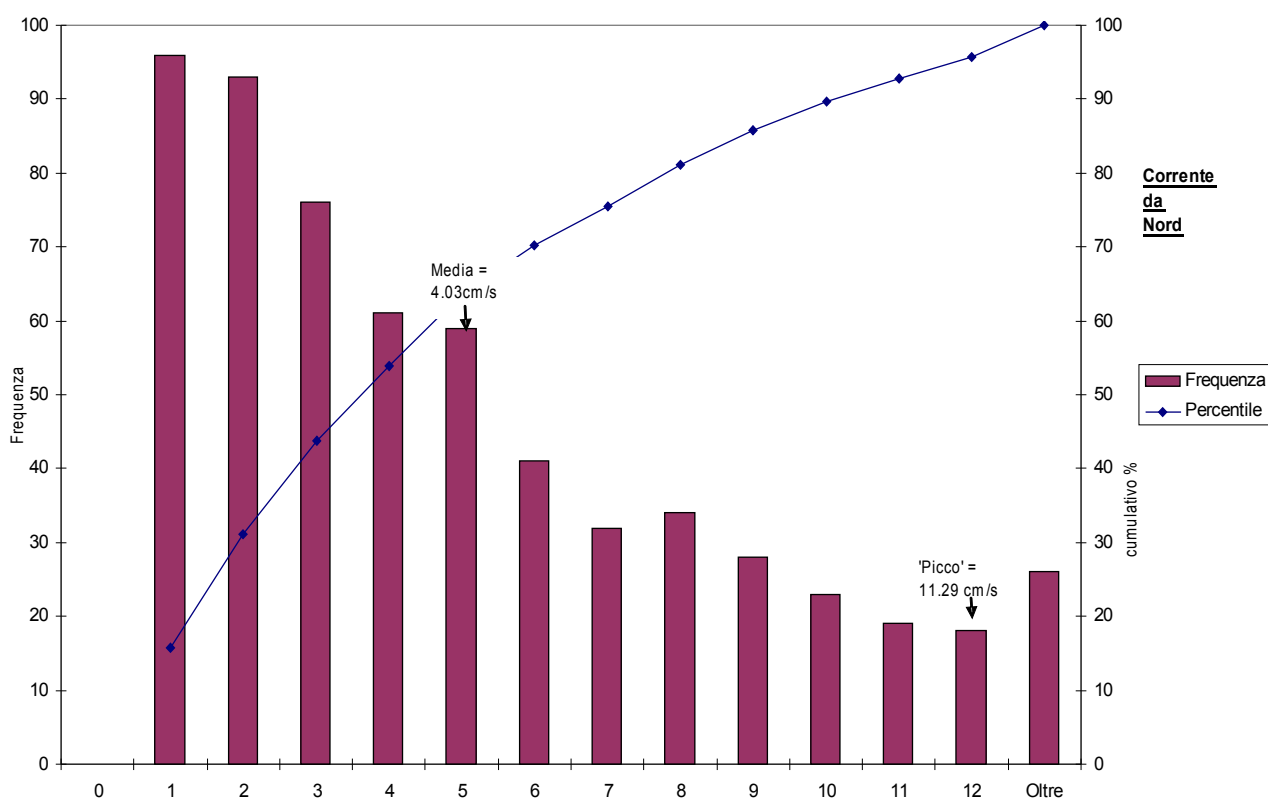


Fig. 4.4.2-1

Sono poi state calcolate la velocità media e quella di 'picco' della corrente (ricavata

attraverso un'analisi statistica del 95° percentile sui dati registrati nei due mesi e mezzo).

Gli istogrammi risultanti dall'analisi statistica portata a termine mostrano che per ogni intervallo di velocità di corrente viene riportato il numero di registrazioni corrispondenti mentre la curva indica la percentuale cumulativa di dati raccolti.

Si noti che la seconda colonna del grafico rappresenta il numero di registrazioni relative ad una velocità compresa tra 0 e 1 cm/s.

Con questa analisi è stato possibile ricavare quattro campi di corrente specifici che vengono riassunti nella tabella 4.4.2-1 sottostante.

Condizione	Velocità mediata sulla profondità (cm/s)
Media Nord	3,78
Media Sud	4,03
‘Picco’ Nord	12,68
‘Picco’ Sud	11,29

Tabella 4.4.2-1: Condizioni idrodinamiche da simulare

Nelle Figure da 4.4.2-2 a 4.4.2-5 sono illustrate le velocità e le direzioni di corrente per ogni condizione.

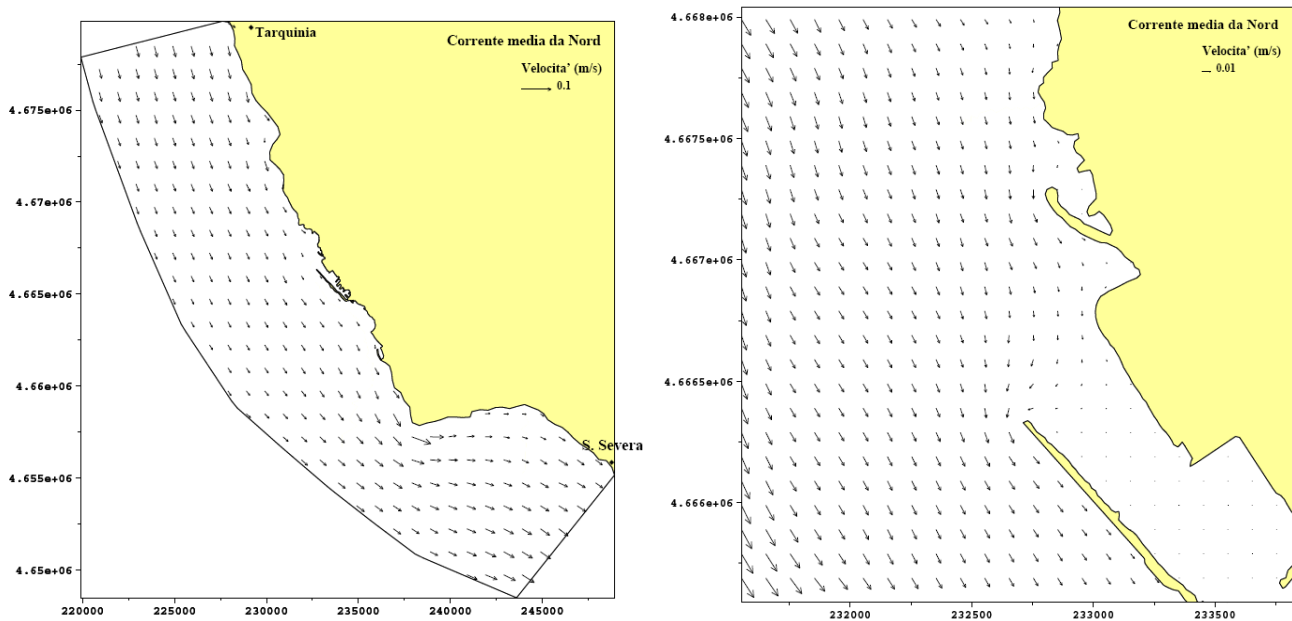


Figura 4.4.2-2: Campo idrodinamico indotto da una corrente media proveniente da Nord

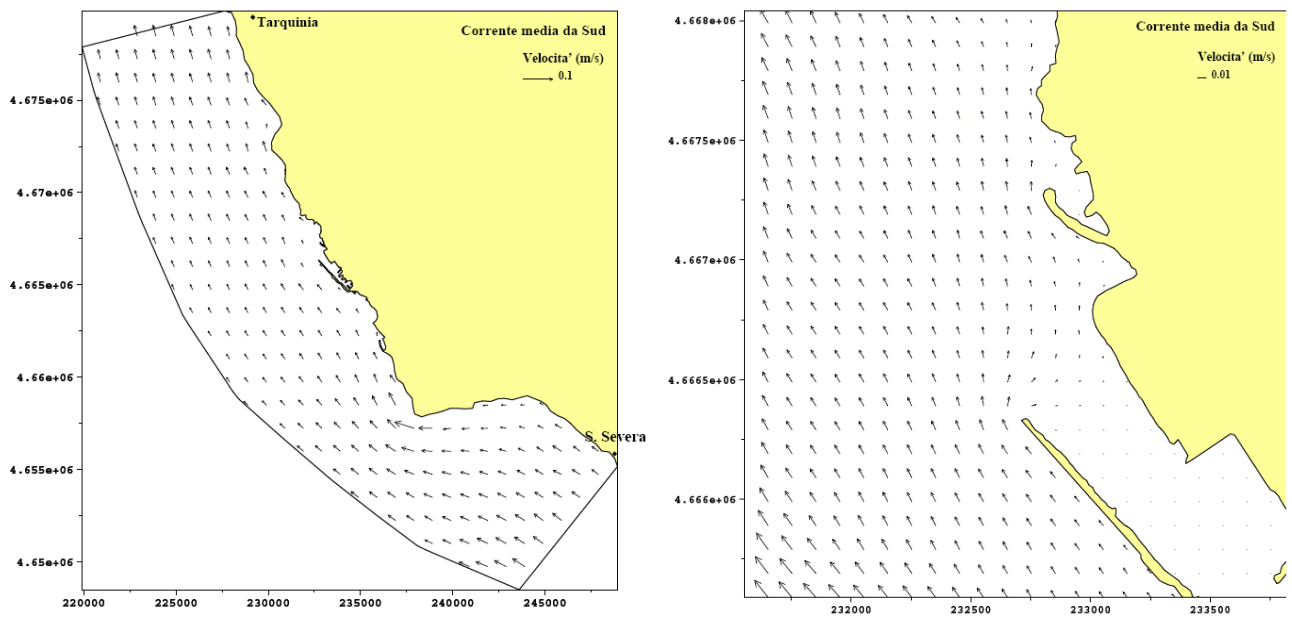


Figura 4.4.2-3: Campo idrodinamico indotto da una corrente media proveniente da Sud

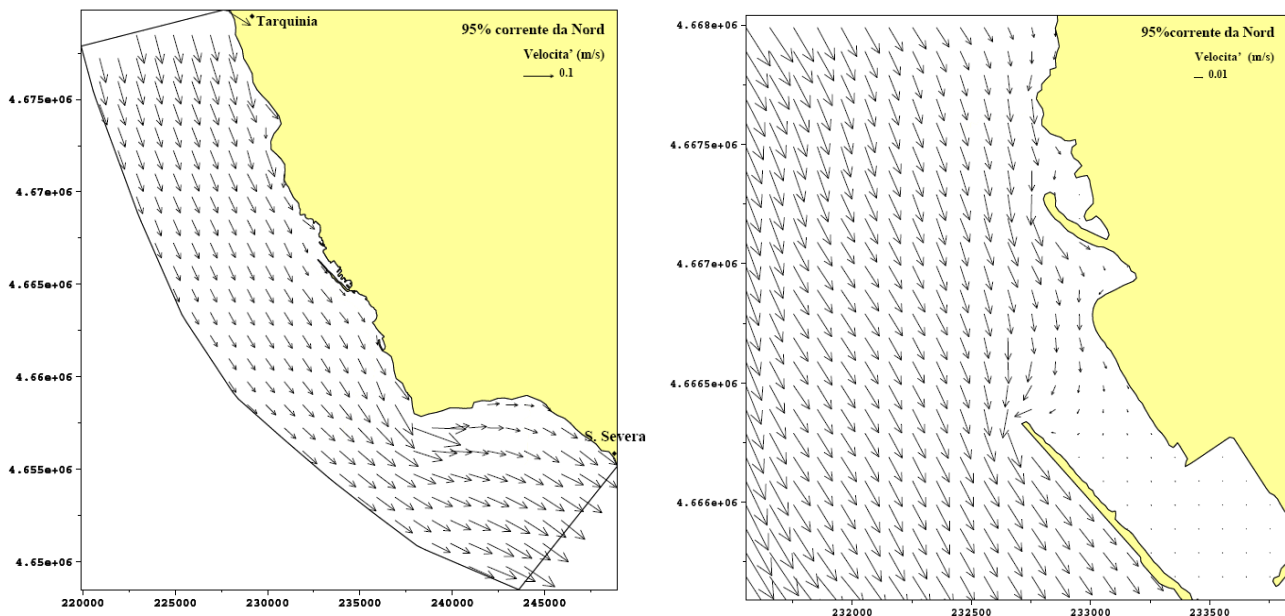


Figura 4.4.2-3: Campo idrodinamico indotto dalla corrente di picco proveniente da Nord

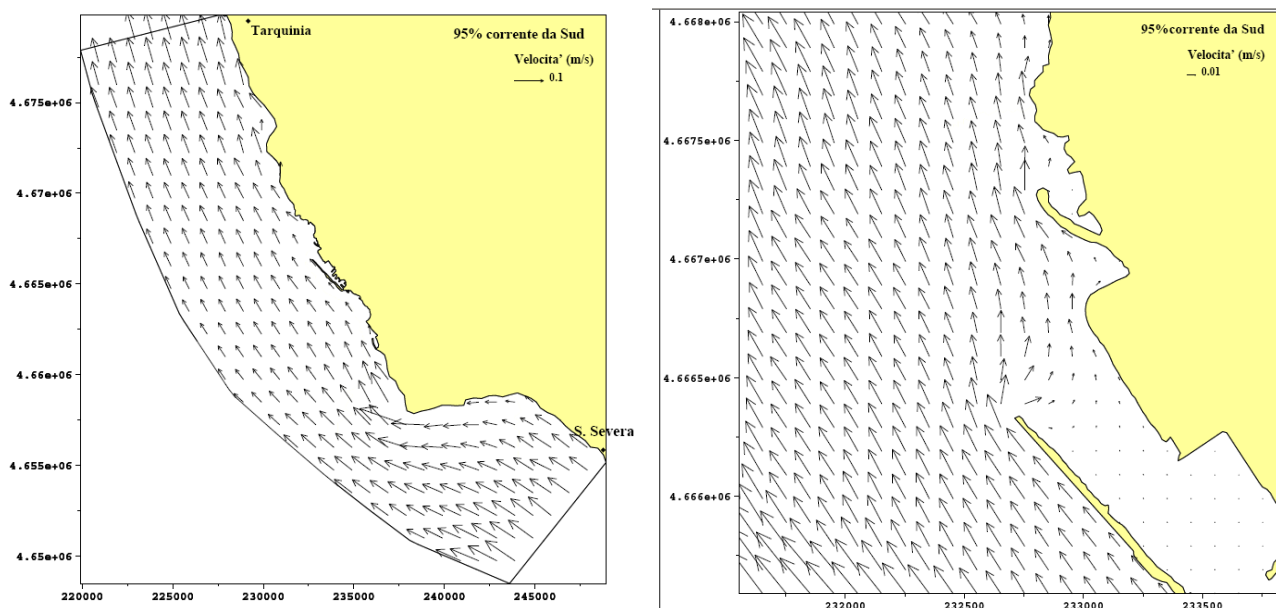


Figura 4.4.2-4: Campo idrodinamico indotto dalla corrente di picco proveniente da Sud

Si osservi che la corrente é piuttosto uniforme nell'area rappresentata nel modello, fatta eccezione per la zona di Capo Linaro dove le velocità sono leggermente superiori. La corrente é diffratta dal frangiflutti e quindi la sua velocità diminuisce rapidamente entrando all'interno del porto. Nella maggior parte dell'area protetta le correnti di marea si annullano.

4.5 Modelli idrodinamici Tuscia

4.5.1 Materiale e metodi

La corrente di circolazione generale a scala di unità fisiografica è stata stimata attraverso il modello bidimensionale agli elementi finiti ADCIRC.

L' ADCIRC è un modello utilizzato per risolvere le equazioni del moto per un fluido in movimento su un sistema ruotante come quello terrestre. Queste equazioni sono state formulate usando la pressione idrostatica tradizionale e le approssimazioni di Boussinesq. Sono state discretizzate nello spazio usando il metodo agli elementi finiti (FE, finite element) e nel tempo usando il metodo alle differenze finite (FD, finite difference).

Con l' ADCIRC è possibile effettuare simulazioni di problemi idrodinamici in due (two dimensional depth integrated model, 2DDI) o tre dimensioni (three dimensional model, 3D).

In entrambi i casi, l'elevazione è ottenuta dalla soluzione dell' equazione di continuità integrata sulla profondità nella forma “ Generalized Wave-Continuity Equation” (GWCE). La velocità è invece calcolata dalle equazioni della quantità di moto nel modello bidimensionale o tridimensionale. All'interno di queste equazioni tutti i termini non lineari vengono tenuti in considerazione.

L' ADCIRC è in grado di girare utilizzando sia un sistema di coordinate cartesiane che uno sferico.

Le condizioni al contorno che è possibile scegliere nell' ADCIRC includono:

- Specifiche elevazioni (come serie nel tempo o calcolate per mezzo dell'analisi armonica delle costituenti tidali)
- Specifico flusso normale (come serie nel tempo o calcolate per mezzo dell'analisi armonica delle costituenti tidali)
- Flusso normale uguale a 0
- Condizioni di free slip o no slip per la velocità
- Barriere esterne permeabili (il flusso fuoriesce dal dominio)
- Barriere interne permeabili (il flusso arriva in altre aree del dominio)
- Stress superficiale (provocato dal vento e/o dal wave radiation stress)
- Pressione atmosferica

- Radiazione esterna delle onde (condizione di Sommerfield)
- L' ADCIRC può essere invece forzato con:
- Condizioni di elevazioni al contorno
- Condizioni di flusso normale al contorno
- Condizione di stress superficiale al contorno
- Potenziale tidale
- Earth load/self attraction tide

L'ADCIRC comprende anche una parte dove è inclusa l' analisi dei minimi quadrati che computa le costituenti armoniche per l'elevazione e la velocità durante il corso della simulazione senza la necessità di trascrivere lunghe serie temporali per il post-processing.

Le equazioni utilizzate per risolvere il campo idrodinamico sono quelle relative al modello bidimensionale (2DDI) espresse in coordinate cartesiane.

Il programma ADCIRC risolve l' equazione di continuità primitiva:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0$$

e le equazioni della quantità di moto (nella forma non conservativa):

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + fV &= - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0 H} + D_x - B_x \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU &= - \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{p_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0 H} + D_y - B_y \end{aligned}$$

Per evitare problemi numerici che nascono dall'uso del metodo di Galerkin per la discretizzazione spaziale delle suddette equazioni, l'equazione di continuità primitiva viene trattata matematicamente fino ad ottenere la “Generalized Wave Continuity Equation” (GWCE):

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + \tau_0 \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} - UH \frac{\partial \tau_0}{\partial x} - VH \frac{\partial \tau_0}{\partial y} = 0$$

dove:

$$A_x \equiv \frac{\partial UH}{\partial t} + \tau_0 UH = \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \tau_0 Q_x$$

$$A_y \equiv \frac{\partial VH}{\partial t} + \tau_0 VH = \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \tau_0 Q_y$$

Usando la regola del concatenamento dei differenziali sui termini derivati nel tempo nelle espressioni per A_x e A_y , e sostituendo opportunamente le equazioni della quantità di moto si ottiene:

$$A_x = U \frac{\partial H}{\partial t} + H \left\{ -U \frac{\partial U}{\partial x} - V \frac{\partial U}{\partial y} + fV - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0 H} + D_x - B_x + \tau_0 U \right\}$$

$$A_y = V \frac{\partial H}{\partial t} + H \left\{ -U \frac{\partial V}{\partial x} - V \frac{\partial V}{\partial y} + fU - \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{p_s}{\rho_0} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0 H} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0 H} + D_y - B_y + \tau_0 V \right\}$$

La forma finale della GWCE risulta sostituendo queste espressioni per A_x e A_y nell'equazione 4. Per calcolare l'elevazione della superficie dell'acqua, l'ADCIRC può risolvere la GWCE risultante, l'equazione di continuità primitiva o un ibrido tra le due determinato dal parametro τ_0 .

Il dominio computazionale dell'ADCIRC ha una forma rettangolare ed è delimitato nel tratto costiero dal promontorio dell'Argentario, a Nord, e di Capo Linaro, a Sud, e in mare aperto dalla linea batimetrica dei -200m. Il dominio così definito ha una lunghezza con orientamento SE – NO di circa 100 km, per una larghezza di circa 20 Km.

Ai quattro lati dell'area di calcolo sono state fornite le seguenti condizioni al contorno:

1. a Est la condizione mainland
2. a Sud-Est la condizione normal flow
3. a Ovest la condizione ocean
4. a Nord-Ovest la condizione di normal wave radiation
5. a Est, nei punti definiti dalle foci dei fiumi Fiora e Arrone, la condizione di normal flow

La prima condizione definisce la linea di costa che è stata ricavata dalla ricostruzione dell'unità fisiografica attraverso immagini satellitari o acquisite attraverso rilievi aerofotogrammetrici, opportunamente allineate e successivamente georeferenziate.

Per il contorno terrestre (mainland) è stata scelta la condizione di no slip, ovvero le velocità tangenziali e perpendicolari alla linea di riva hanno un valore pari a 0.

Nel boundary sud del dominio è stata assegnata una condizione di flusso normale in modo da tener conto della corrente generale che lungo questo tratto di costa è diretta verso Nord-Ovest ed assume dei valori che variano da 0.01-0.05 m/s (dati estrapolati dal modello OPA dell'INGV di Bologna).

La condizione di normal wave radiation è definita nella parte di Nord-Ovest e consente alle linee di flusso di attraversare perpendicolarmente il dominio di calcolo.

Nel lungo tratto ad Ovest è stata posta la condizione oceanica con un' elevazione del livello superficiale dell' acqua pari a 0 metri.

All'interno del dominio di calcolo è stata costruita una griglia agli elementi finiti rappresentante l'unità fisiografica (Fig. 4.5.1-1).

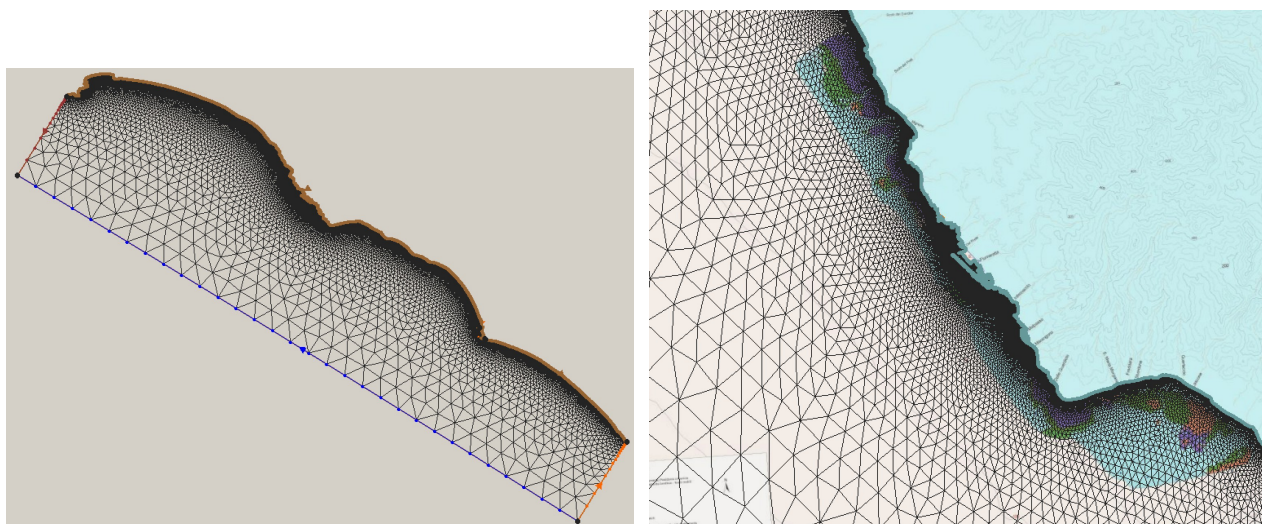


Figura 4.5.1-1: Griglia rappresentante l'intera unità fisiografica e zoom sull'area delle Porto di Civitavecchia.

La griglia è costituita da poco meno di 25000 nodi e da circa 45000 elementi triangolari.

Ai nodi della mesh sono stati riportati i valori di profondità i quali sono stati interpolati dai dati della carta nautica IGM (scala 1:100000) rappresentativa della zona di interesse.

Nella seguente tabella 4.5.1-1 vengono riportati i principali parametri del modello e il relativo valore:

Parametri	Valore
Sistema di coordinate	Sferico
Gravità	9.81 (m/s ²)
Tipo di modello	Bidimensionale
Includi termini di ampiezza finita	si
Includi termini avvettivi	si
Includi termine di derivata nel tempo	si
Wave continuity (τ_0)	0.01
Viscosità laterale	3.0(m ² /s)
Angolo minimo per flusso tangenziale	90°
Parametro di Coriolis	0.0001 (s ⁻¹)
Tipo di attrito	Costante quadratico
Coefficiente d' attrito	0.0025

Tabella 4.5.1-1: Parametri del modello

Per i principali parametri idrodinamici del modello, come l' attrito al fondo e la viscosità laterale, sono stati utilizzati i valori trovati in bibliografia.

4.5.2 Risultati

Al fine di definire l'andamento delle correnti nell'area di studio sono state effettuate quattro differenti simulazioni che riguardano:

- evento estremo : vento proveniente da Libeccio (225 °N) di 10 m/s (Fig. 4.5.2-1 e 4.5.2-2);
- evento estremo: vento proveniente da Maestrale (315 °N) di 10 m/s (Fig. 4.5.2-3 e 4.5.2-4);
- condizione reale estiva: dati di vento relativi a una settimana nel mese di Luglio (Fig. 4.5.2-5 e 4.5.2-6);
- condizione reale invernale: dati di vento relativi a una settimana nel mese di Dicembre (Fig. 4.5.2-7 e 4.5.2-8).

Libeccio: Il vento di Libeccio, costituisce l'evento dominante lungo il tratto di costa di interesse, produce una corrente marina diretta verso Nord con un'intensità massima localizzata a

largo di Capo Linaro (circa 0.12 m/s) ed in prossimità della costa in corrispondenza di Punta S. Agostino e nella parte a Nord dell'area di studio (0.15 m/s). A Sud di Capo Linaro invece si formano una serie di vortici che producono accelerazioni (0.16 m/s) in due punti definiti come quello in prossimità di Santa Marinella e a Sud di Santa Severa.

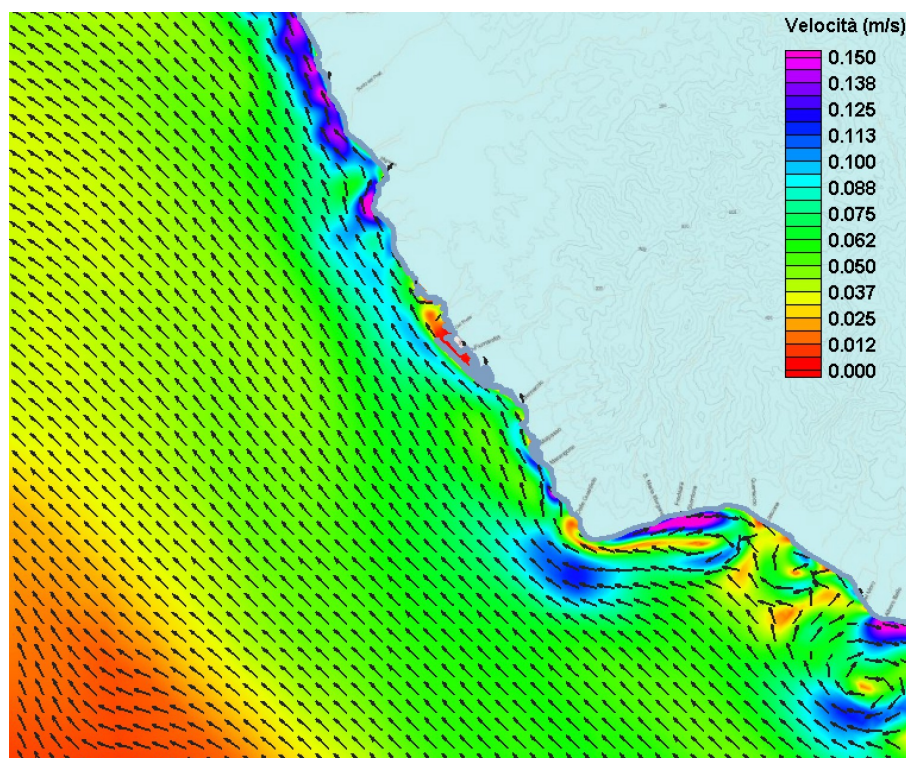


Figura 4.5.2-1: Velocità della corrente all'equilibrio indotta da un vento di Libeccio di 10 m/s tra Marina di Tarquinia e Santa Severa.

Nella zona del Porto di Civitavecchia si ha una fascia con elevate velocità localizzata nella parte a Sud a partire dalla batimetria dei -40 m che interessa la fascia costiera in corrispondenza de La Frasca. L'area compresa tra tale località e l'imboccatura del Porto di Civitavecchia è costituita da basse intensità a causa dell'effetto ombra provocato dall'antemurale del porto stesso.

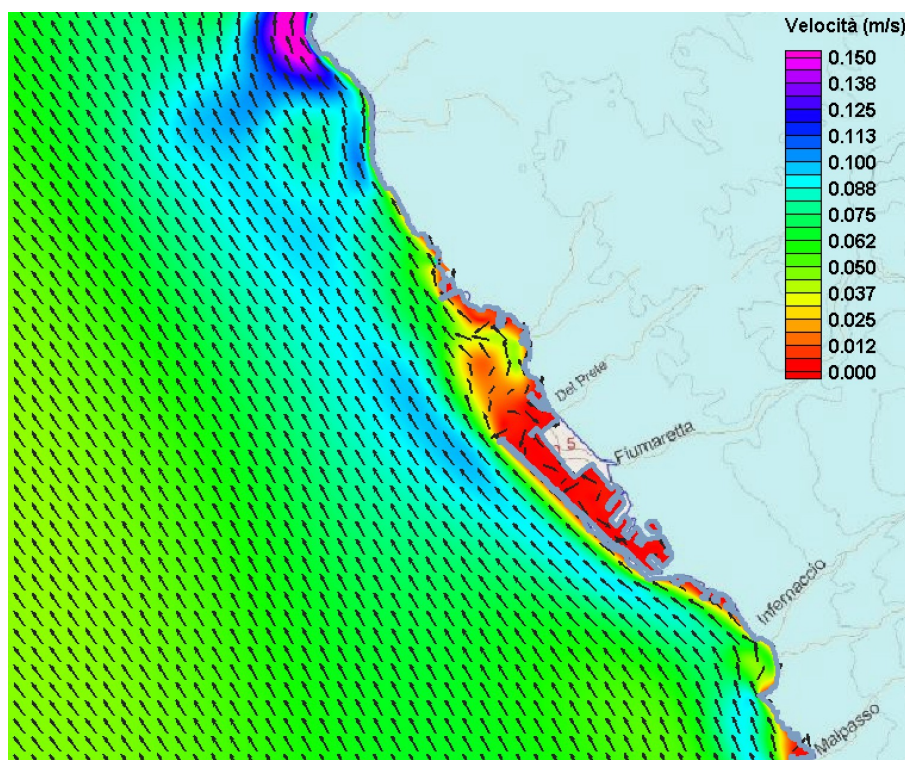


Figura 4.5.2-2: Velocità della corrente all'equilibrio indotta da un vento di Libeccio di 10 m/s nell'area del Porto di Civitavecchia.

Maestrale : La condizione di Maestrale provoca velocità più elevate in prossimità della costa rispetto a quelle che caratterizzano il campo idrodinamico indotto dal Libeccio. I tratti della linea di riva in cui l'intensità della corrente supera i valori di 0.25 m/s sono localizzati a Nord, in corrispondenza di Marina di Tarquinia, Punta della Quaglia e Punta S. Agostino, in corrispondenza dell'antemurale del Porto di Civitavecchia ed in particolare nella zona a Sud, ad esclusione della zona di Santa Marinella.

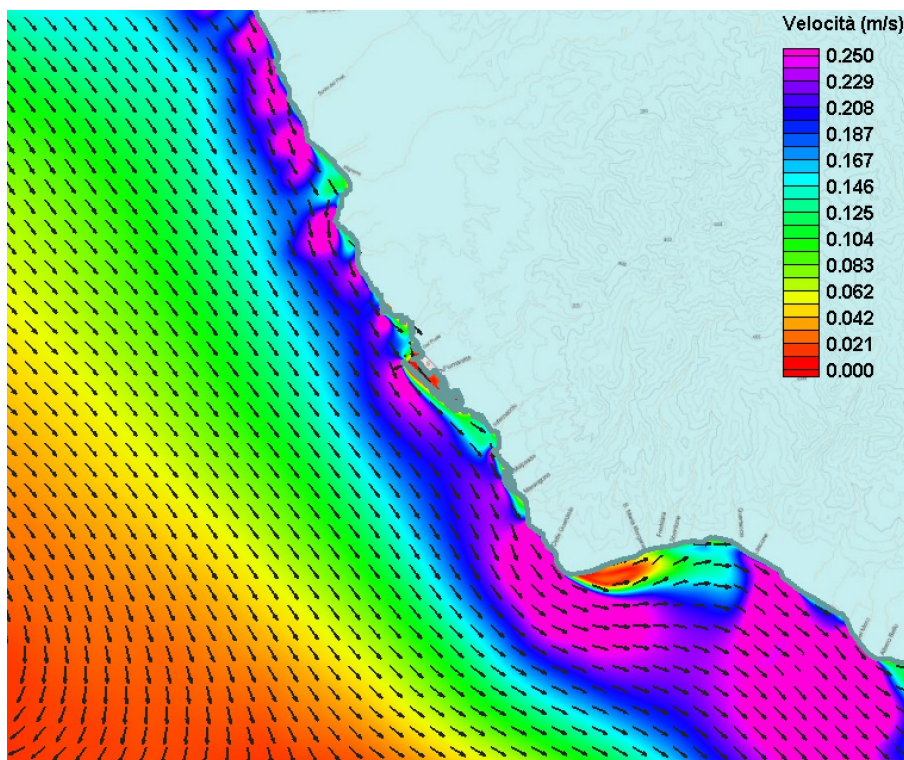


Figura 4.5.2-3: Velocità della corrente all'equilibrio indotta da un vento di Maestrale di 10 m/s tra Marina di Tarquinia e Santa Severa.

Nella zona del Porto di Civitavecchia si verificano alte velocità in corrispondenza de La Frasca, della Centrale ENEL di Torrevaldaliga, in prossimità della punta dell'antemurale e di Punta del Pecoraro a Sud. La morfologia della linea di costa e la condizione di Maestrale provocano due aree di basse velocità: una piccola a Nord del porto e l'altra più grande nella zona a Sud, dall'antemurale fino a Punta del Pecoraro.

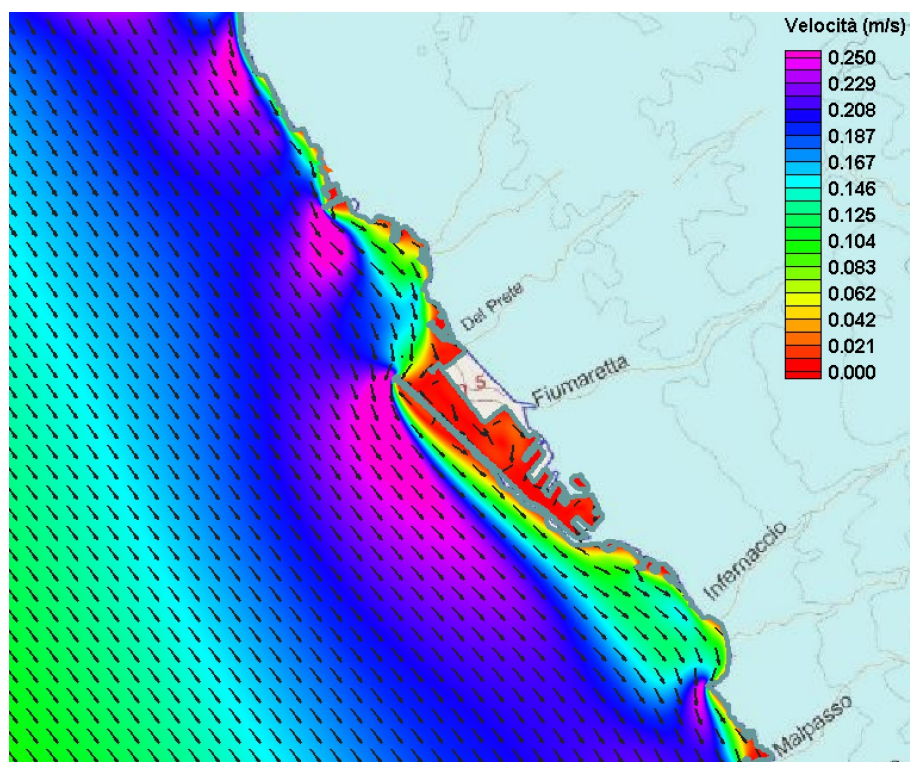


Figura 4.5.2-4: Velocità della corrente all'equilibrio indotta da un vento di Maestrale di 10 m/s nell'area del Porto di Civitavecchia.

Estate

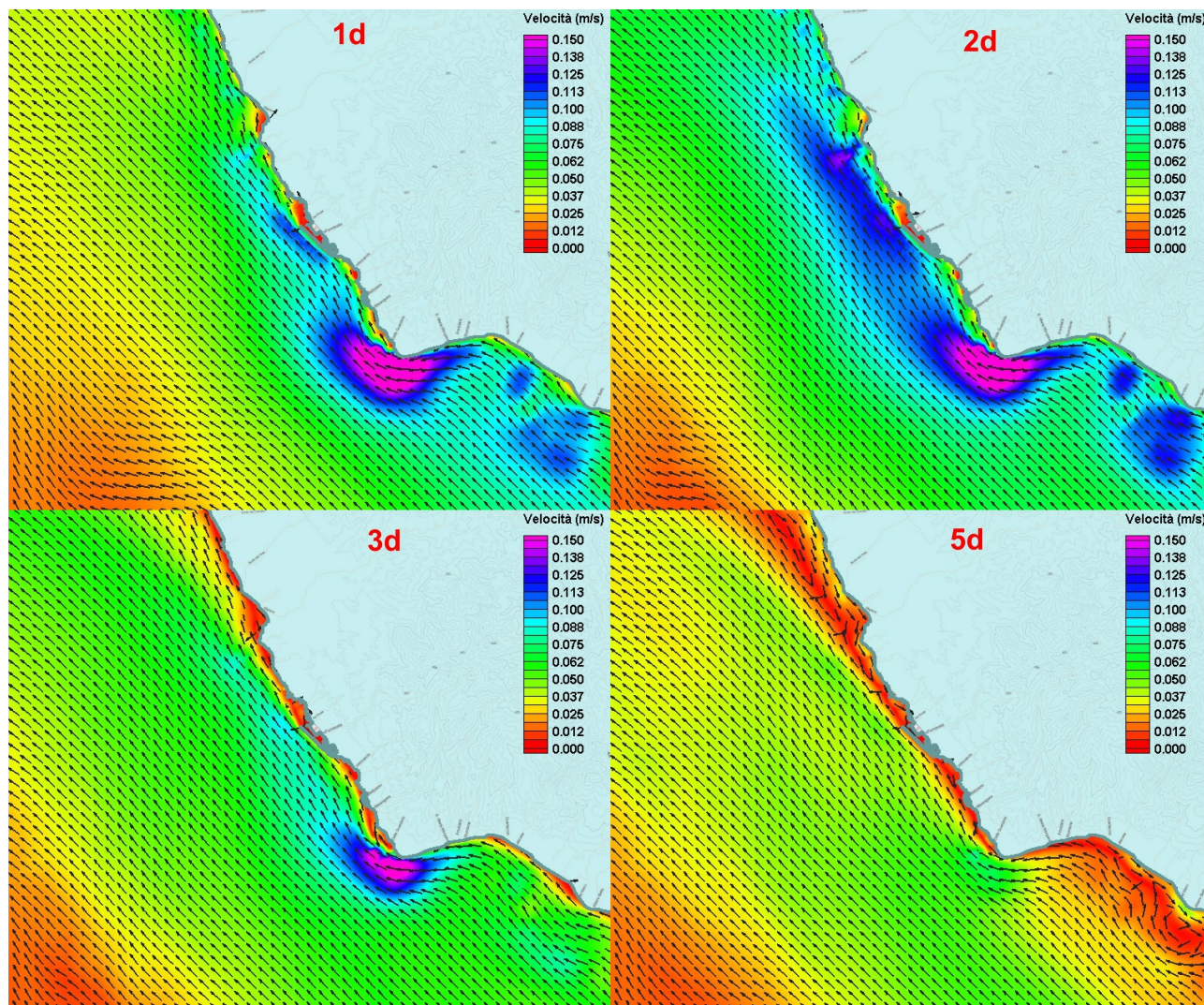


Figura 4.5.2-5: Velocità della corrente durante una tipica settimana estiva in diversi istanti di tempo tra Marina di Tarquinia e Santa Severa.

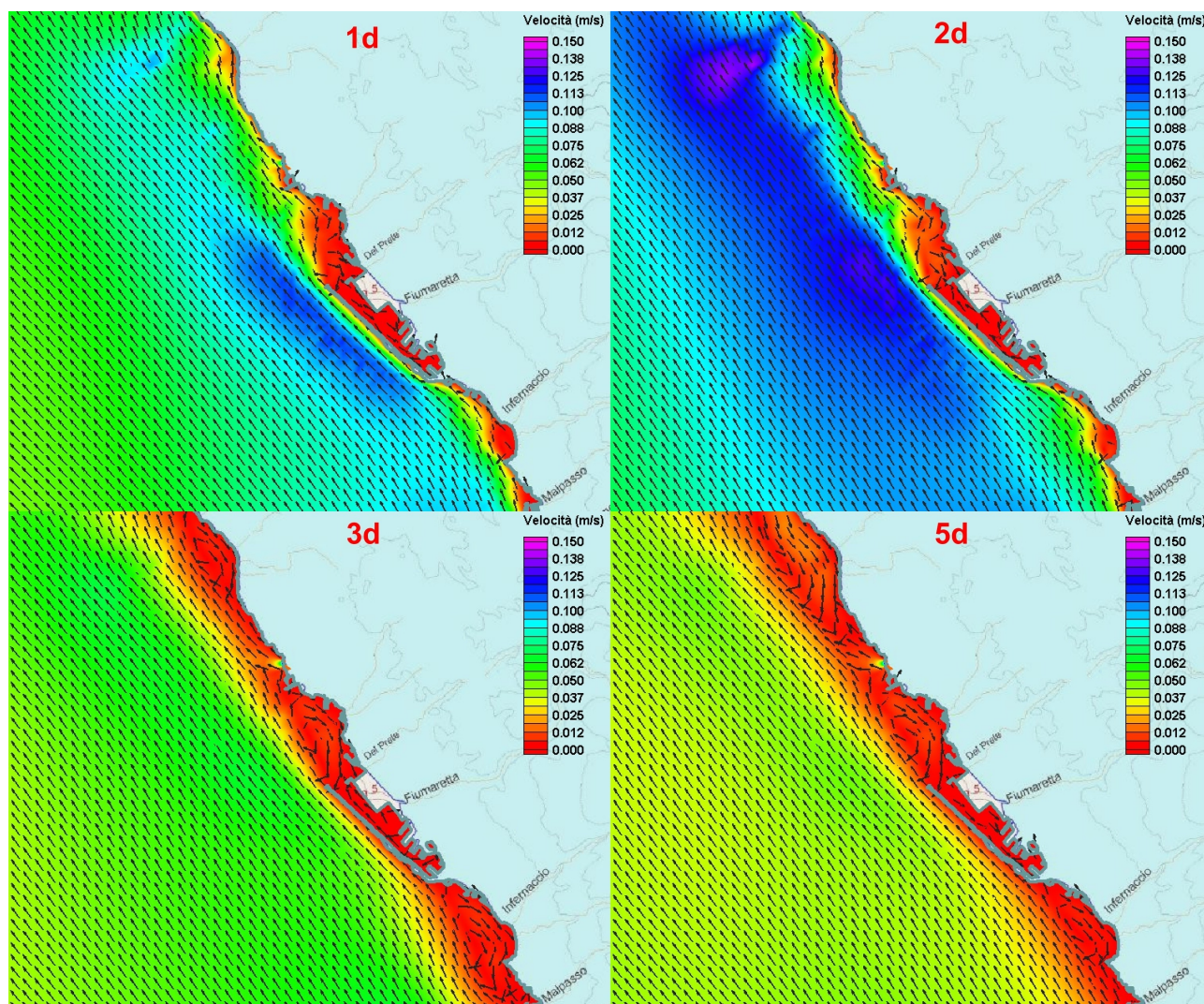


Figura 4.5.2-6: Velocità della corrente durante una tipica settimana estiva in diversi istanti di tempo nell'area del Porto di Civitavecchia.

Inverno

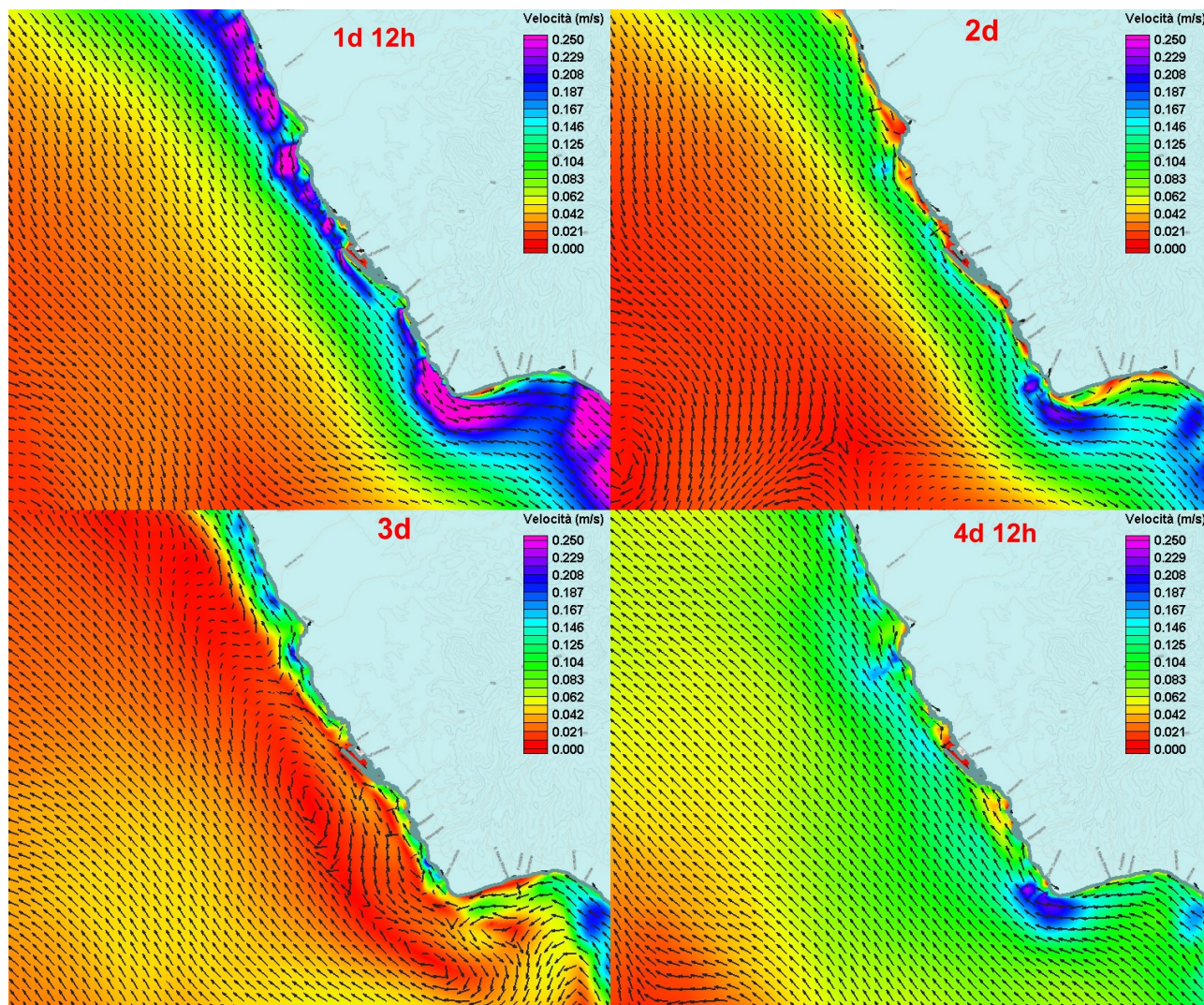


Figura 4.5.2-7: Velocità della corrente durante una tipica settimana invernale in diversi istanti di tempo tra Marina di Tarquinia e Santa Severa.

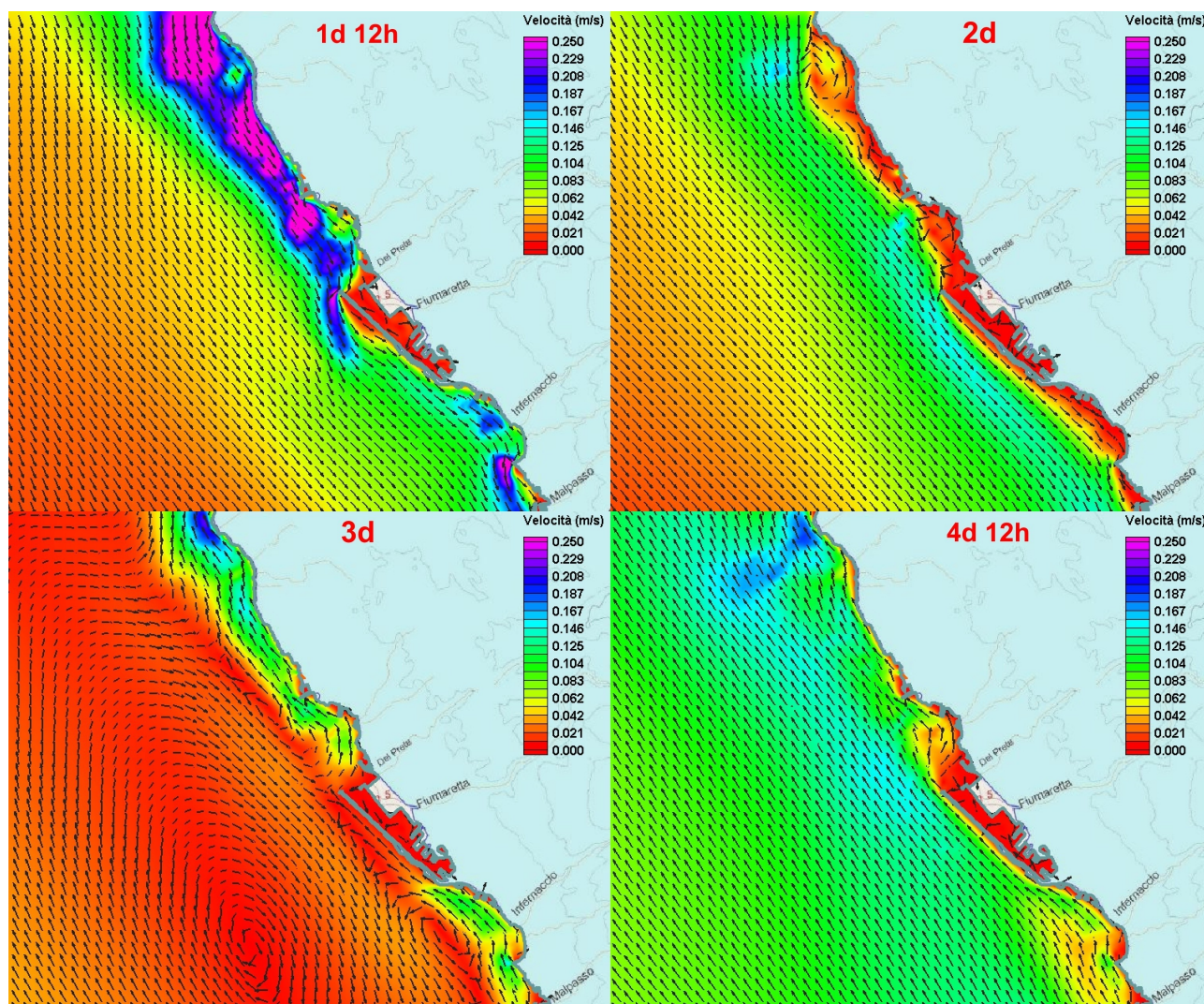


Figura 4.5.2-8: Velocità della corrente durante una tipica settimana invernale in diversi istanti di tempo nell'area del Porto di Civitavecchia.

5. CARATTERIZZAZIONE FISICO-CHIMICO-BIOLOGICA DELLA COLONNA D'ACQUA

5.1 Dati disponibili

Al fine di caratterizzare la colonna d'acqua è stata effettuata una raccolta dei dati pregressi disponibili inerenti l'area oggetto di studio. I dati raccolti sono stati integrati in un unico database che ne ha permesso la successiva elaborazione. Di seguito si riportano le campagne di monitoraggio e le fonti prese in esame nel corso della presente indagine:

- campagne di misura svolte dall'Autorità Portuale nel periodo marzo-maggio 2001;
- serie temporale di dati dalle stazioni di misura fisse dell'Autorità Portuale;
- campagne di misura effettuate dall'Università della Toscana nel biennio 2008-2009;
- campagne di monitoraggio ARPA a partire dal 2005.

5.2. Campagne di misura dell'Autorità Portuale

Le attività di indagine hanno visto l'esecuzione di due distinte campagne di monitoraggio, la prima nel periodo marzo-aprile 2001 e la seconda nel mese di maggio dello stesso anno. In ognuna delle campagne sono state monitorate 75 stazioni, distribuite lungo 25 transetti ortogonali alla costa dell'area di studio, per un totale di 150 rilievi, come riportato in figura 5.2-1 e 5.2-2.

Ogni transetto si compone di 3 stazioni poste in corrispondenza delle linee batimetriche dei -5m, -10m, -25m.

In ogni punto di campionamento, unitamente alle informazioni relative alla posizione ed alle condizioni meteomarine, sono stati acquisiti profili di temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto, densità, pH e fluorescenza della clorofilla a. Sono stati inoltre effettuati prelievi d'acqua a quote discrete di superficie, metà colonna e di fondo per la determinazione della concentrazione di inquinanti, nutrienti, metalli, clorofilla a e dei batteri indicatori di contaminazione fecale. Le operazioni sono state svolte durante le ore di luce.

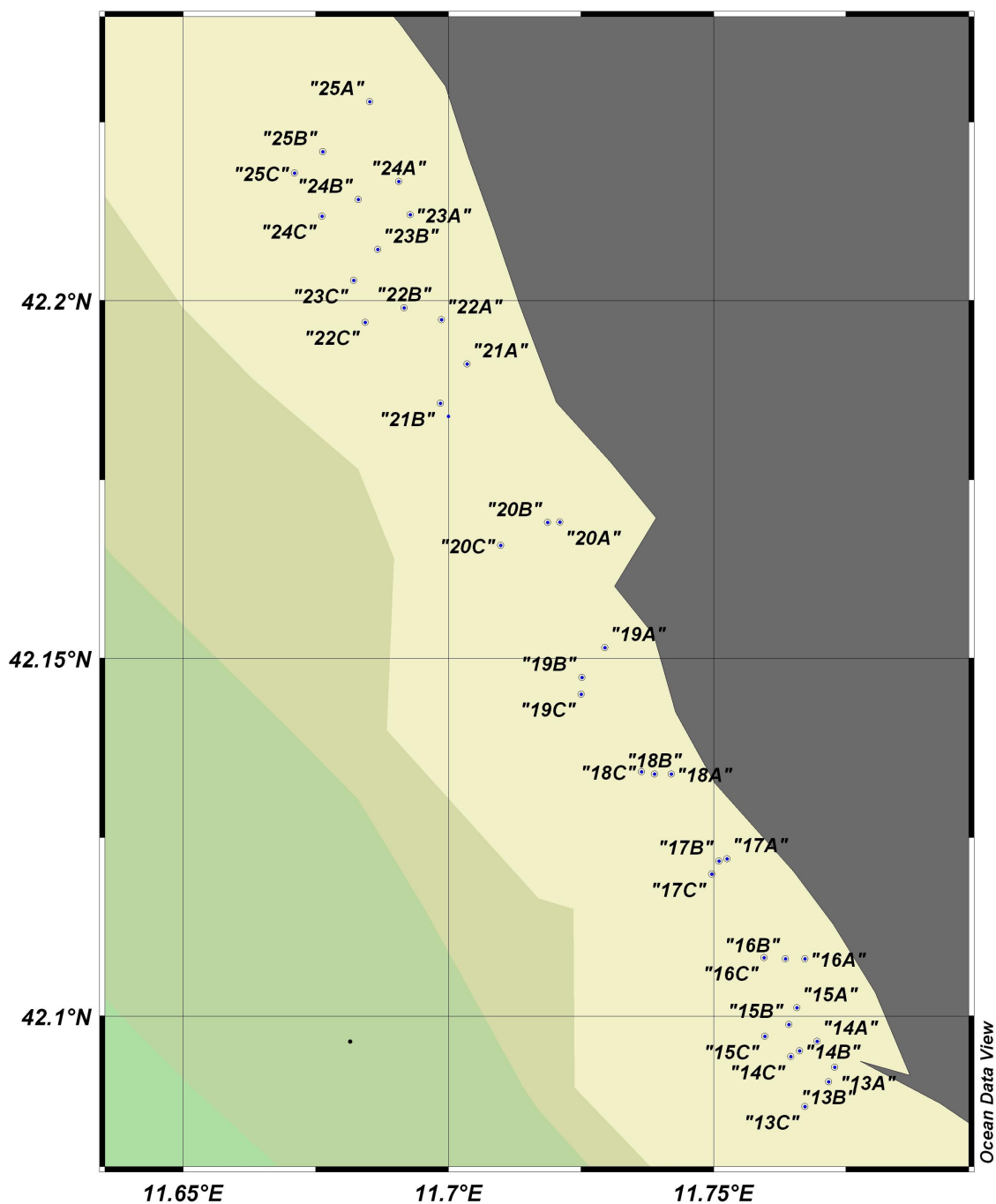


Figura 5.2-1 Piano di campionamento dell'area Nord (Porto di Civitavecchia-S'Agostino)

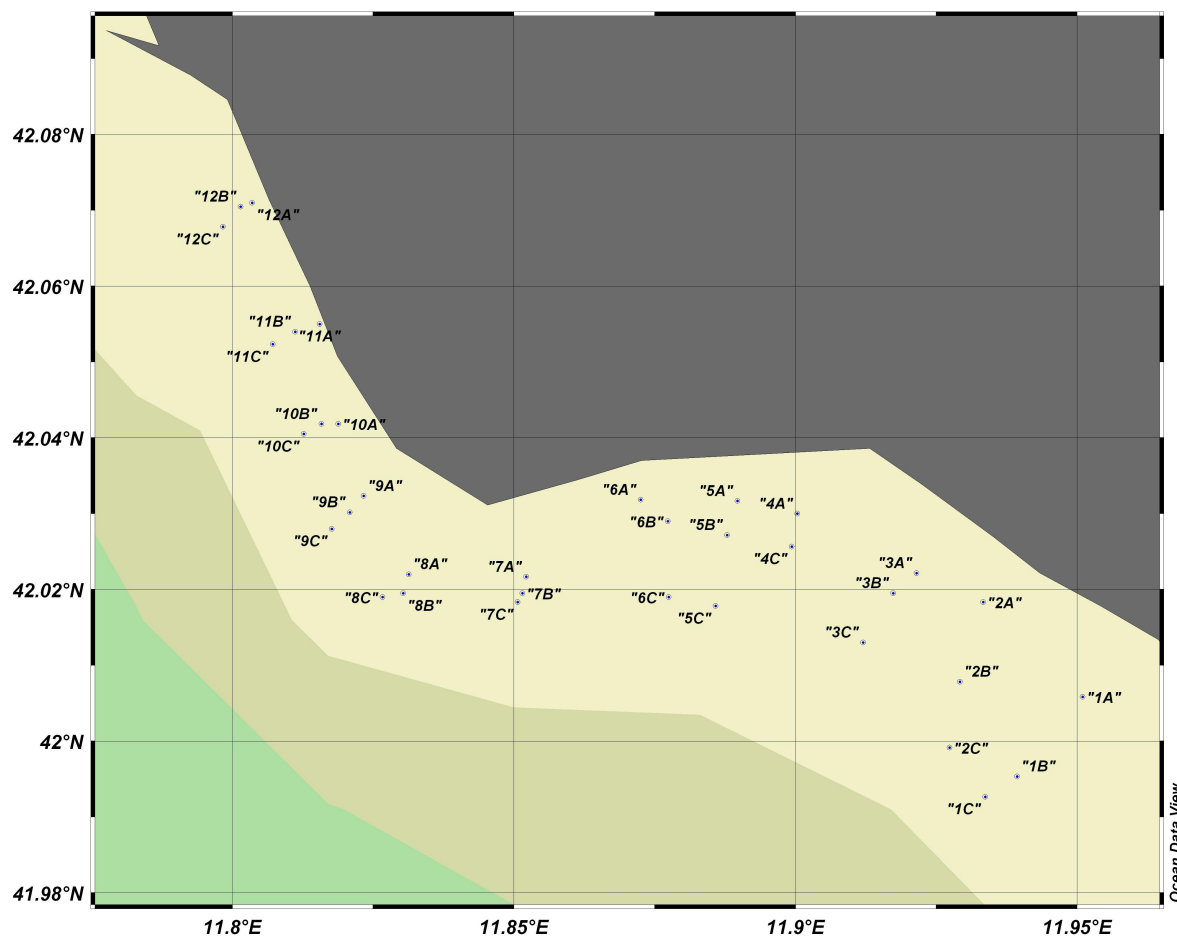


Figura 5.2-2 Piano di campionamento dell'area Sud (Porto di Civitavecchia-Santa Severa)

5.2.1 Materiali e metodi

Su ogni stazione è stato effettuato un profilo di temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto, densità, pH e fluorescenza della clorofilla a mediante batisonda CTD SBE 9/11 plus SEABIRD. La sonda è stata inserita in un campionatore automatico tipo “Carousel” General Oceanics, attrezzato con 12 bottiglie Niskin del volume di 10 L.

Le misure di trasparenza sono state effettuate mediante l'uso di un disco Secchi. Il prelievo d'acqua per le analisi di tipo biologico e chimico è stato effettuato seguendo la seguente sequenza di campionamento: ossigeno disciolto, salinità, batteriologia e nutrienti disciolti.

5.2.2 Risultati

Campagna marzo-aprile 2001

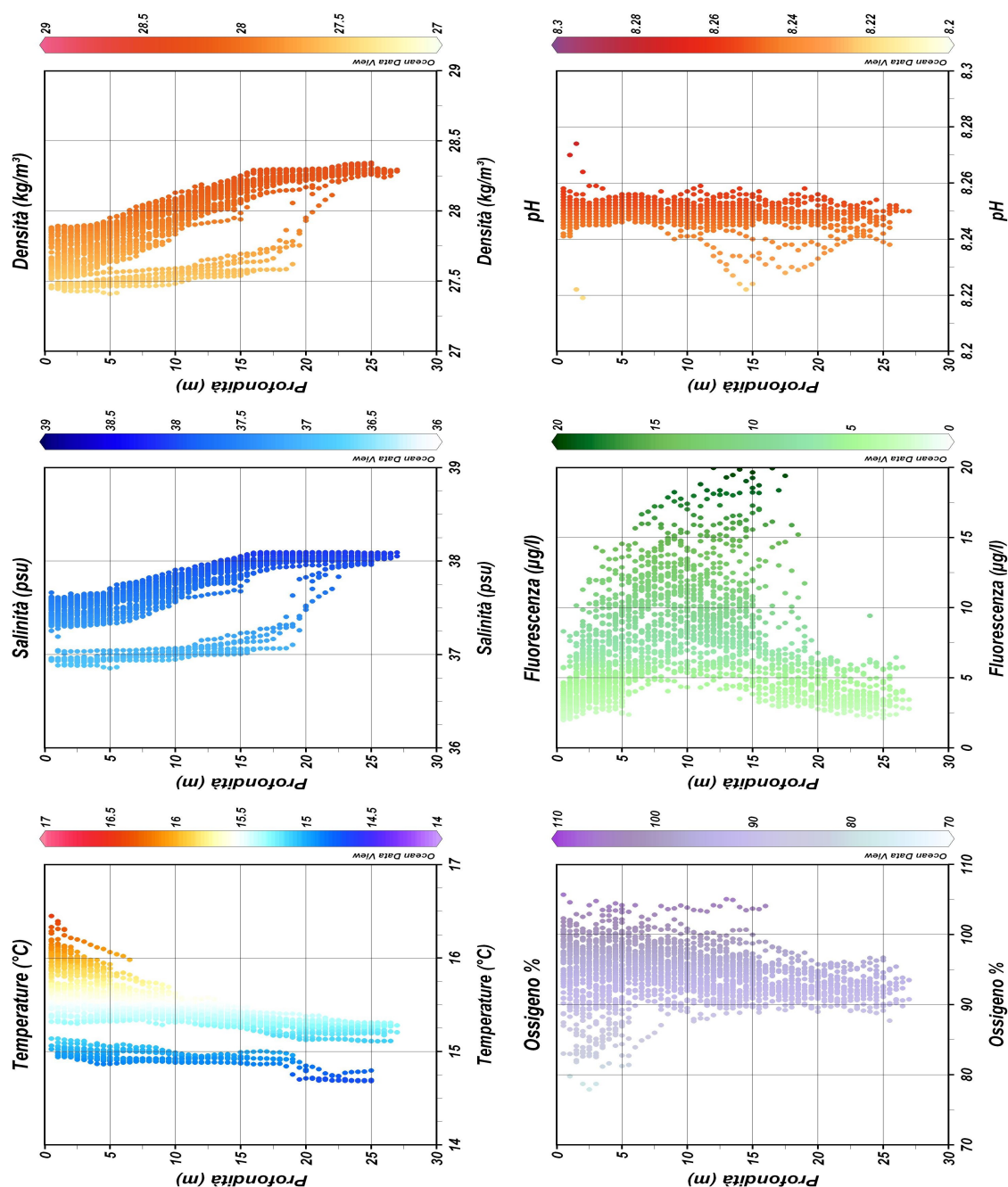


Figura 5.2.2-1. Scatter plot: profili verticali della distribuzione di temperatura, salinità, densità, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla a e pH.

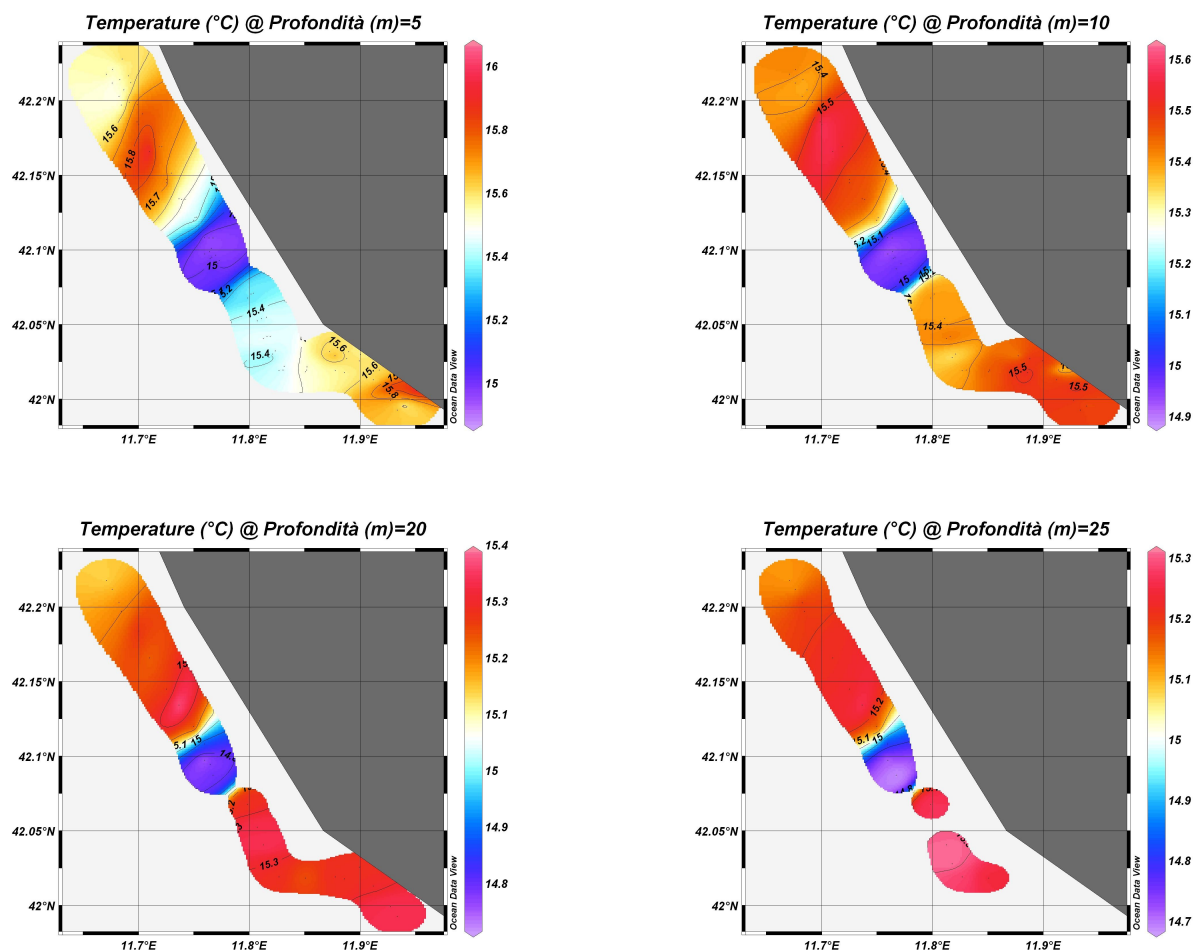


Figura 5.2.2-2. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di temperatura a 5m, 10m, 20m e 25m

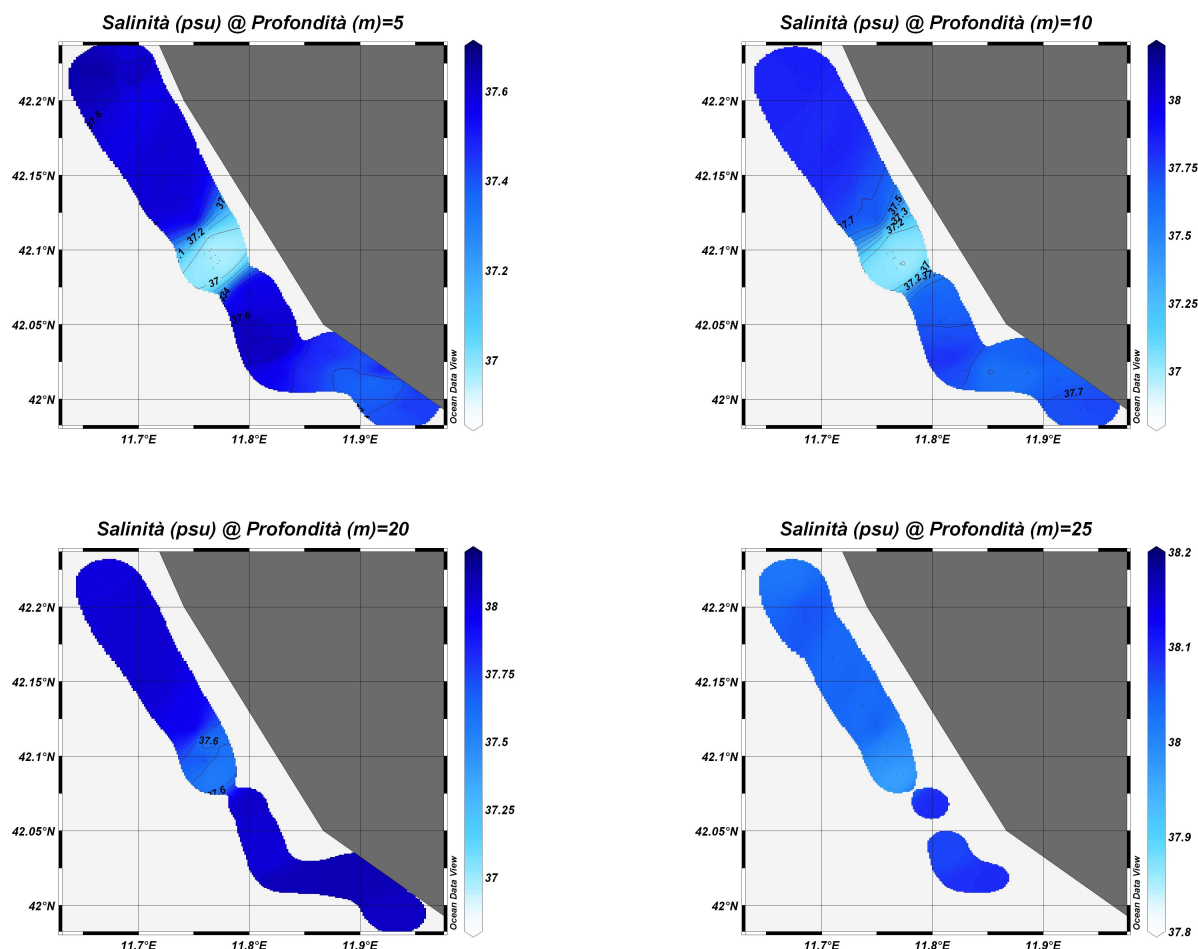


Figura 5.2.2-3. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di salinità a 5m, 10m, 20m e 25m

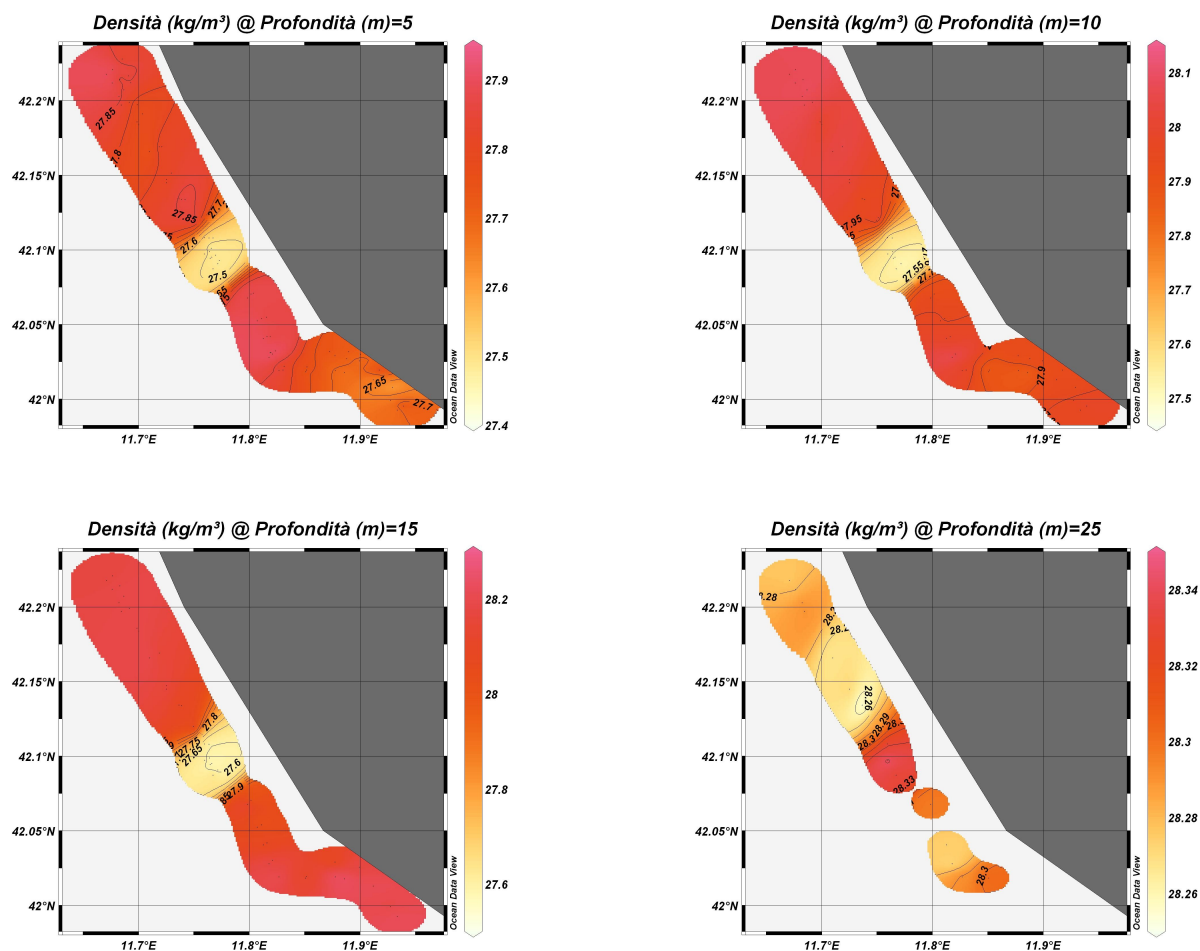


Figura 5.2.2-4. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di densità a 5m, 10m, 15m e 25m

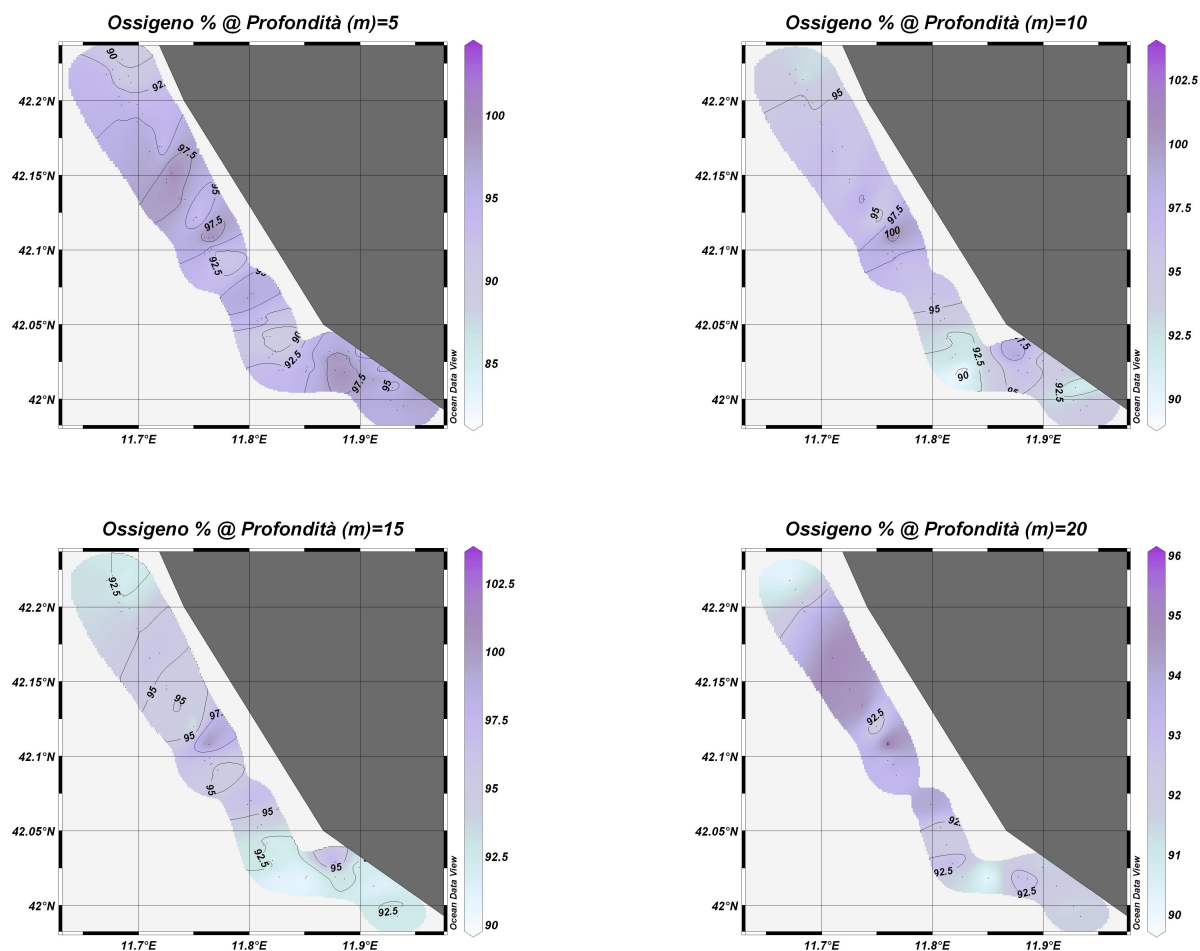


Figura 5.2.2-5. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di ossigeno disciolto a 5m, 10m, 15m e 20m

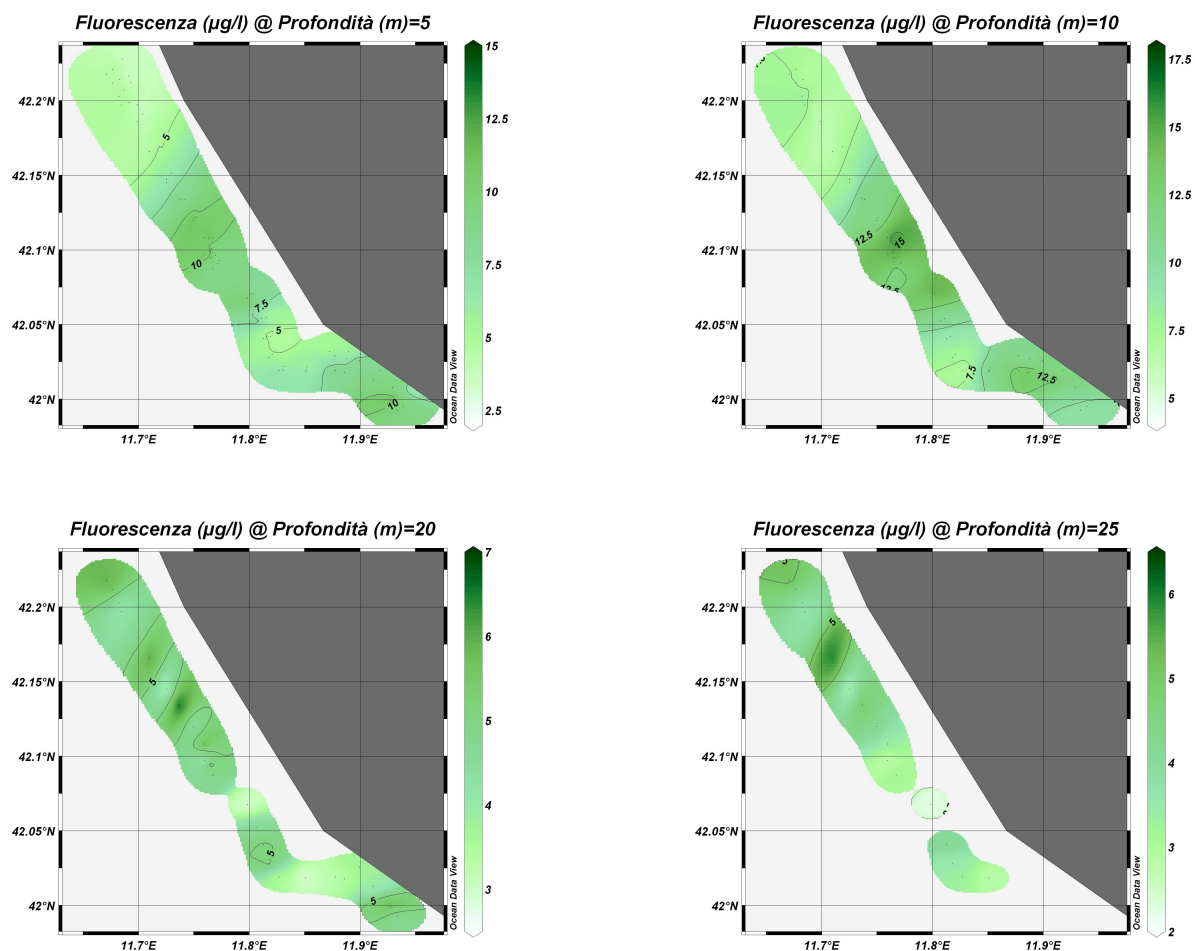


Figura 5.2.2-5. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di fluorescenza della clorofilla *a* a 5m, 10m, 20m e 25m

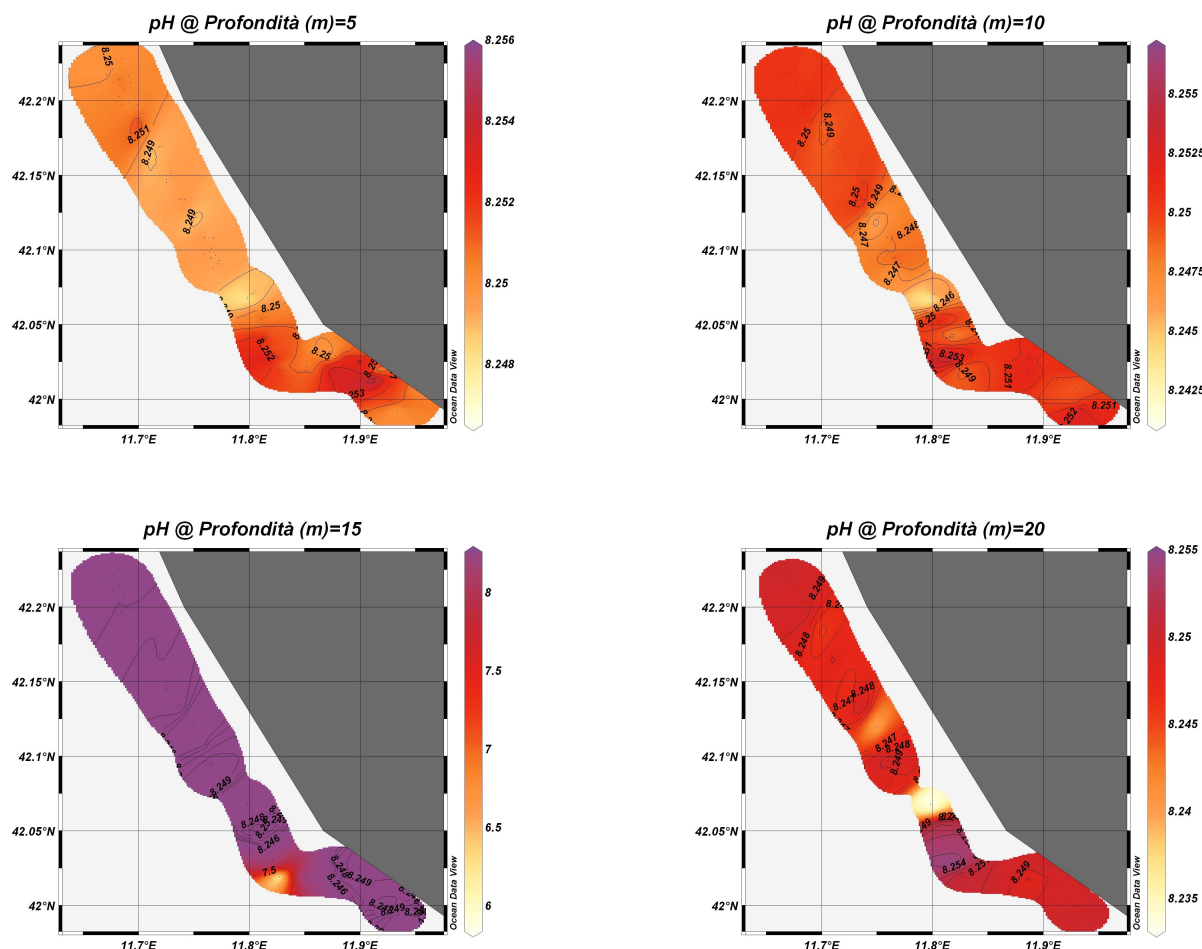


Figura 5.2.2-6. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di pH a 5m, 10m, 20m e 25m

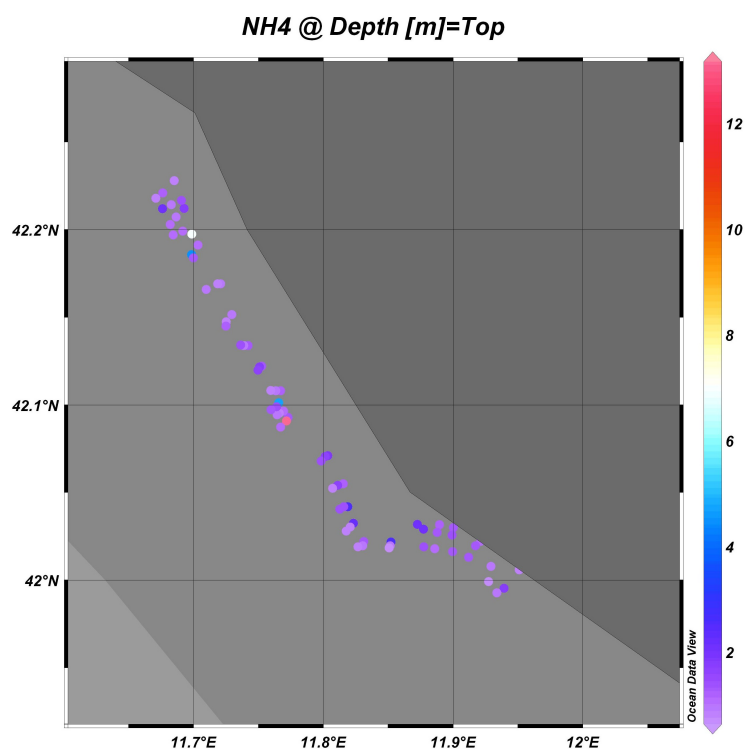


Figura 5.2.2-7. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di NH₄ alla quota superficiale

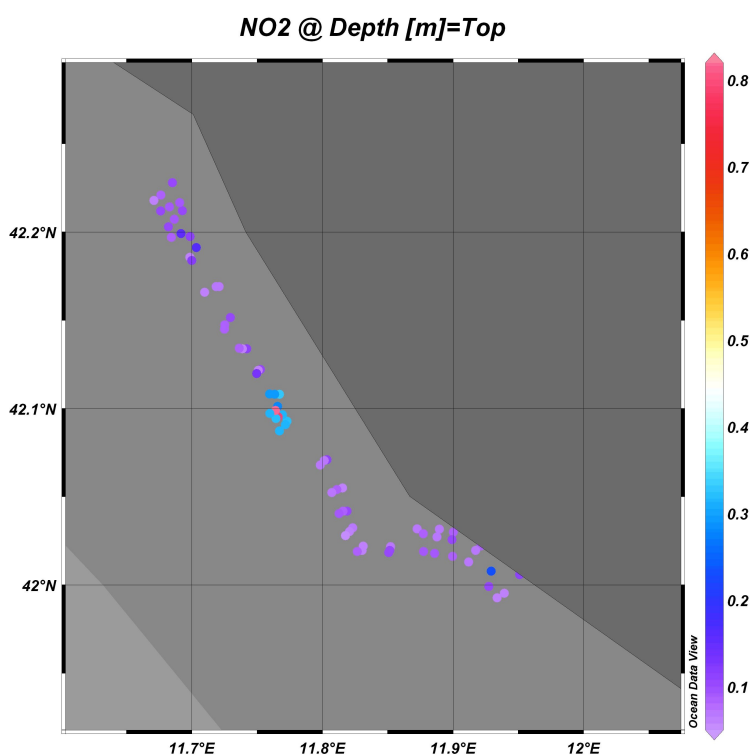


Figura 5.2.2-8. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di NO₄ alla quota superficiale

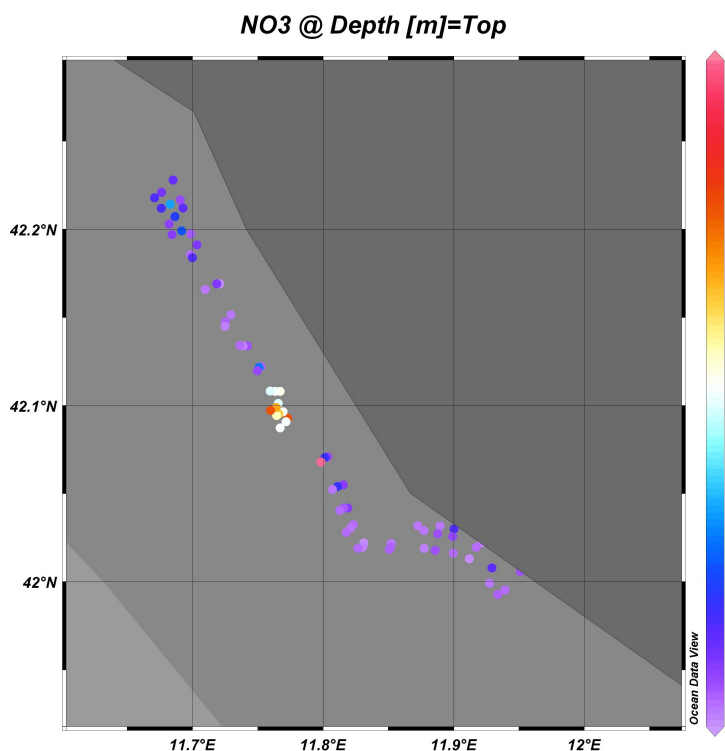


Figura 5.2.2-9. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di NO₃ alla quota superficiale

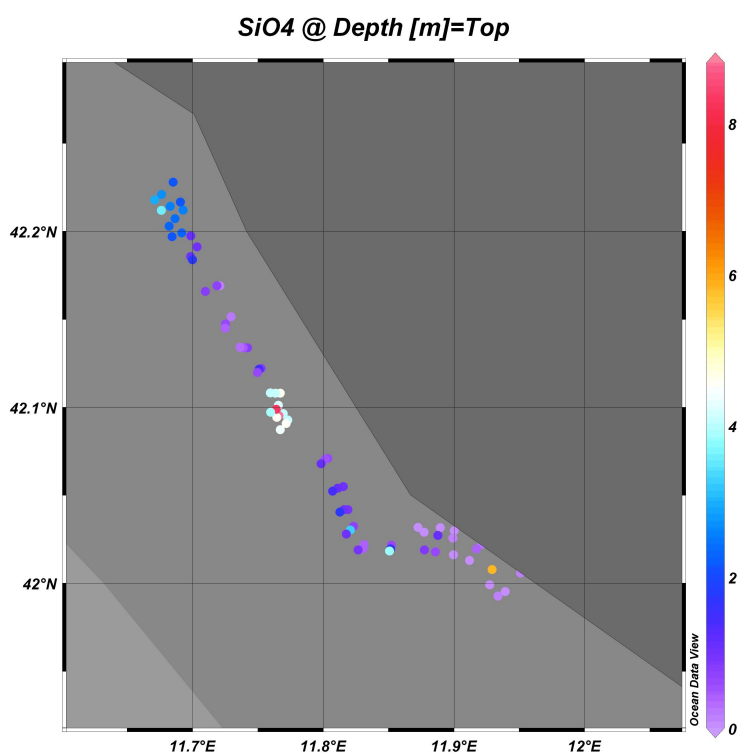


Figura 5.2.2-10. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di SiO₄ alla quota superficiale

Campagna maggio 2001

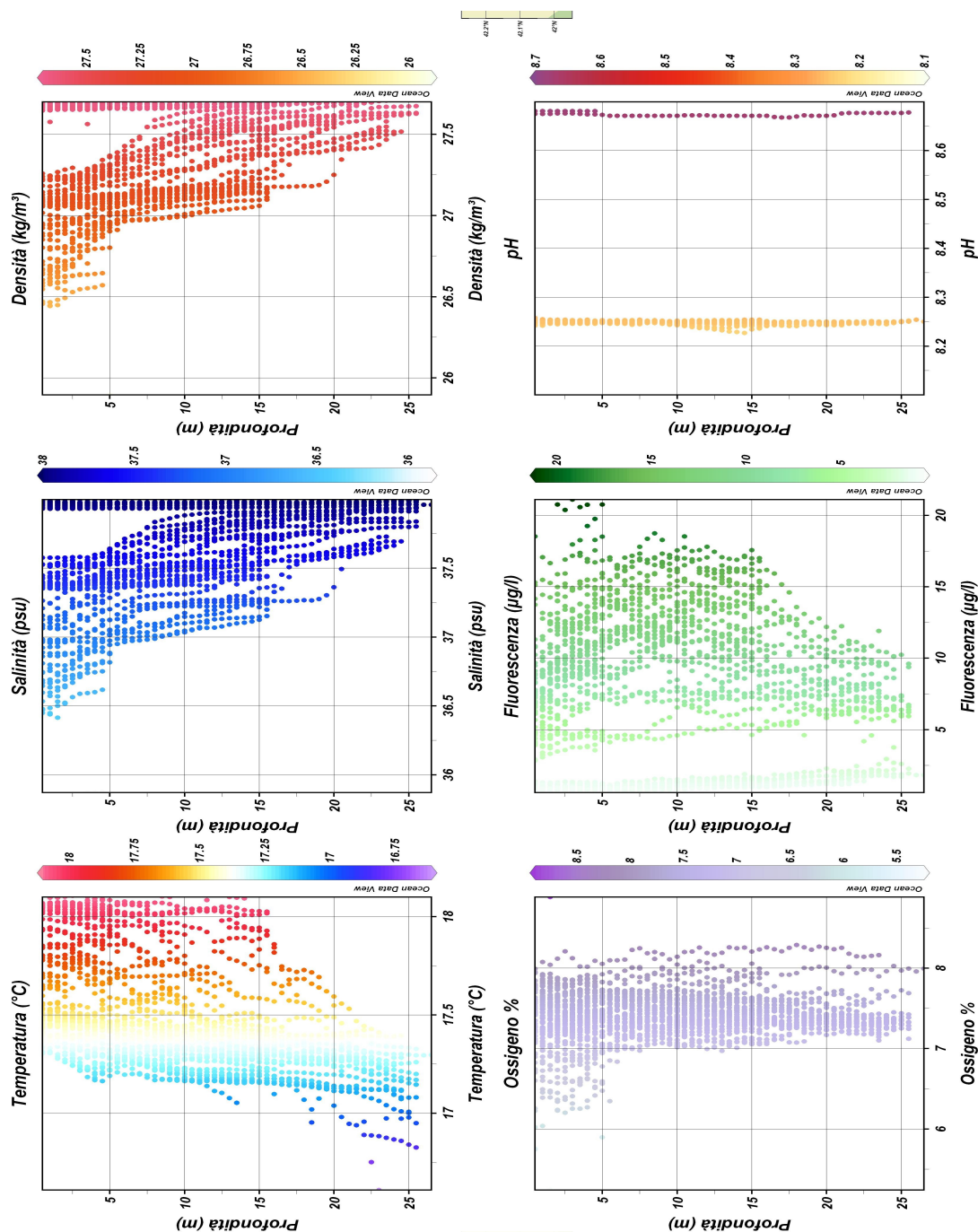


Figura 5.2.2-11. Scatter plot: profili verticali della distribuzione di temperatura, salinità, densità, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla a e pH.

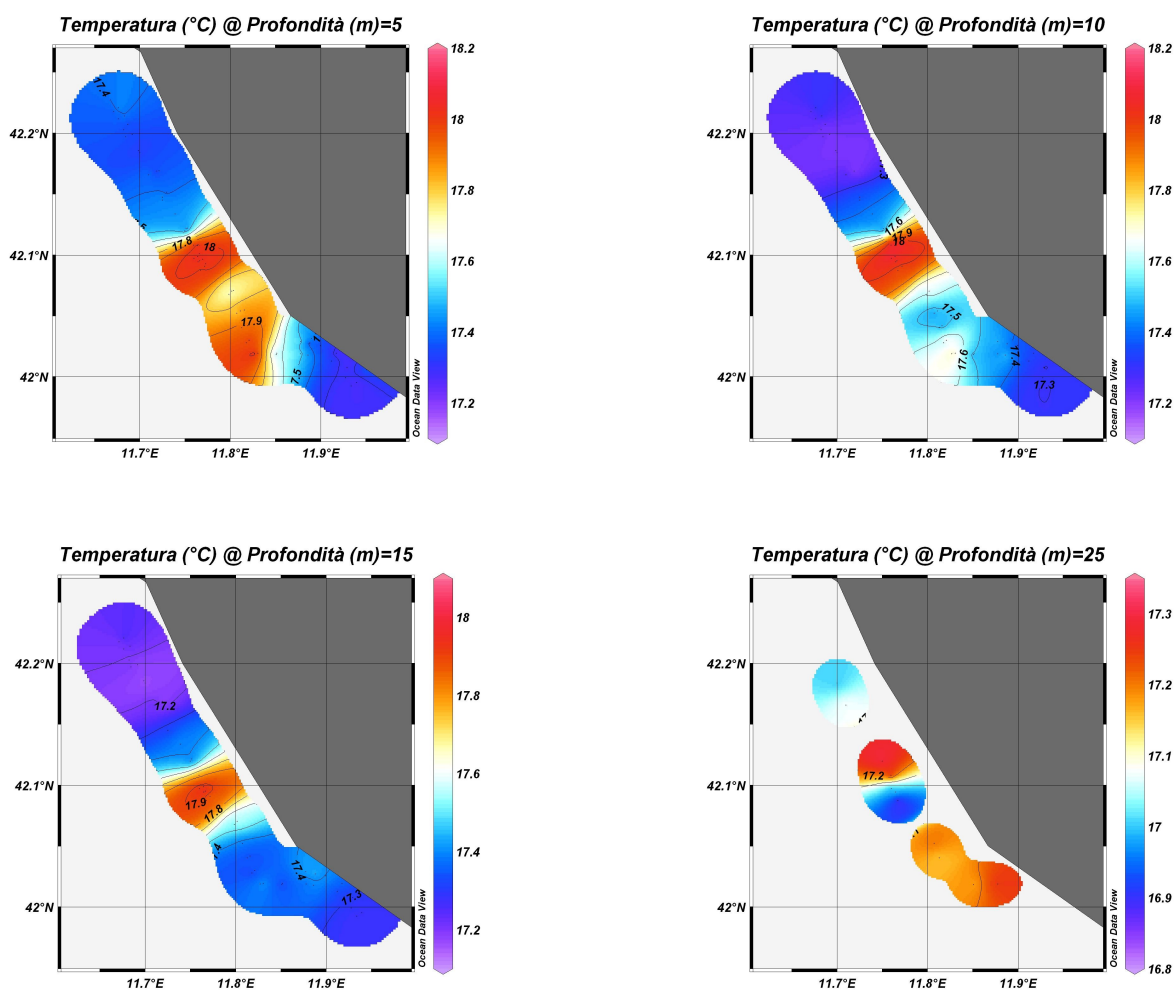


Figura 5.2.2-12. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di temperatura a 5m, 10m, 15m e 25m

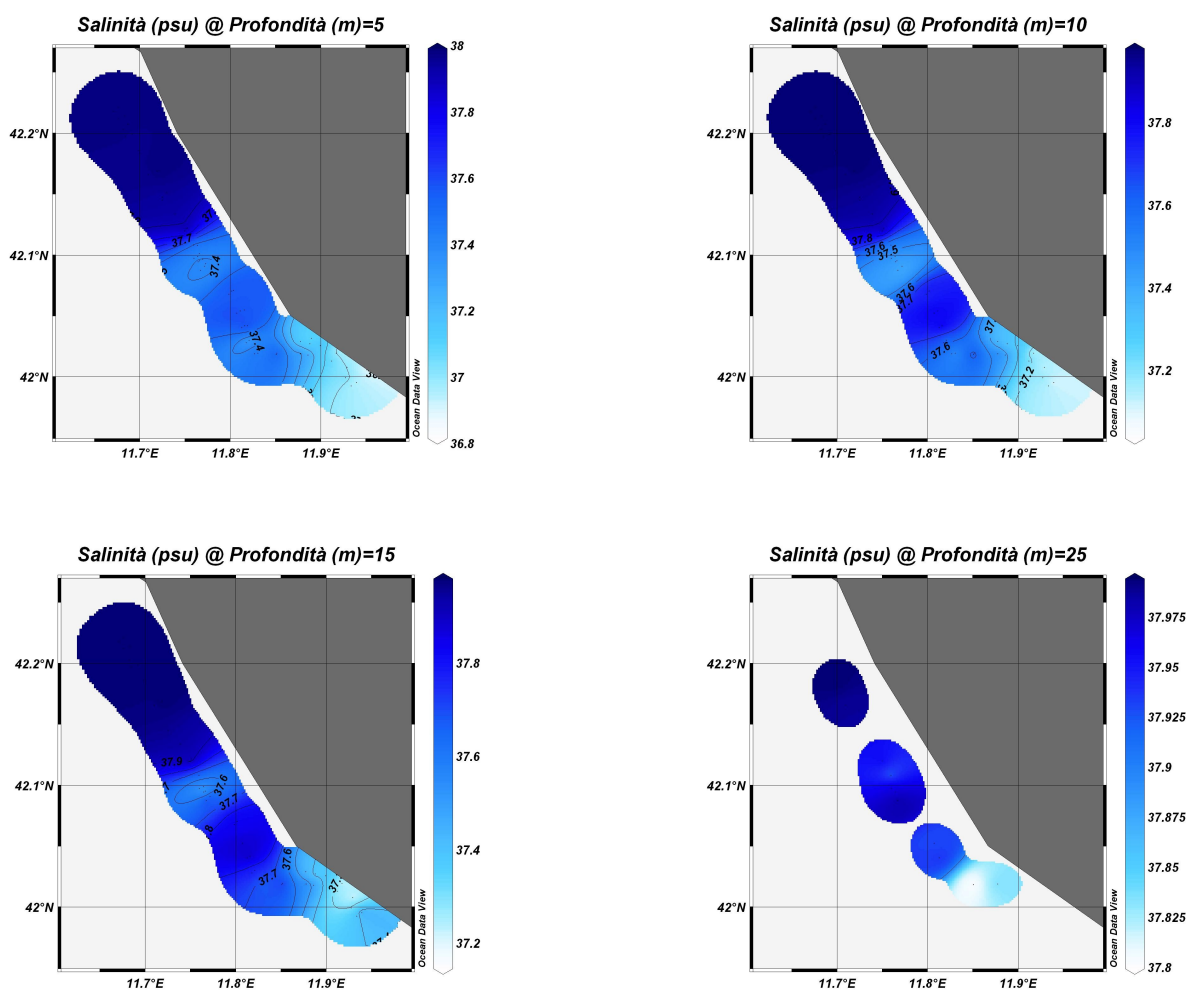


Figura 5.2.2-13. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di temperatura a 5m, 10m, 15m e 25m

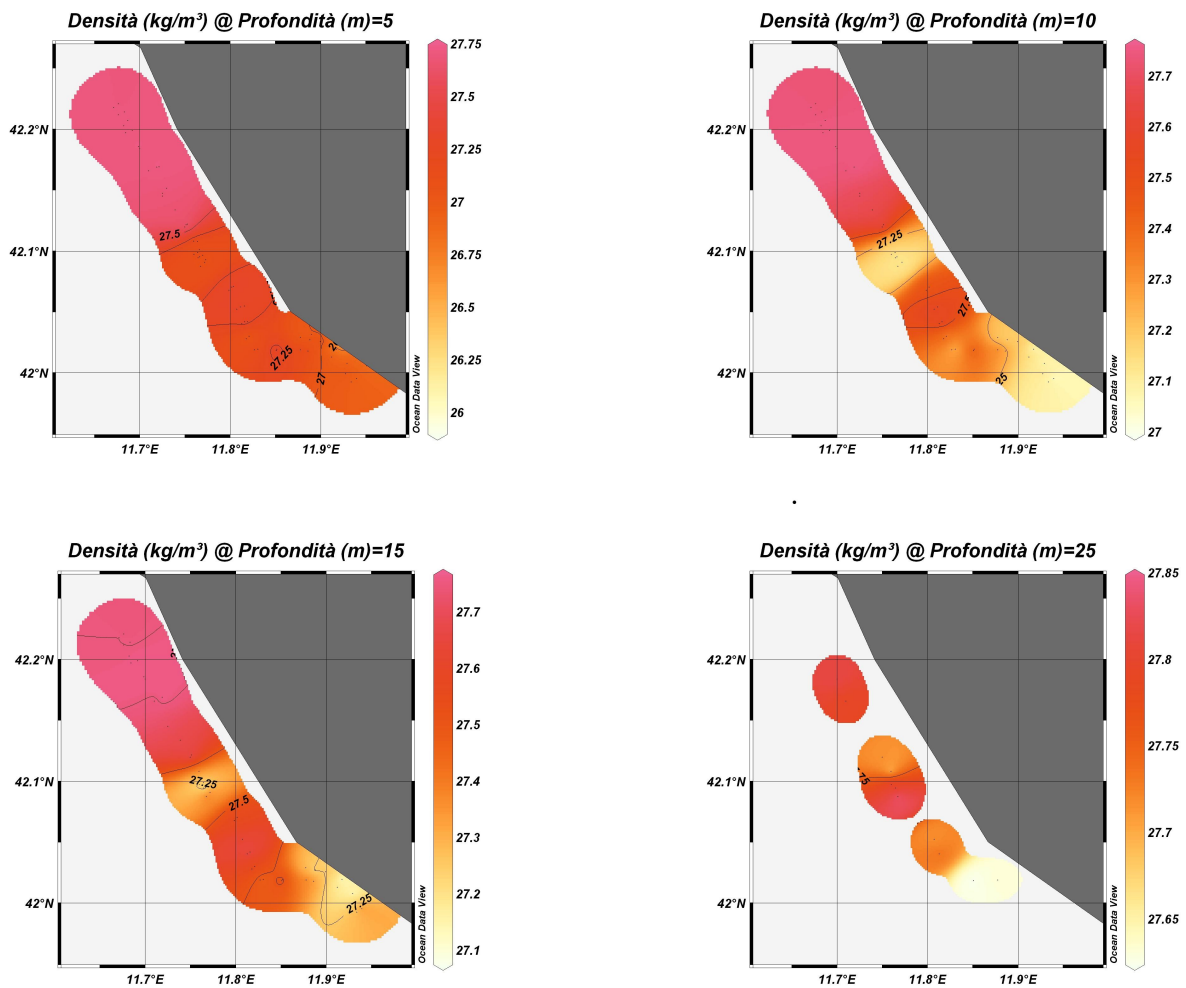


Figura 5.2.2-14. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di densità a 5m, 10m, 15m e 25m

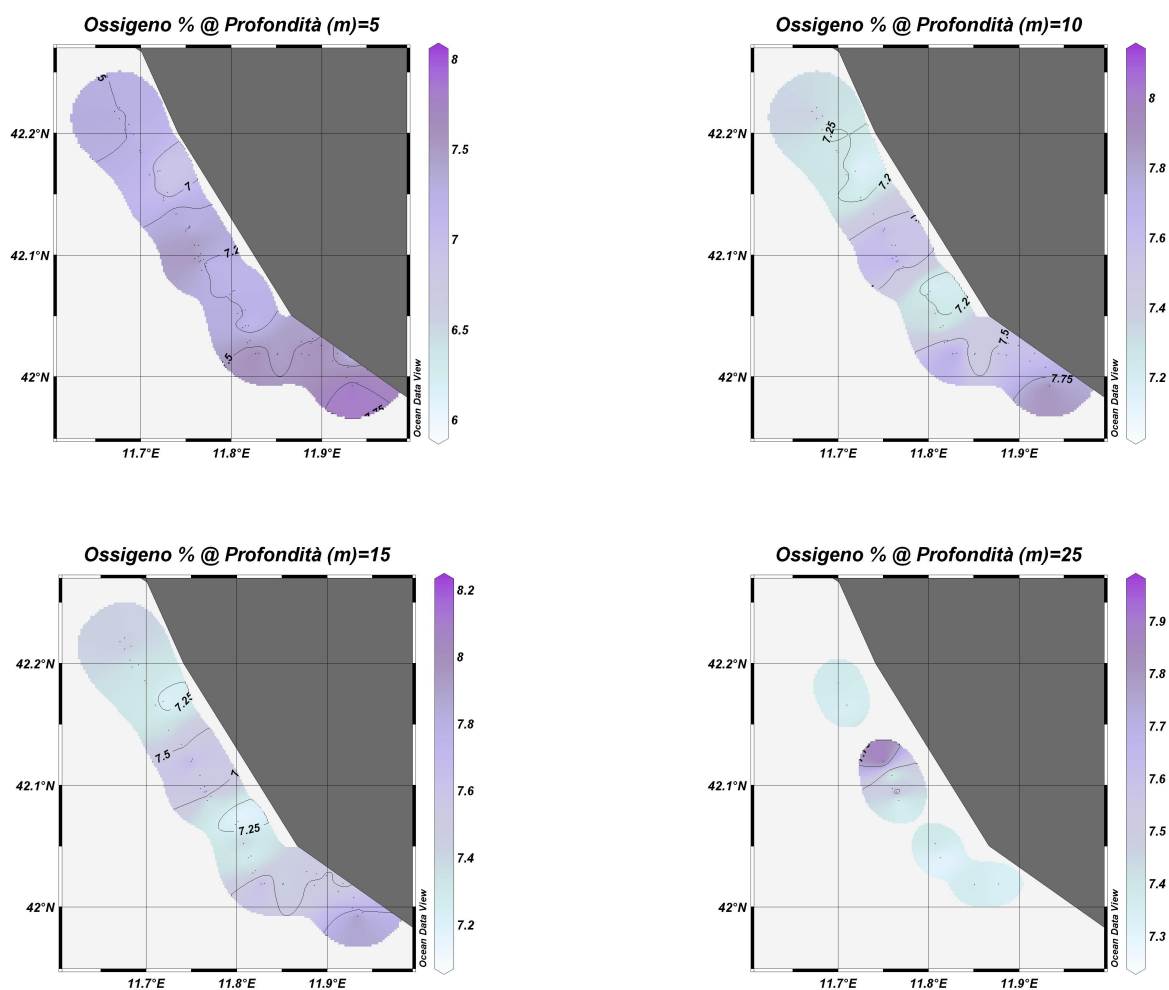


Figura 5.2.2-15. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di ossigeno disciolto a 5m, 10m, 15m e 25m

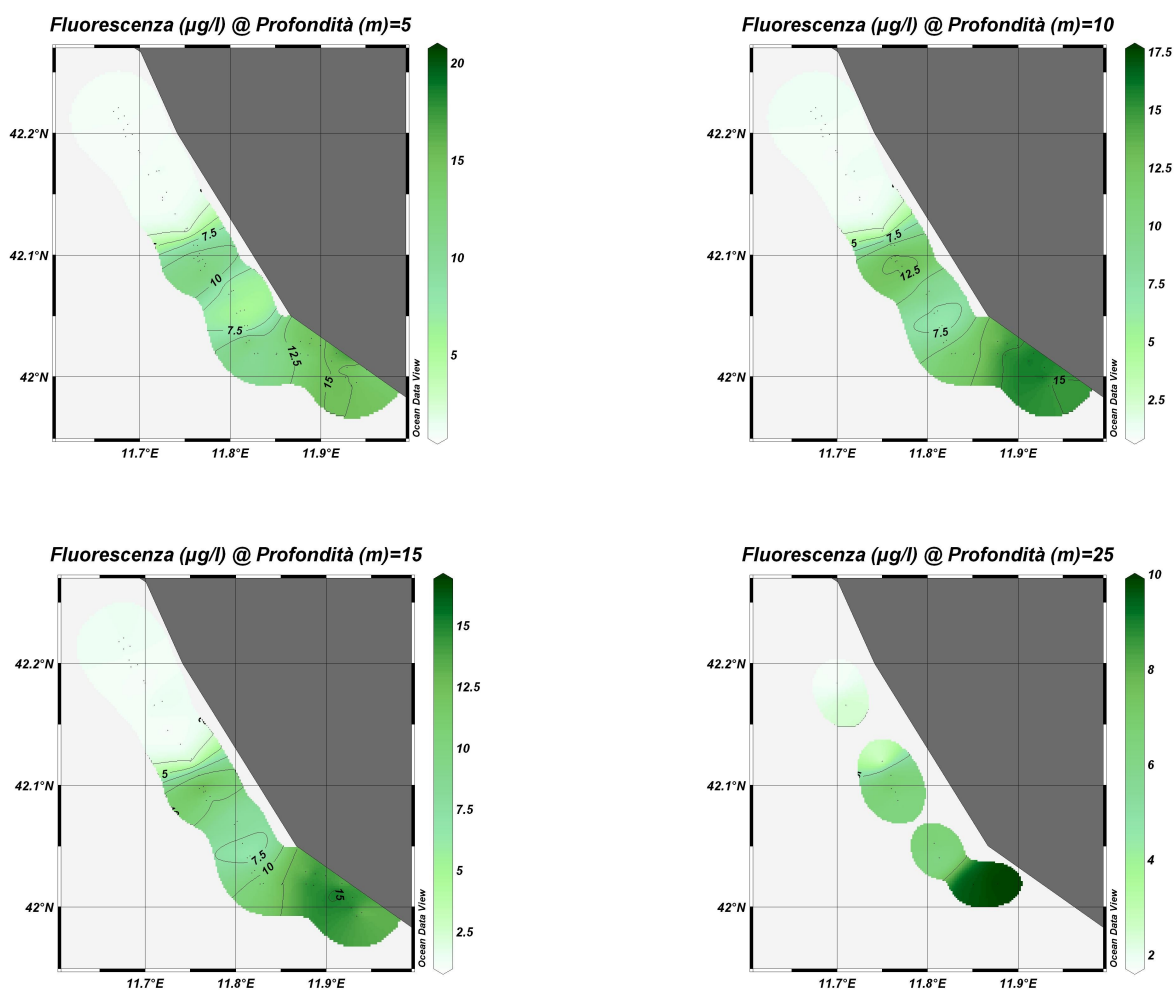


Figura 5.2.2-16. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di fluorescenza della clorofilla *a* a 5m, 10m, 15m e 25m

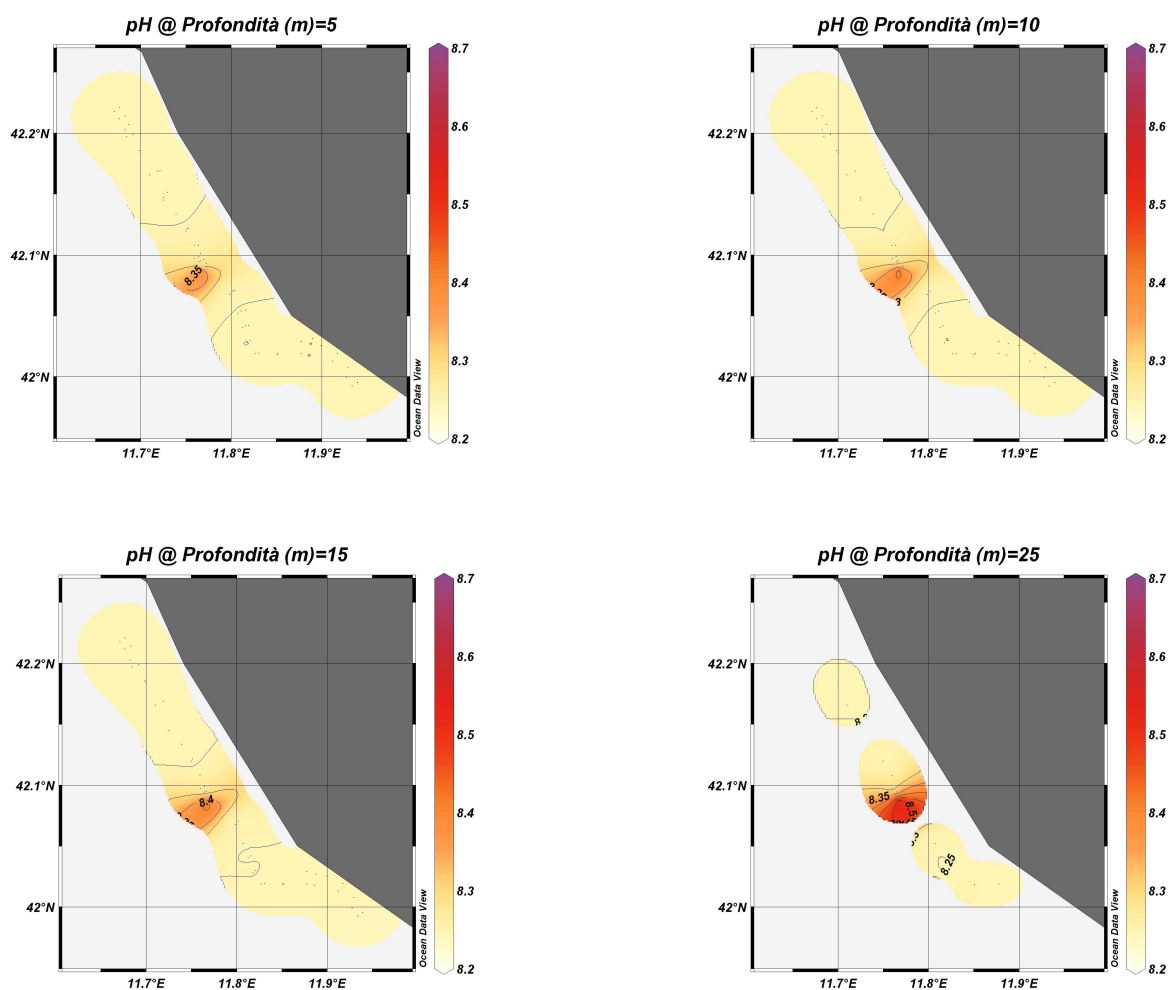


Figura 5.2.2-17. Isosuperfici orizzontali della distribuzione di pH a 5m, 10m, 15m e 25m

5.3 Stazioni di misura fisse

Nel giugno 2007 l'autorità Portuale ha proceduto all'installazione della stazione di controllo della qualità delle acque in banchina, al fine di monitorare la qualità chimico-fisica delle acque e rilevare la presenza di eventuali idrocarburi.

La stazione di monitoraggio è stata installata sulla banchina del molo 26 lato fronte antemurale ad una distanza di circa 5 metri dal segnalamento rosso di ingresso al porto.

5.3.1 Materiali e metodi

La stazione di prossimità presenta una struttura di sostegno, realizzata in acciaio inox AISI 308, che assolve alle seguenti funzioni:

- · Sostegno sonda multiparametrica
- · Sostegno galleggiante sensore idrocarburi
- · Sostegno Pannello solare
- · Sostegno Antenna
- · Sostegno contenitore apparati
- · Ganci di sostegno sonda per operazioni di manutenzione
- · Avvolgi cavo

L'installazione è stata effettuata in maniera tale da non creare intralcio se pur garantendo i requisiti di robustezza necessari per resistere alle sollecitazioni che il mare induce in quel punto.

La stazione si compone dei seguenti apparati:

- · Sonda multiparametrica modello EM-MPxS
- · Sensore rilevamento idrocarburi modello DHP100
- · Sistema di acquisizione dati modello CR1000
- · Sistema di trasmissione dati modello GSM Industrial Modem
- · Sistema di alimentazione a pannello solare da 20W, coppia di batterie tampone per complessivi 15Ah e regolatore di carica.



Fig. 5.3.1-1 : Stazione in banchina

Sonda multiparametrica EM-MPxS

La sonda multiparametrica EM-MPxS, ingegnerizzata dalla EM.ES S.r.L., è realizzata in Derlin, acciaio AISI 316 con protezioni in rame.

La sonda consente l'acquisizione dei seguenti parametri:

- · Conducibilità elettrica
- · Temperatura dell'acqua
- · PH
- · Ossigeno disciolto

- · Salinità (parametro calcolato)
- · Torbidità
- · Profondità

La sonda è altresì predisposta per l'installazione di un sensore di clorofilla e di un sensore con uscita 4-20 mA immergibile per la misura di un qualsivoglia parametro in aggiunta a quelli già acquisiti.

La EM-MPxS consente il collegamento in cascata con altre sonde dello stesso modello per la realizzazione di catene di acquisizione a diverse profondità.

La sonda è dotata di un sistema anti fouling in rame passivo.

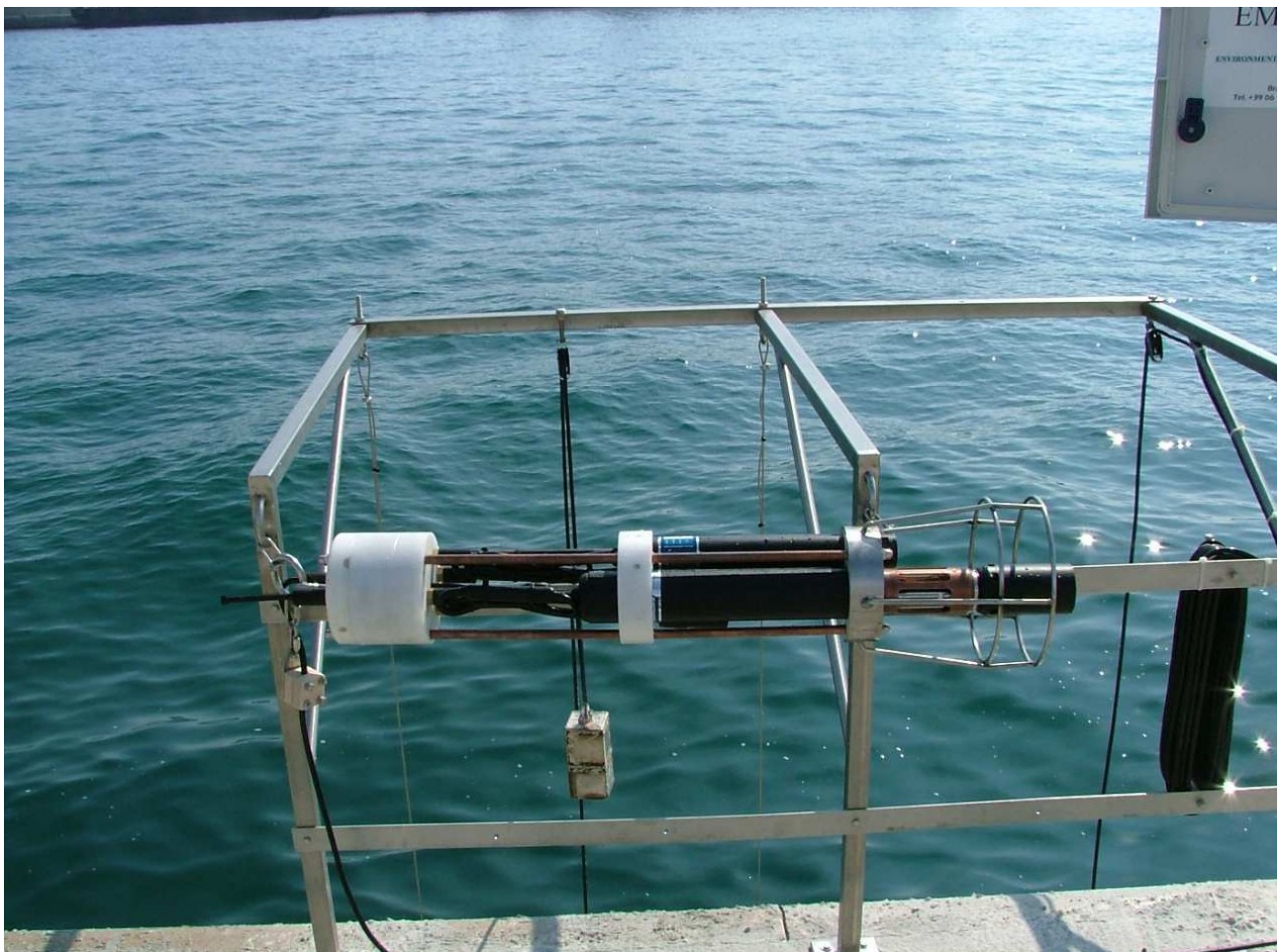


Fig. 5.3.1-2 : Sonda Multiparametrica EM-MPxS in fase di preparazione agganciata alla struttura di supporto per le operazioni di manutenzione

Caratteristiche dei sensori:

Sensore	Range	Precisione	Linearità	Tipo sensore
Conducibilità	0-70.000 μ S/cm	$\pm 0.5\%$ fs	$\pm 0.2\%$ fs	GreenSpan TOROIDAL CONDUCTIVITY SENS®
Temperatura	0 -50°C	$\pm 0.05^\circ\text{C}$	NA	PT100
PH	0-14 PH	$\pm 0.1\text{PH}$	$\pm 0.5\%$ fs	Elettrodo in gel con doppia giunzione
Ossigeno Disciolto	0-200% 0-20ppm	$\pm 0.5\%$ fs $\pm 0.2\%$ ppm	$\pm 0.5\%$ fs	GreenSpan ROD SENS®
Torbidità	0-1000NTU	$\pm 1\%$ fs	$\pm 1.5\%$ fs	Backscatter Infrared 860nm
Profondità	0-40mt	$\pm 0.1\%$ fs	0.1%	Strain gauge ceramico Greenspan

Sistema di acquisizione dati

Il sistema di acquisizione dati è costituito da un datalogger ad elevate prestazioni modello CSI CR1000 sn. 5471, custodito all'interno di un contenitore stagno IP65 modello GW46002, fissato alla struttura di sostegno mediante apposite staffe realizzate in acciaio inox AISI 308.



Fig. 5.3.1-3: Vista del contenitore apparati al cui interno sono visibili l'acquisitore dati CR1000, il modem GSM, le batterie ed il regolatore di carica.

Il Datalogger ha la funzione di gestire le acquisizioni dalla sonda multiparametrica e dal sensore di idrocarburi, trasferire i dati al CED di Autorità portuale e gestire l'accensione e lo spegnimento dei vari apparati nei periodi di non impiego.

5.3.2 Risultati

Di seguito vengono presentati alcuni esempi dei grafici ottenuti dall'elaborazione delle serie temporali dei dati acquisiti con la sonda multiparametrica.

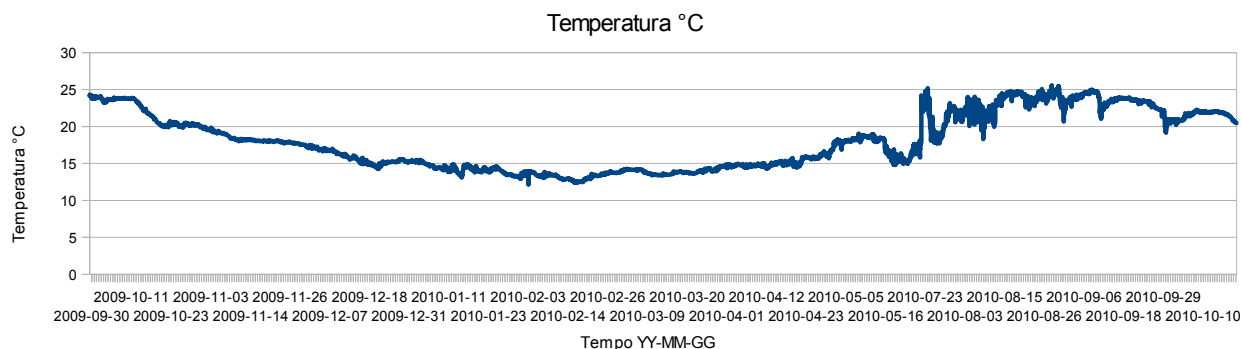


Fig. 5.3.2-1 Andamento della temperatura dell'acqua nel periodo compreso tra il 30/09/2009 ed il 10/10/2010

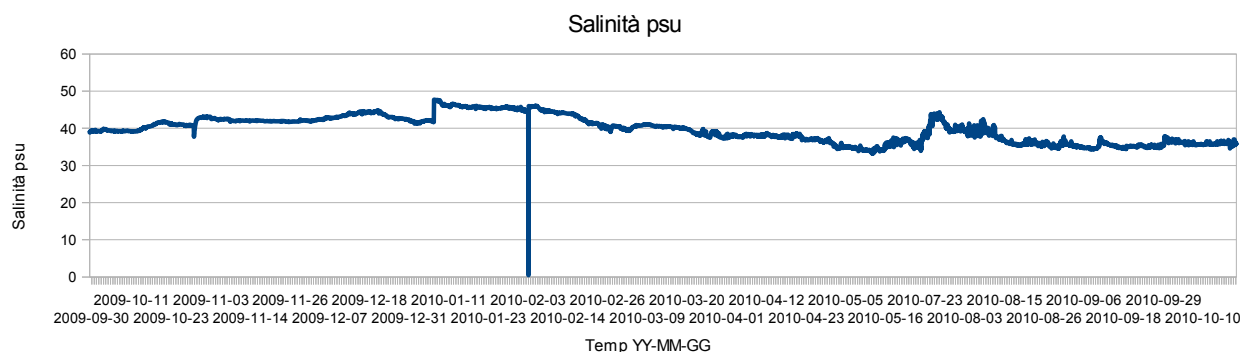


Fig. 5.3.2-2 Andamento della salinità nel periodo compreso tra il 30/09/2009 ed il 10/10/2010

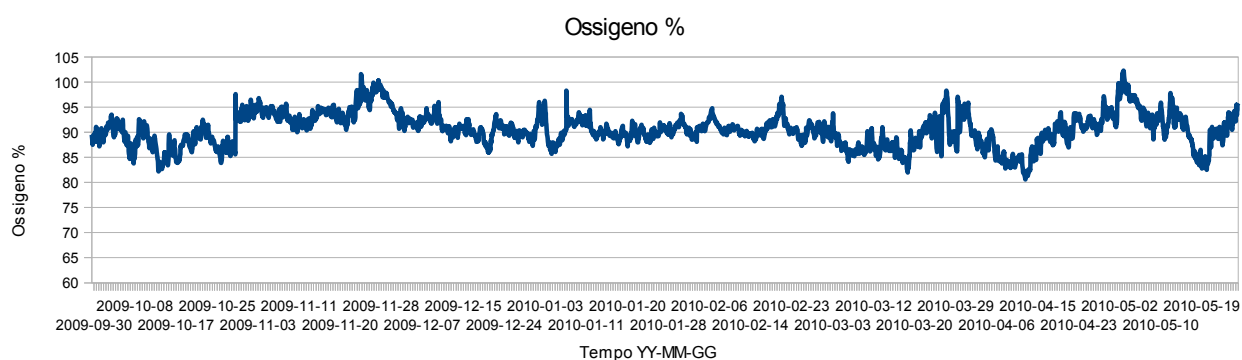


Fig. 5.3.2-3 Andamento dell'ossigeno nel periodo compreso tra il 30/09/2009 ed il 10/10/2010

5.4 Campagne di misura Toscana

Le indagini oceanografiche effettuate dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina sono state svolte nel tratto di costa compreso tra Capo Linaro e Sant'Agostino nei periodi di Agosto 2008, Luglio 2009 e Gennaio 2009. Durante le campagne di misura sono state monitorate circa 30 stazioni, distribuite in 22 transetti, come riportato in figura 5.4-1

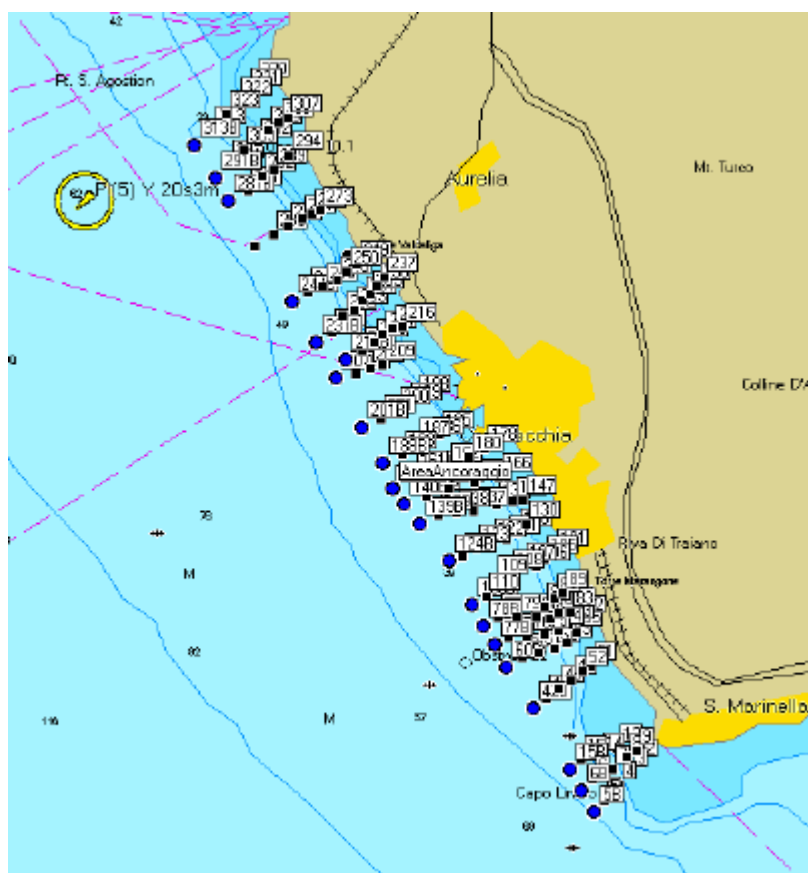


Figura 5.4-1 Piano di campionamento effettuato dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (DEB-Università della Toscana) per la caratterizzazione della colonna d'acqua nell'area compresa tra Capo Linaro e Sant'Agostino.

5.4.1 Materiali e metodi

In ogni punto di campionamento sono state effettuate misure di temperatura conducibilità, ossigeno disciolto, pH, potenziale di ossidoriduzione e fluorescenza della clorofilla a lungo la

colonna d'acqua mediante piattaforme e sonde multiparametriche.

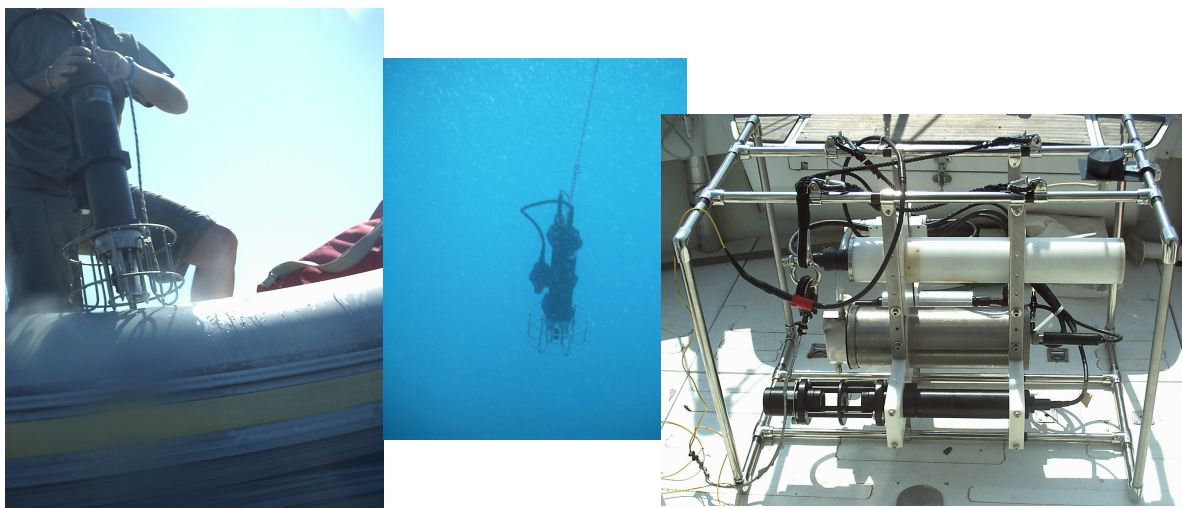


Fig. 5.4.1-2 Piattaforme e sonde multiparametriche per il monitoraggio costiero.

I dati sono stati poi processati ed elaborati con specifici programmi di interpolazione, al fine di rappresentare le variabili in profili verticali, sezioni verticali profondità-distanza ed in mappe orizzontali che rappresentano le isosuperfici a determinate profondità.

5.4.2 Risultati

Di seguito vengono riportate le rappresentazioni delle distribuzioni a differenti profondità delle seguenti variabili: temperatura, salinità, densità, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla *a*, acquisite durante la campagna di agosto 2008 dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina.

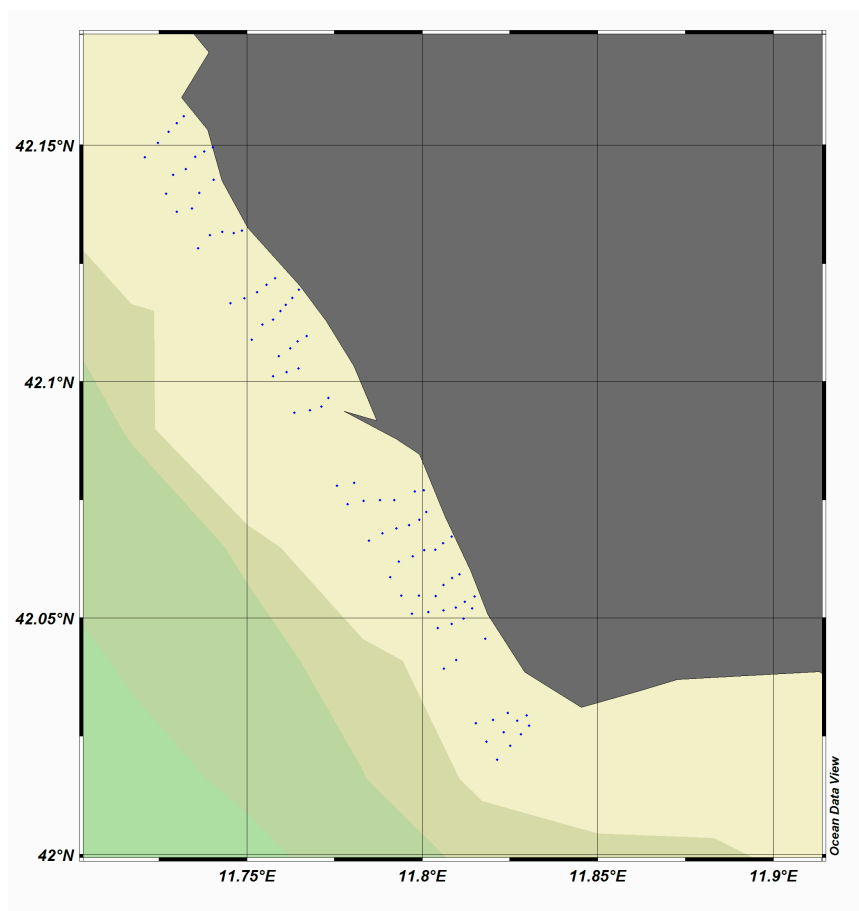


Fig. 5.4.2-1 Piano di campionamento

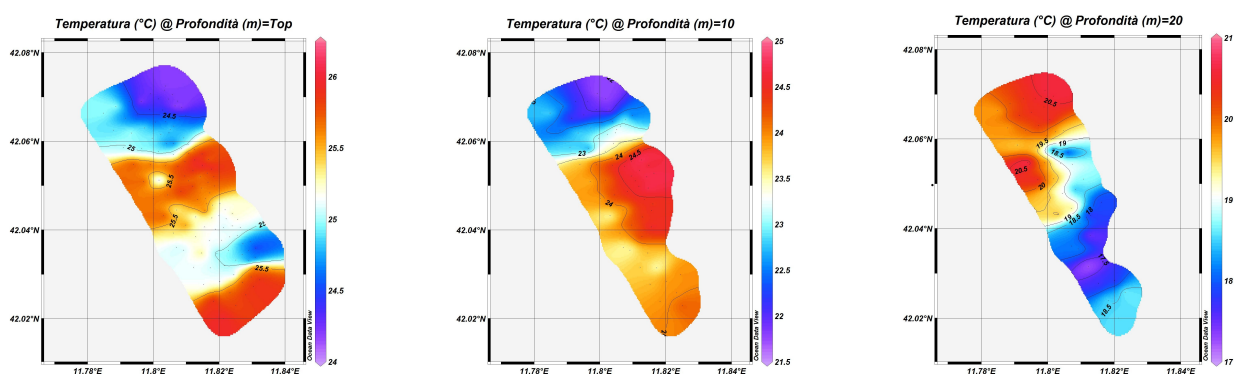


Fig. 5.4.2-2 Isosuperfici della distribuzione della temperatura in superficie, 10m e 20m

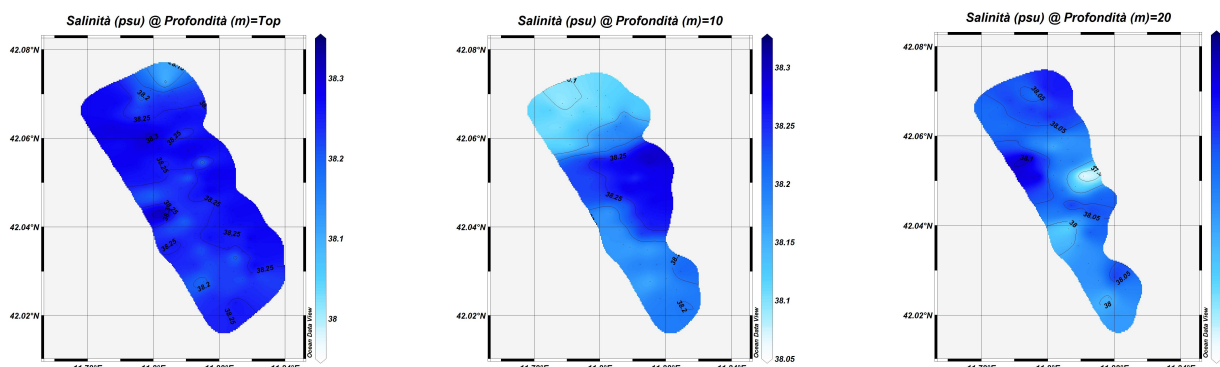


Fig. 5.4.2-3 Isosuperfici della distribuzione della salinità in superficie, 10m e 20m

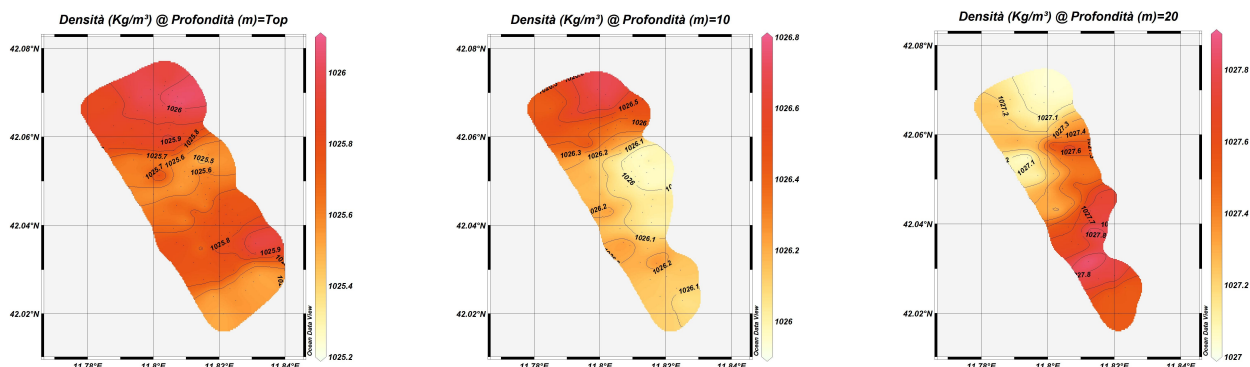


Fig. 5.4.2-4 Isosuperfici della distribuzione della densità in superficie, 10m e 20m

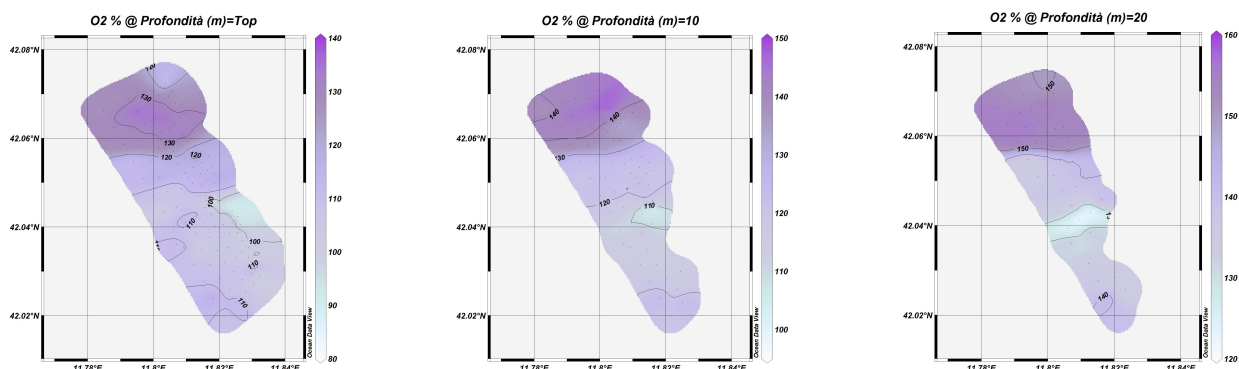


Fig. 5.4.2-5 Isosuperfici della distribuzione dell'ossigeno disciolto in superficie, 10m e 20m

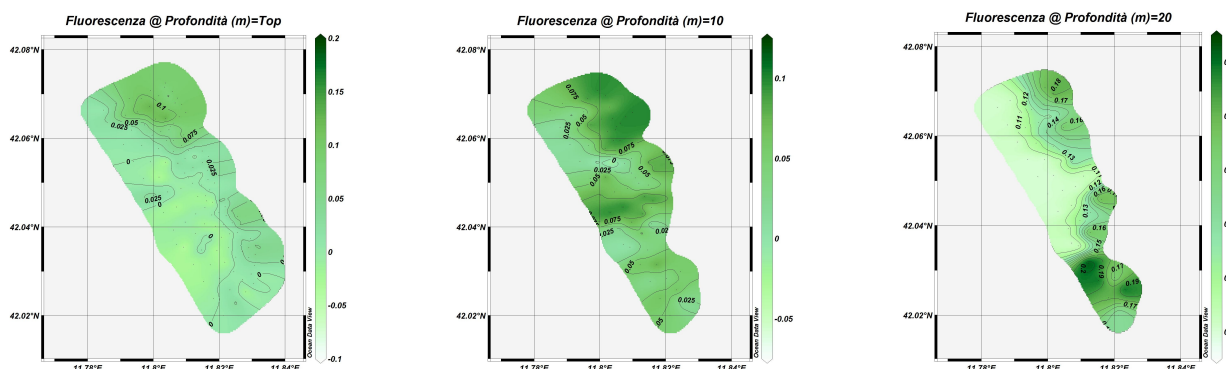


Fig. 5.4.2-6 Isosuperfici della distribuzione della fluorescenza della clorofilla *a* in superficie, 10m e 20m

Di seguito vengono riportate le rappresentazioni delle distribuzioni a differenti profondità delle seguenti variabili: temperatura, salinità, densità, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla *a*, acquisite durante la campagna di gennaio 2009 dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina.

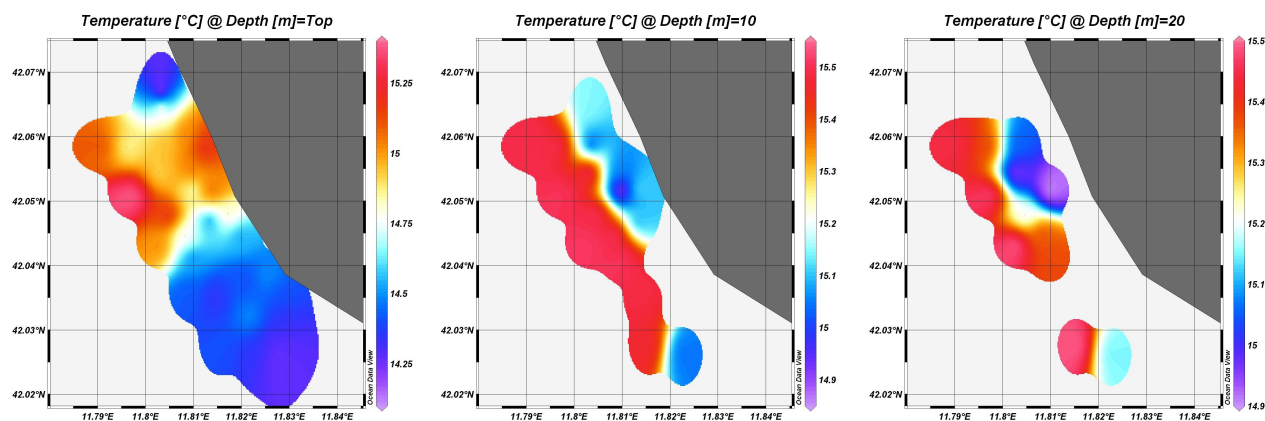


Fig. 5.4.2-7 Isosuperfici della distribuzione della temperatura in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra Capo Linaro ed il Porto di Civitavecchia

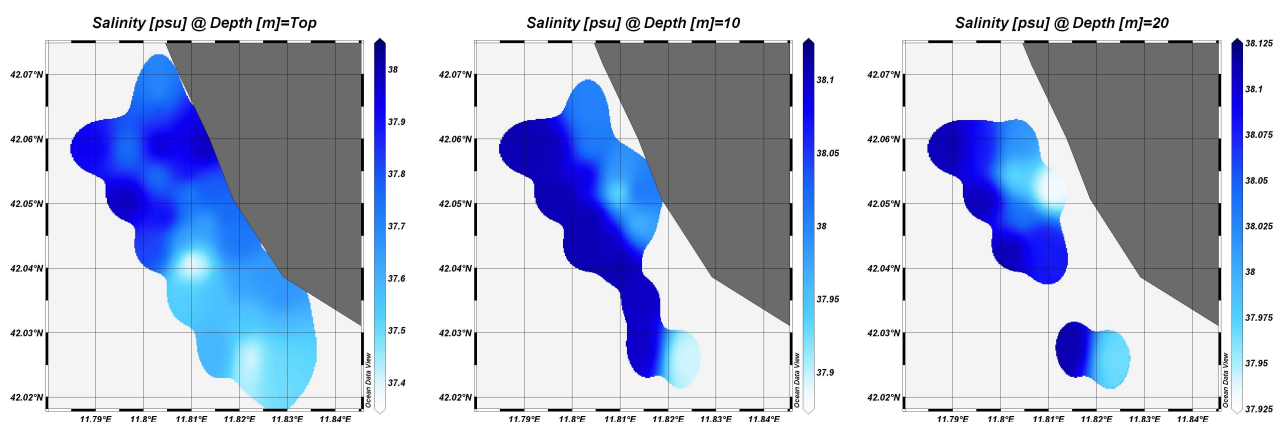


Fig. 5.4.2-8 Isosuperfici della distribuzione della salinità in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra Capo Linaro ed il Porto di Civitavecchia

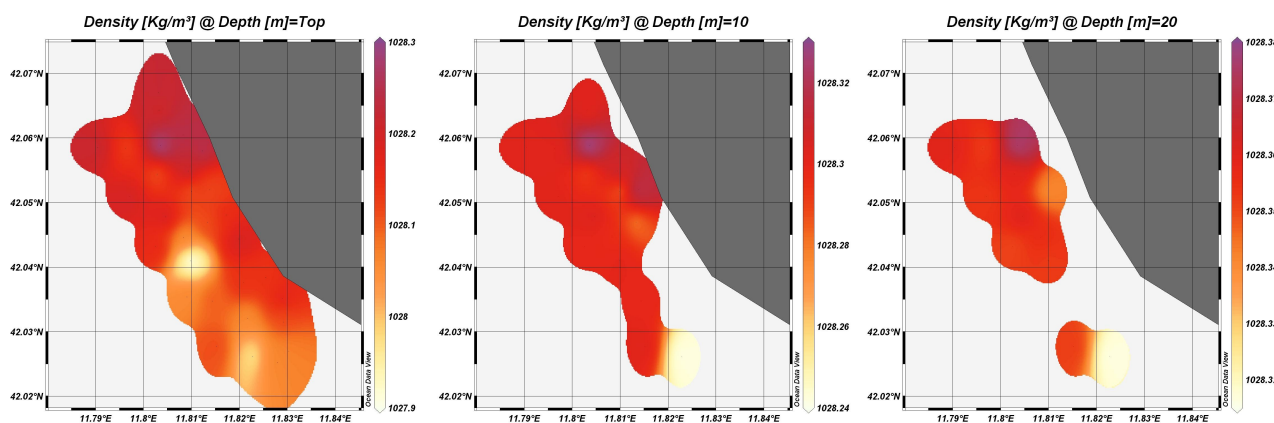


Fig. 5.4.2-9 Isosuperfici della distribuzione della densità in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra Capo Linaro ed il Porto di Civitavecchia

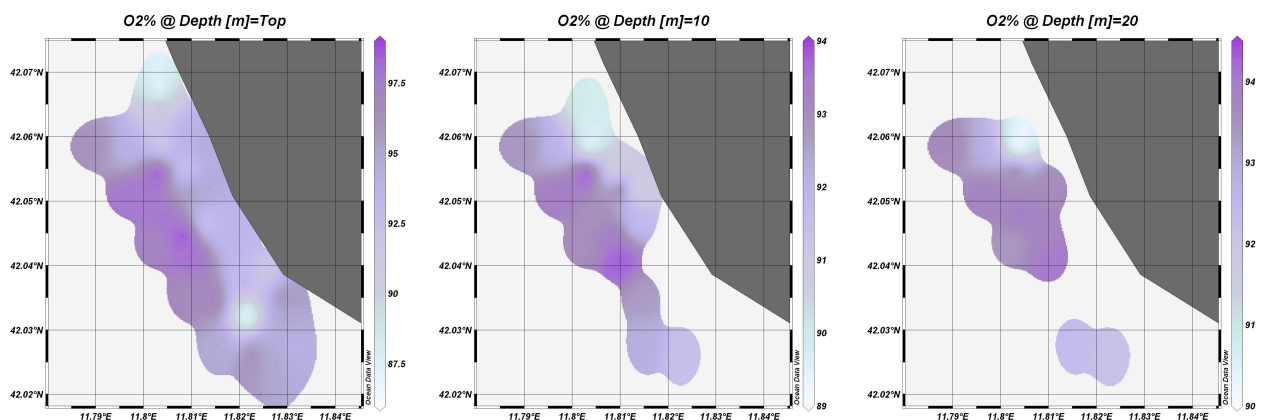


Fig. 5.4.2-10 Isosuperfici della distribuzione dell'ossigeno disciolto in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra Capo Linaro ed il Porto di Civitavecchia

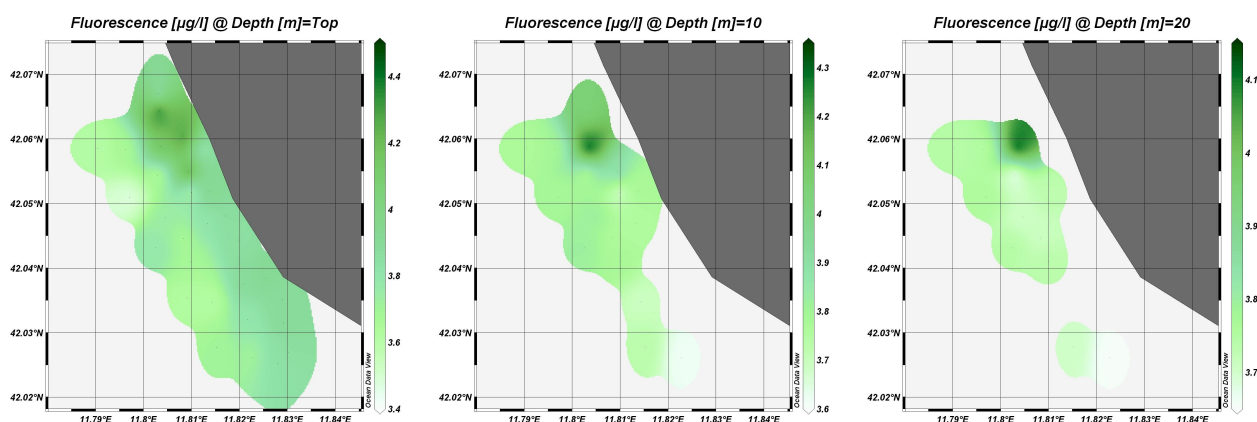


Fig. 5.4.2-11 Isosuperfici della distribuzione della fluorescenza della clorofilla *a* in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra Capo Linaro ed il Porto di Civitavecchia

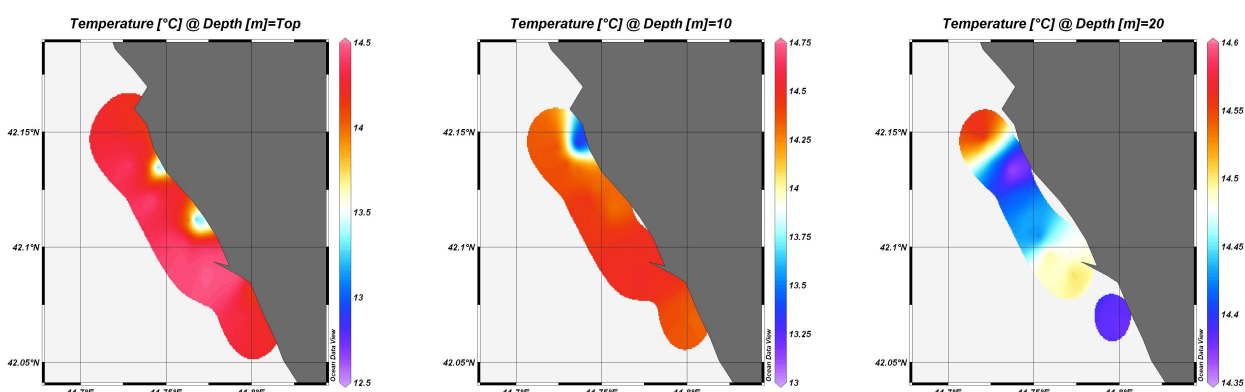


Fig. 5.4.2-12 Isosuperfici della distribuzione della temperatura in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra il Porto di Civitavecchia e Sant'Agostino

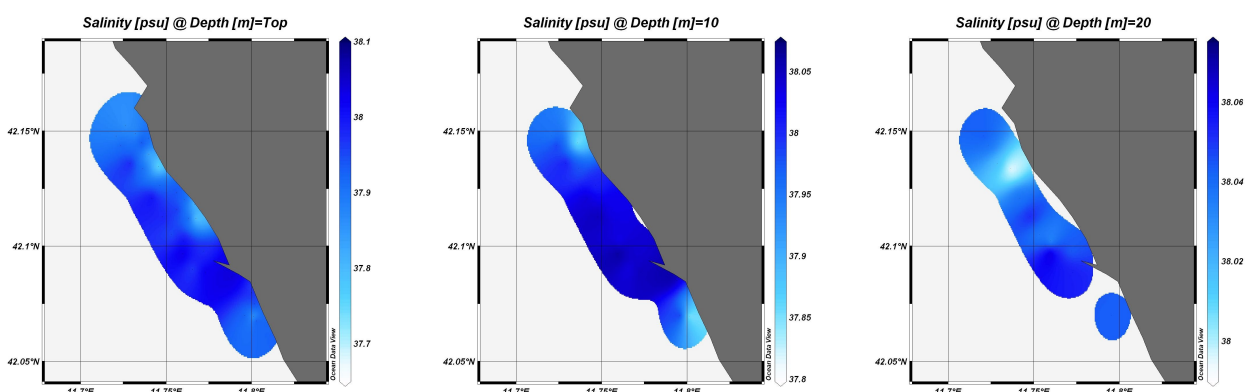


Fig. 5.4.2-13 Isosuperfici della distribuzione della temperatura in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra il Porto di Civitavecchia e Sant'Agostino

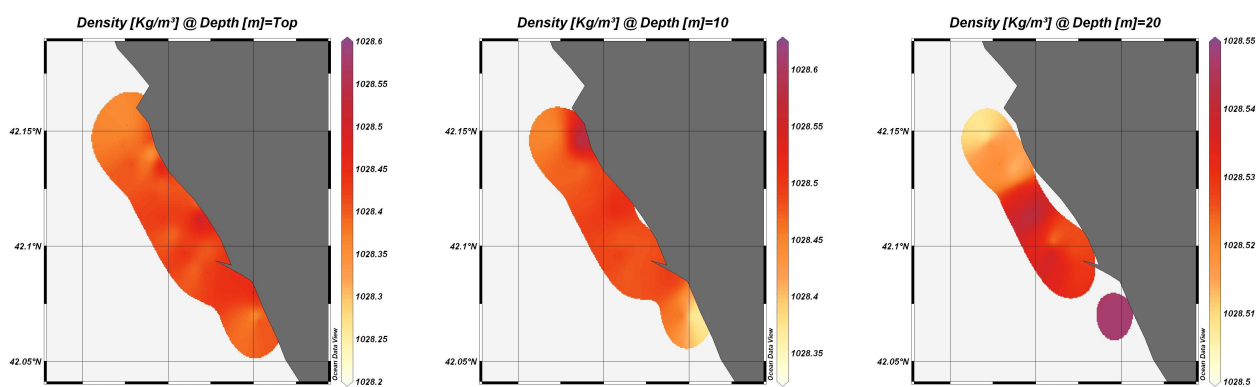


Fig. 5.4.2-14 Isosuperfici della distribuzione della densità in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra il Porto di Civitavecchia e Sant'Agostino

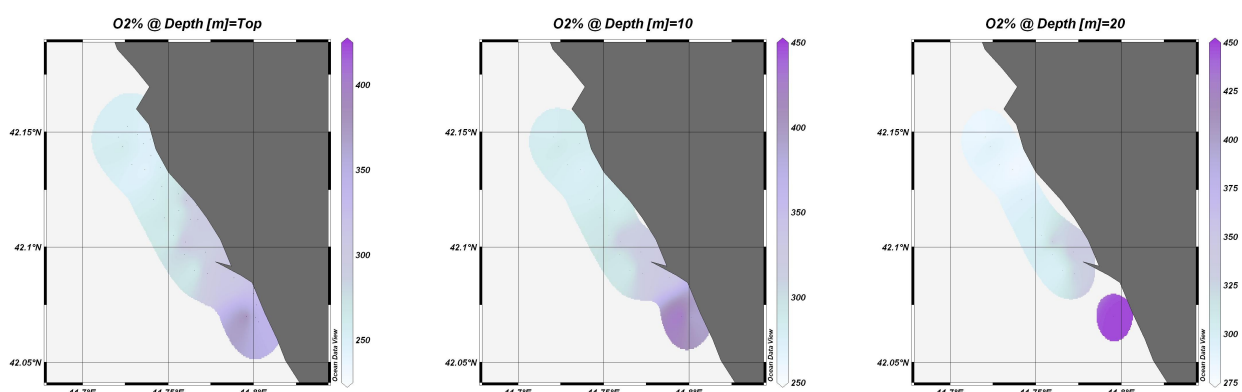


Fig. 5.4.2-15 Isosuperfici della distribuzione dell'ossigeno disciolto in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra il Porto di Civitavecchia e Sant'Agostino

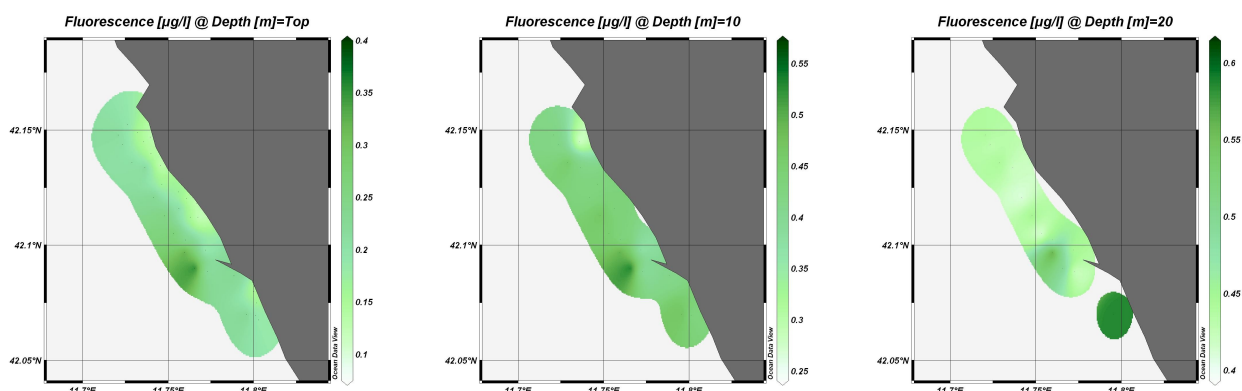


Fig. 5.4.2-16 Isosuperfici della distribuzione della fluorescenza della clorofilla *a* in superficie, 10m e 20m nell'area compresa tra il Porto di Civitavecchia e Sant'Agostino

Di seguito vengono riportate le rappresentazioni delle distribuzioni a differenti profondità delle seguenti variabili: temperatura, salinità, densità, ossigeno disciolto, fluorescenza della clorofilla *a*, acquisite durante la campagna di luglio 2009 dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina.

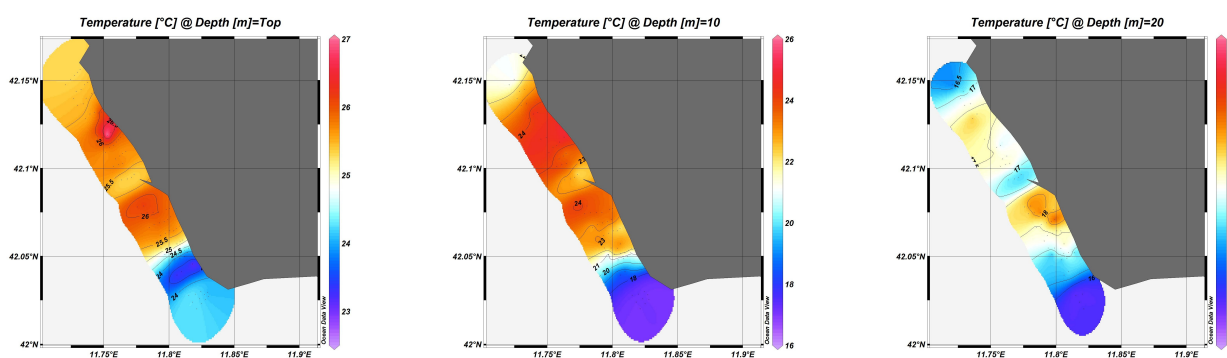


Fig. 5.4.2-17 Isosuperfici della distribuzione della temperatura in superficie, 10m e 20m

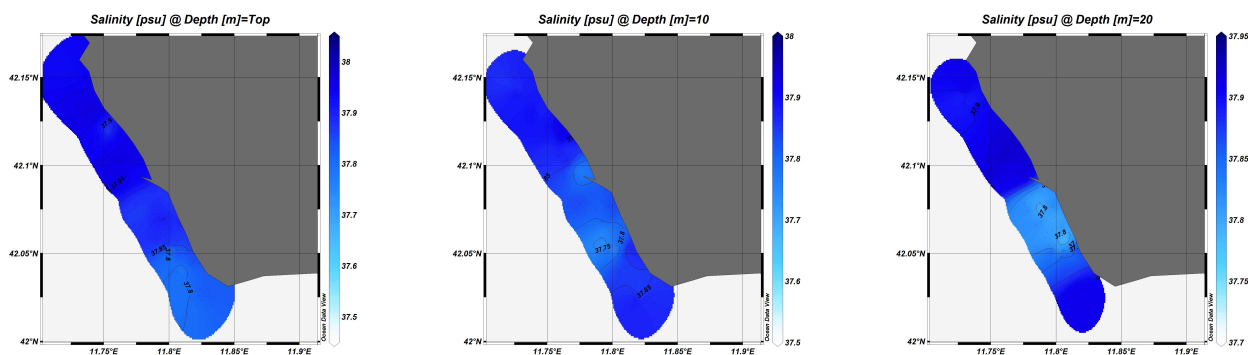


Fig. 5.4.2-18 Isosuperfici della distribuzione della salinità in superficie, 10m e 20m

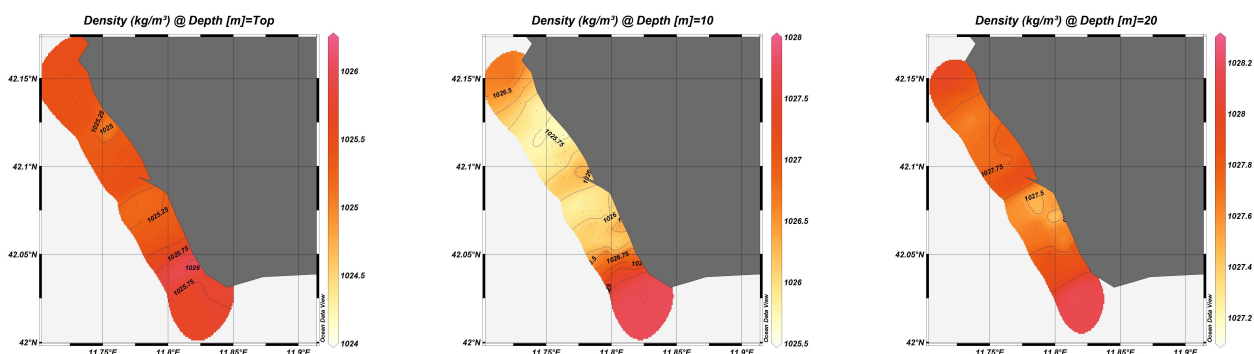


Fig. 5.4.2-19 Isosuperfici della distribuzione della densità in superficie, 10m e 20m

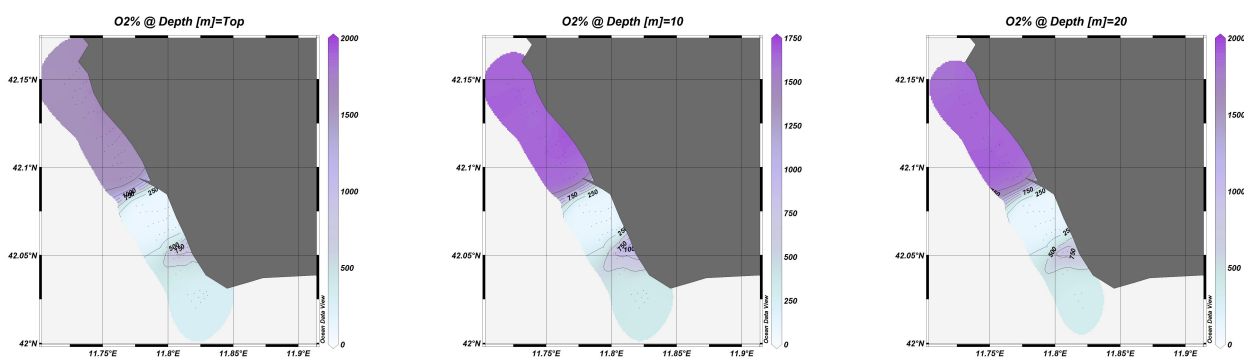


Fig. 5.4.2-20 Isosuperfici della distribuzione dell'ossigeno disciolto in superficie, 10m e 20m

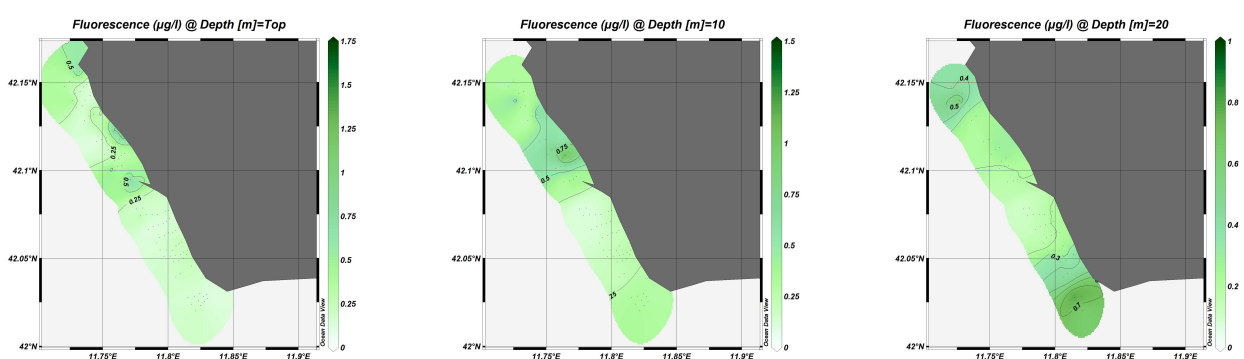


Fig. 5.4.2-21 Isosuperfici della distribuzione della fluorescenza della clorofilla *a* in superficie, 10m e 20m

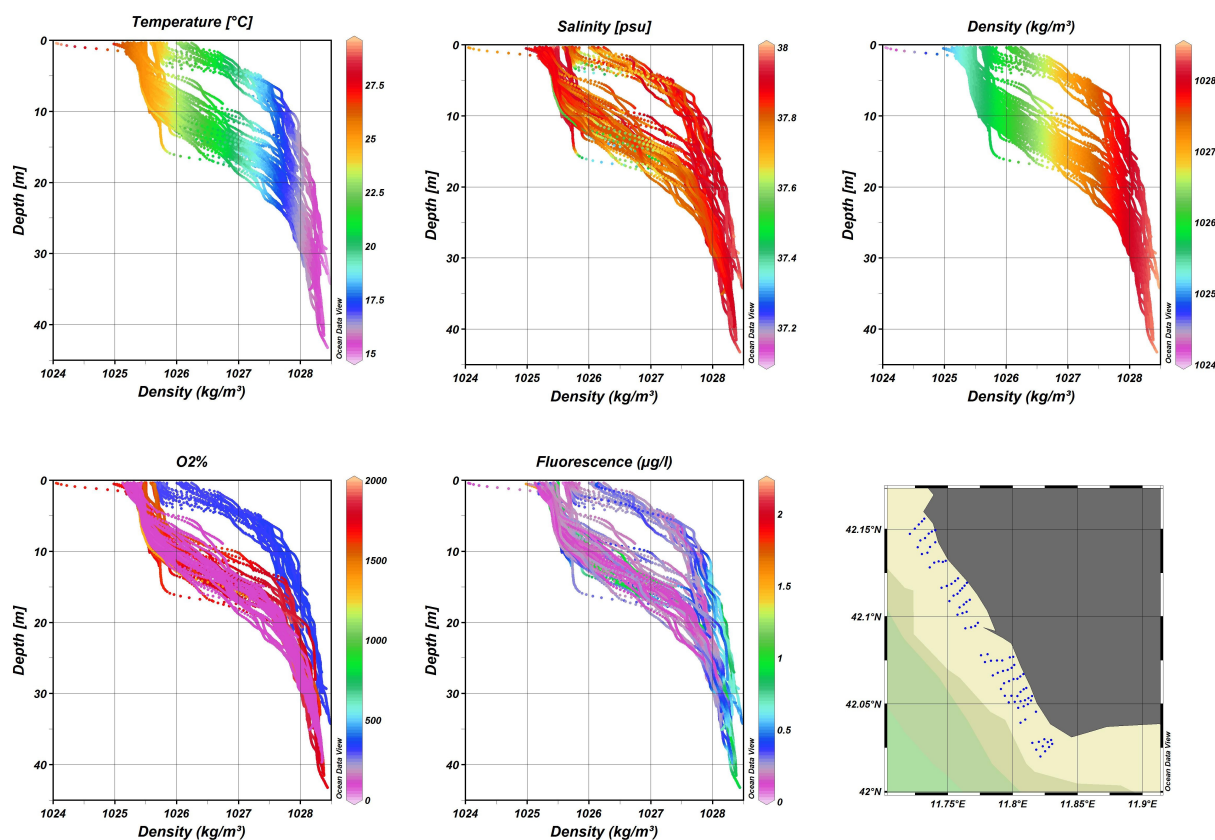


Fig. 5.4.2-22 Grafici della distribuzione dalla superficie al fondo di tutte le variabili acquisite

5.5 Campagne di monitoraggio delle acque marine costiere ARPA

Il set di dati ARPA utilizzato per la presente indagine è relativo alle misure chimiche, fisiche e biologiche della colonna d'acqua effettuate dall'Agenzia Regionale Protezione Ambiente del Lazio nell'ambito delle attività di monitoraggio previste dalla normativa nazionale. I dati, pubblicati sui “Rapporti Ambientali sulla qualità della acque superficiali e sotterranee della Provincia di Roma” e disponibili sul sito www.arpalazio.it, fanno riferimento al “Monitoraggio delle acque marine costiere in funzione degli obiettivi di qualità ambientale”, effettuato con cadenza trimestrale nel triennio 2005-2007.

Nell'ambito del “Monitoraggio delle acque marine costiere in funzione degli obiettivi di qualità ambientale” sono stati presi in esame il transetto “Borgo Odescalchi”, situato presso il comune di Civitavecchia, ed il transetto in corrispondenza dello Stabilimento La Perla del Tirreno di Santa Marinella. Ciascun transetto, come mostrato in figura 6.2-1, è costituito da 3 stazioni, poste

ad una distanza dalla costa rispettivamente di 200m, 1000m e 3000m, nelle quali sono stati svolti campionamenti trimestrali, per un totale di 72 rilievi nel periodo 2005-2007.

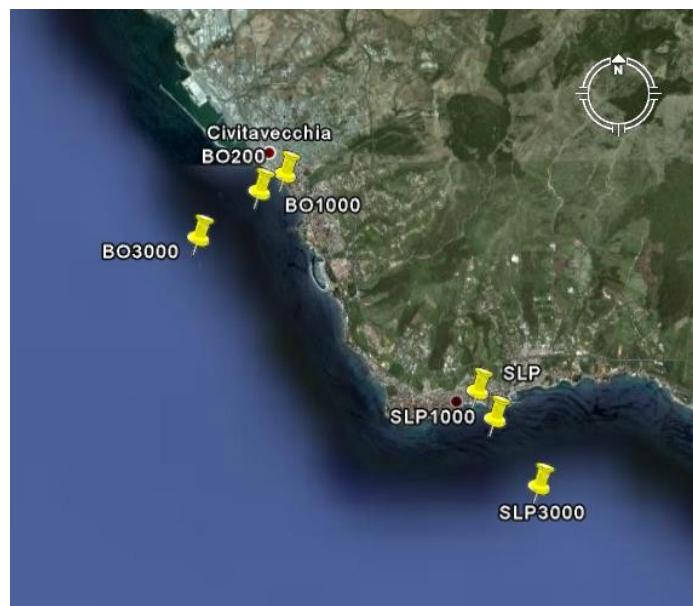


Fig. 5.5-1 Transetti ARPA presi in esame: BO = Borgo Odescalchi, SLP = Stabilimento La Perla.

5.5.1 Materiali e metodi

Nell'ambito del “Monitoraggio delle acque marine costiere in funzione degli obiettivi di qualità ambientale” sono stati presi in esame il transetto “Borgo Odescalchi”, situato presso il comune di Civitavecchia, ed il transetto in corrispondenza dello Stabilimento La Perla del Tirreno di Santa Marinella. Ciascun transetto è costituito da 3 stazioni, poste ad una distanza dalla costa rispettivamente di 200m, 1000m e 3000m, nelle quali sono stati svolti campionamenti trimestrali, per un totale di 72 rilievi nel periodo 2005-2007. In corrispondenza delle stazioni di campionamento sono stati effettuati profili di Temperatura, Salinità, Ossigeno disciolto, Ossigeno % saturazione lungo la colonna d'acqua. Sono inoltre disponibili i risultati delle analisi dei parametri trofici di concentrazione della clorofilla a e di azoto e fosforo totale, effettuate su campioni superficiali nelle medesime stazioni.

5.5.2 Risultati

Transetto Borgo Odescalchi

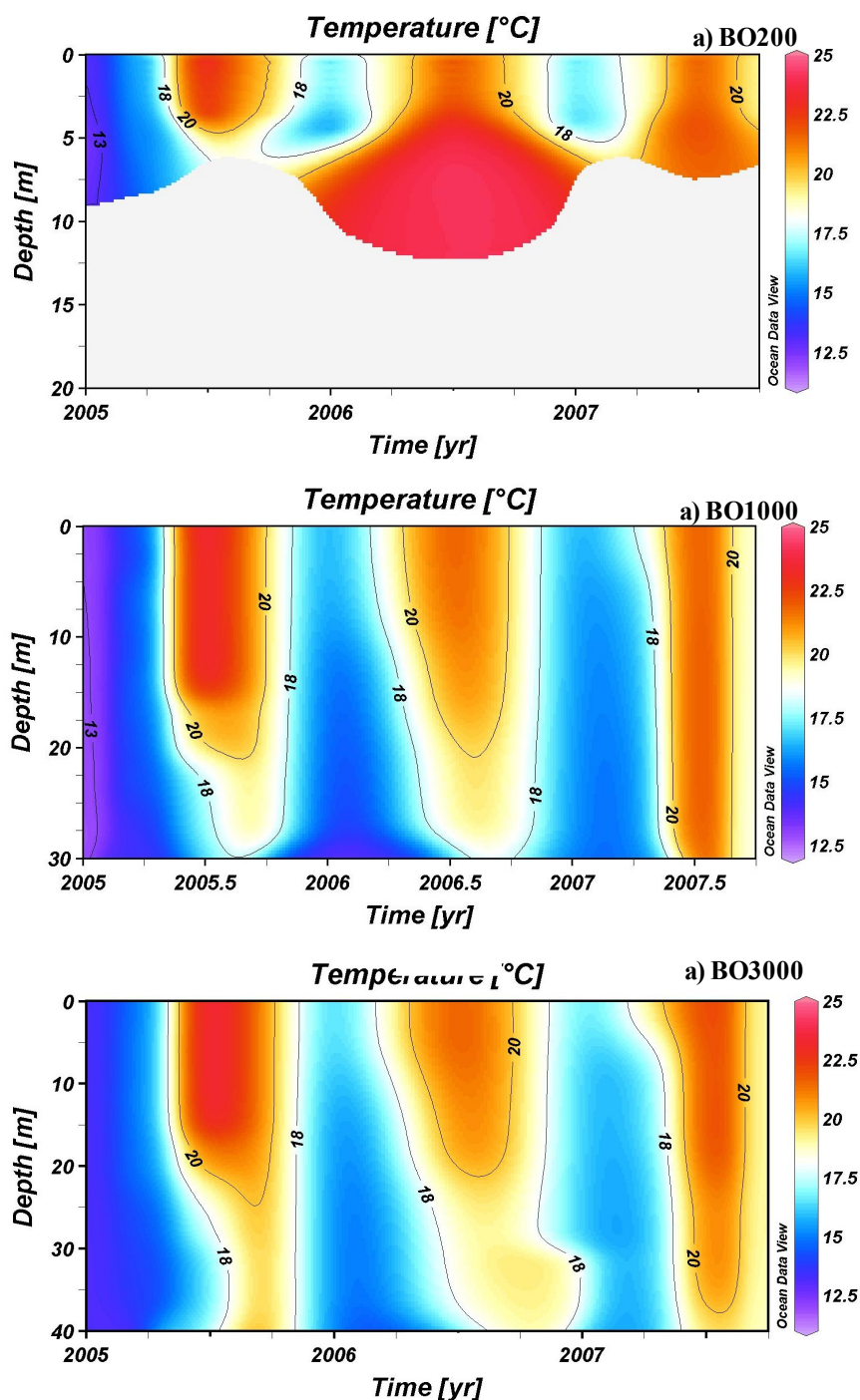


Fig. 5.5.2-1 Temperatura trimestrale nel periodo 2005-2007: a) stazione a 200m dalla riva; b) stazione a 1000 m dalla riva; c) stazione a 3000 m dalla riva

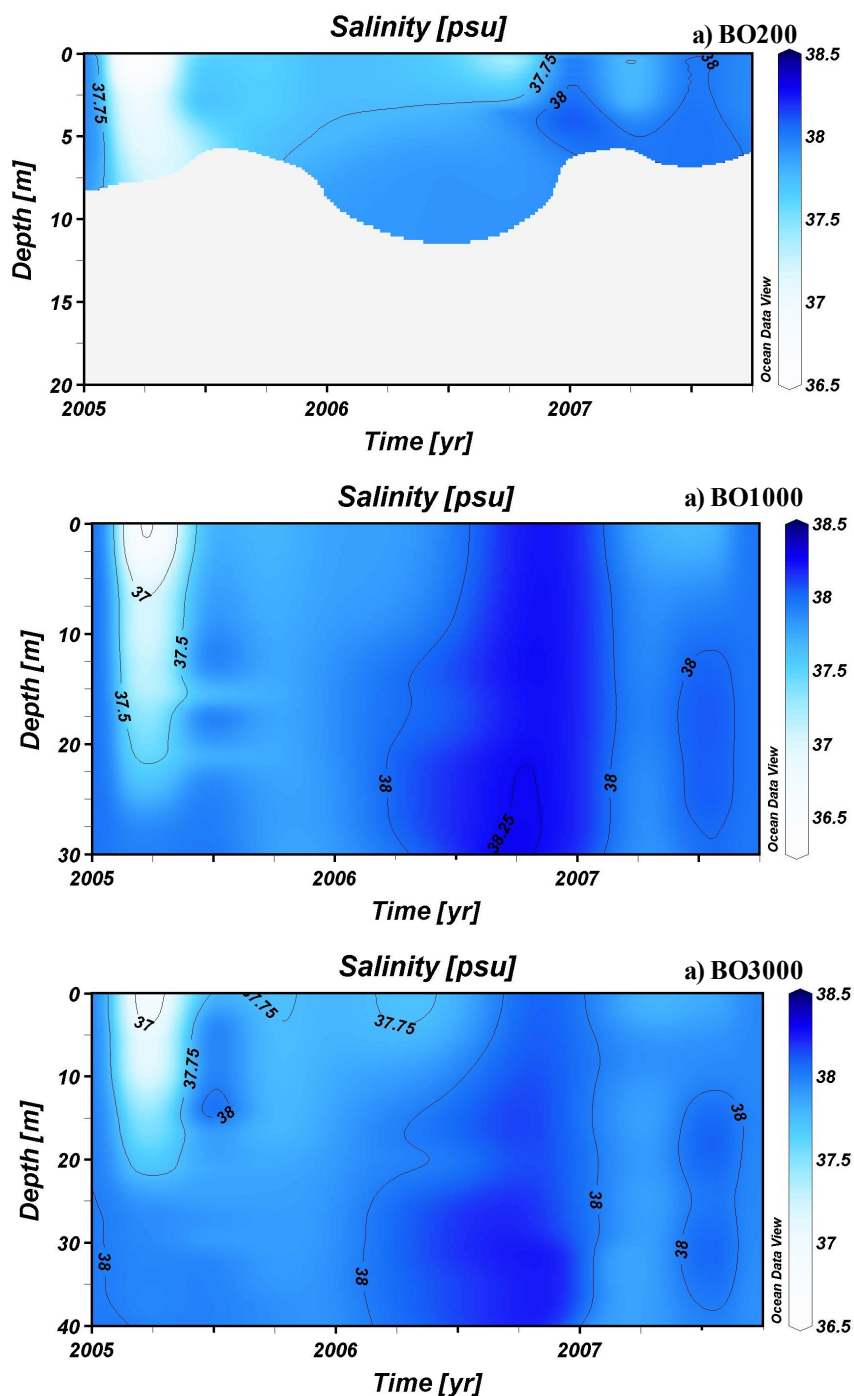


Fig. 5.5.2-2 Salinità trimestrale nel periodo 2005-2007: a) stazione a 200m dalla riva; b) stazione a 1000 m dalla riva; c) stazione a 3000 m dalla riva

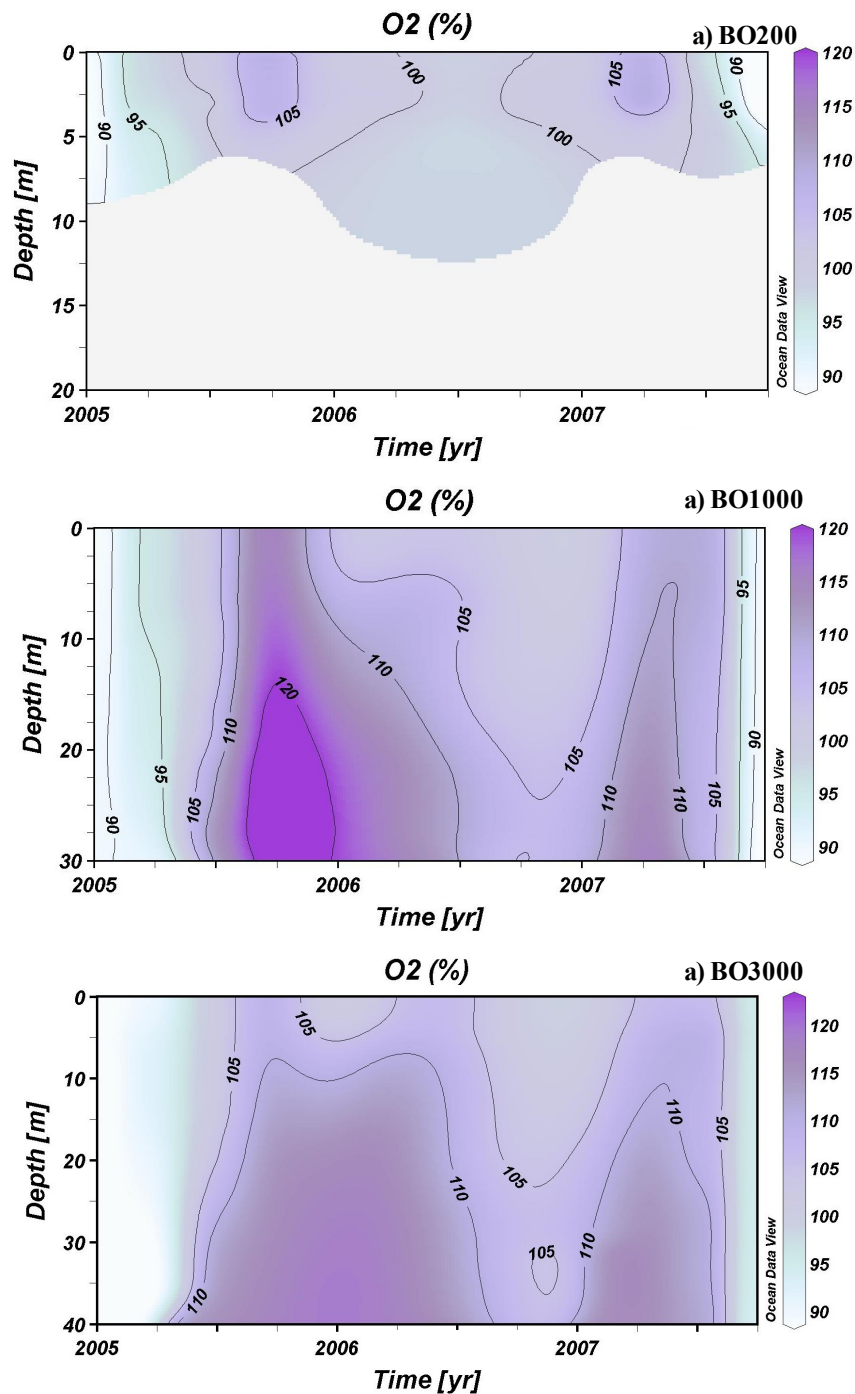


Fig. 5.5.2-3 Ossigeno % trimestrale nel periodo 2005-2007: a) stazione a 200m dalla riva; b) stazione a 1000 m dalla riva; c) stazione a 3000 m dalla riva



Fig. 5.5.2-4 Andamento della clorofilla a e dei nutrienti N e P nel periodo 2005-2007 in campioni di superficie

I profili verticali di temperatura mostrano un marcato andamento stagionale caratterizzato da bassi valori invernali e primaverili ed alti valori estivi ed autunnali nel corso del triennio. E' possibile inoltre notare l'omogeneità dei profili invernali rispetto a quelli estivi, i quali mostrano, soprattutto nelle stazioni BO1000 e BO3000, una stratificazione verticale con masse d'acqua che raggiungono temperature superiori ai 24 °C fino ai 15 metri di profondità e masse d'acqua con temperature di 18 °C al di sotto dei 15 metri le stazioni di campionamento. Il 2005 presenta in generale temperature invernali più basse di quelle rilevate nei due anni successivi (13 °C contro 17 °C circa) e temperature estive più alte con una differenza di circa 3 °C (25 contro 23.5 °C). I grafici di figura 5.5.2-1 mostrano come durante il 2007 anche la profondità del termocline sia stata maggiore di quella dei due anni precedenti. Tali andamenti sono un riflesso delle differenti condizioni meteorologiche e meteo-marine caratteristiche dei relativi giorni in cui è stato effettuato il campionamento.

Dall'analisi delle sezioni trasversali della salinità non si evince nessuna variazione stagionale di rilievo nei tre anni di campionamento, se non la presenza di masse d'acqua con bassa salinità localizzate soprattutto negli strati d'acqua più superficiali in corrispondenza dei mesi primaverili ed autunnali. Le principali lenti d'acqua poco salata sono quelle rilevate in corrispondenza del rilevamento primaverile del 2005 (37 psu), che raggiunge la profondità di circa 10 metri nella stazione di largo, e di quello autunnale del 2005 e primaverili del 2006, caratterizzati da valori di salinità di 37.75 psu, localizzate entrambe nei primi 5 metri della colonna d'acqua della stazione BO3000.

Dall'analisi dei profili verticali di ossigeno disciolto si evincono due masse d'acqua molto ossigenate (120%) che caratterizzano lo strato compreso tra i -10 m ed i -30 m delle stazioni BO1000 e BO3000, in corrispondenza della stagione autunnale del 2005 e di quella primaverile del 2007. Tali picchi sono correlati alla produzione di ossigeno da parte degli organismi fitoplanctonici i cui popolamenti presentano un massimo di crescita nelle stagioni tardo-primaverili e inizio-autunnali, come mostrato in figura 5.5.2-4.

Anche il ciclo stagionale dei nutrienti è strettamente legato alla dinamica di popolazione degli organismi fitoplanctonici. I grafici di figura 5.5.2-4 mostrano come in tutti e tre gli anni i mesi primaverili ed estivi sono caratterizzati da un progressivo aumento della concentrazione di clorofilla a ed una contemporanea diminuzione dei nutrienti, consumati dalla crescente biomassa fitoplanctonica. In corrispondenza del IV trimestre di campionamento, invece si registrano i massimi

valori di nutrienti. Questo perché, con l'inizio della stagione autunnale le masse d'acqua cominciano a rimescolarsi determinando la risalita dei nutrienti dal fondo. Il grafico relativo all'andamento del fosforo totale mette in evidenza le basse concentrazioni, al di sotto del limite di rilevabilità del metodo, registrate nella stazione BO3000, ad indicare la progressiva diminuzione dei nutrienti fosfati all'aumentare della distanza dalla costa.

Transetto Stabilimento La Perla

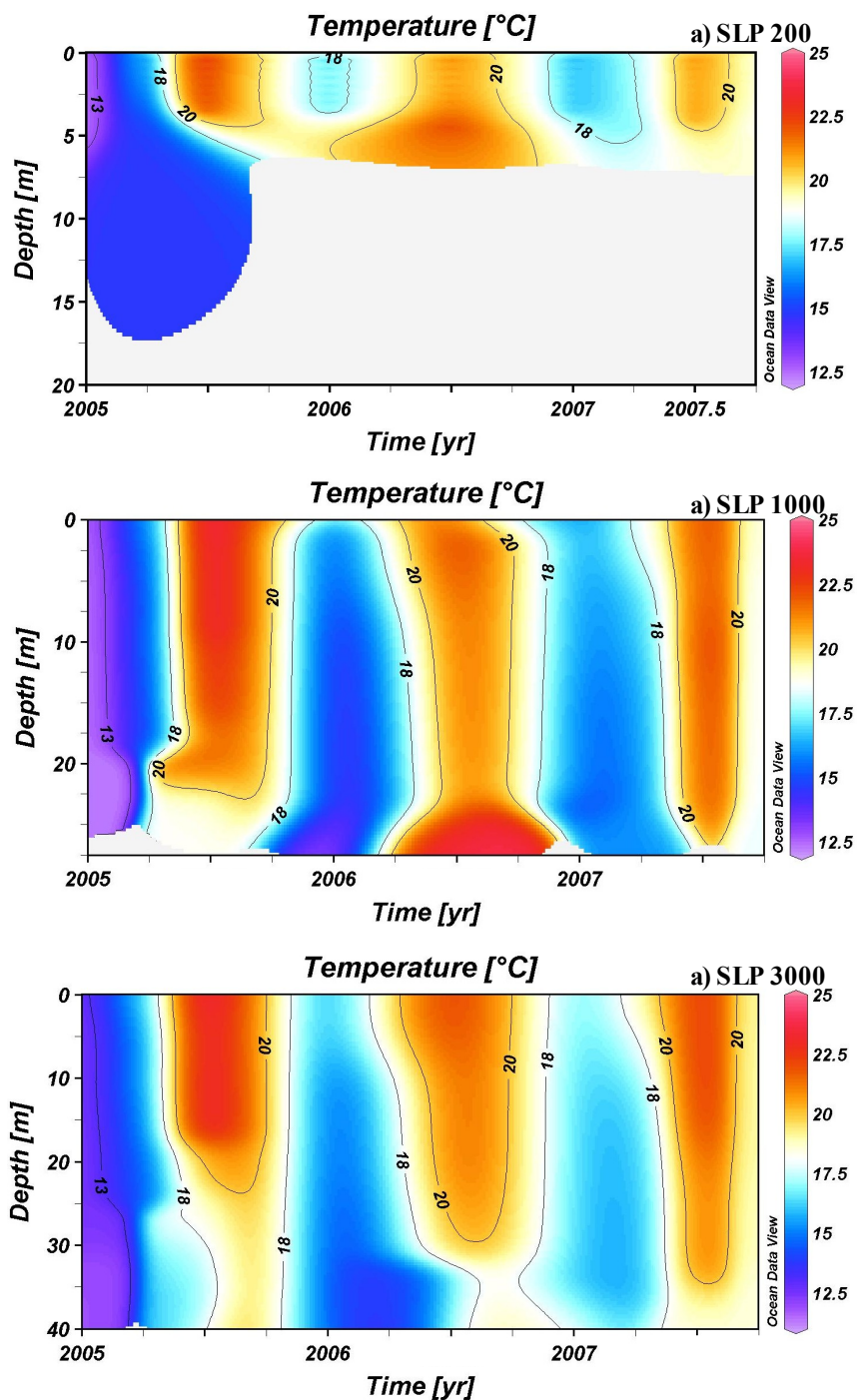


Fig. 5.5.2-5 Temperatura trimestrale nel periodo 2005-2007: a) stazione a 200m dalla riva; b) stazione a 1000 m dalla riva; c) stazione a 3000 m dalla riva

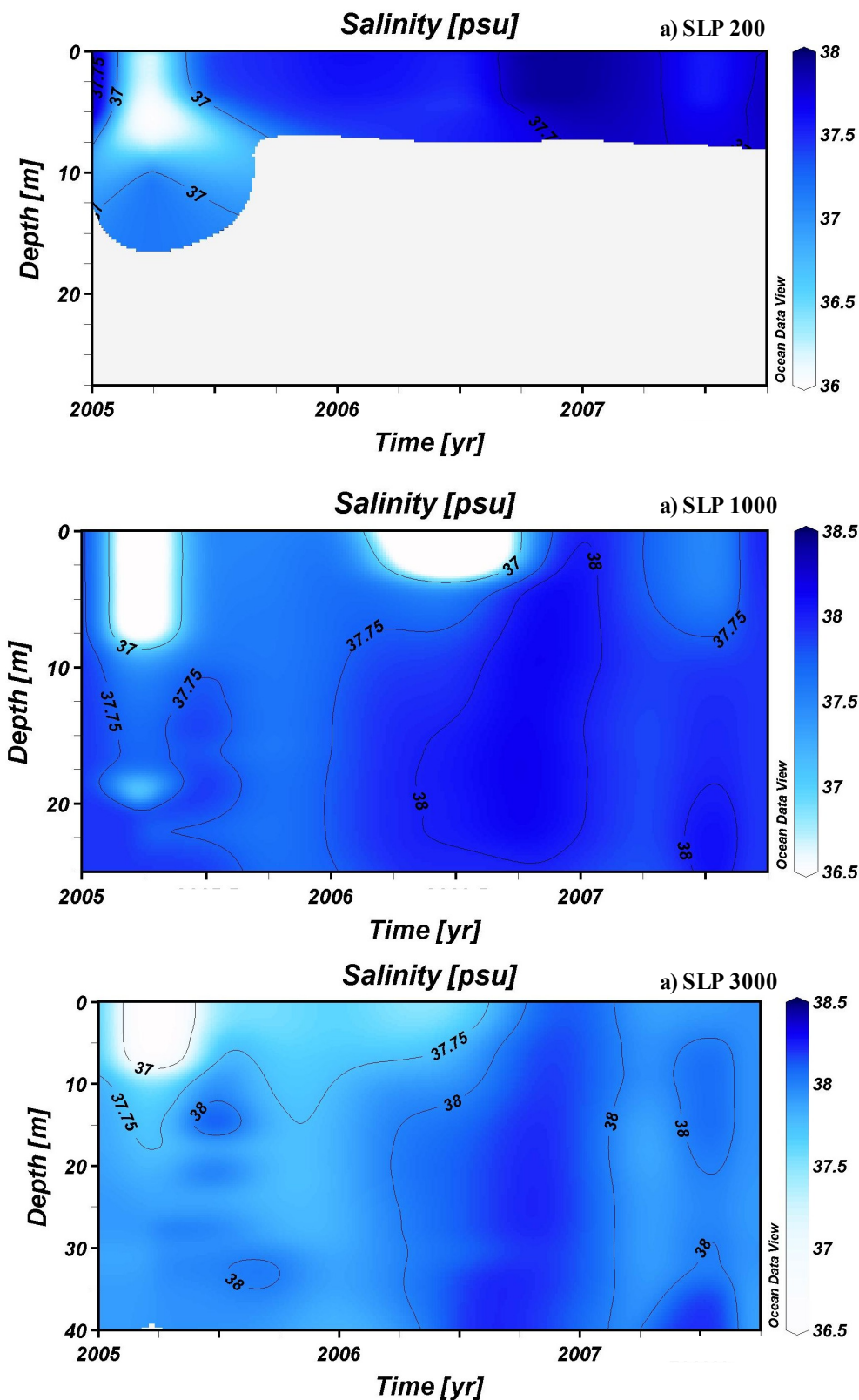


Fig. 5.5.2-6 Salinità trimestrale nel periodo 2005-2007: a) stazione a 200m dalla riva; b) stazione a 1000 m dalla riva; c) stazione a 3000 m dalla riva

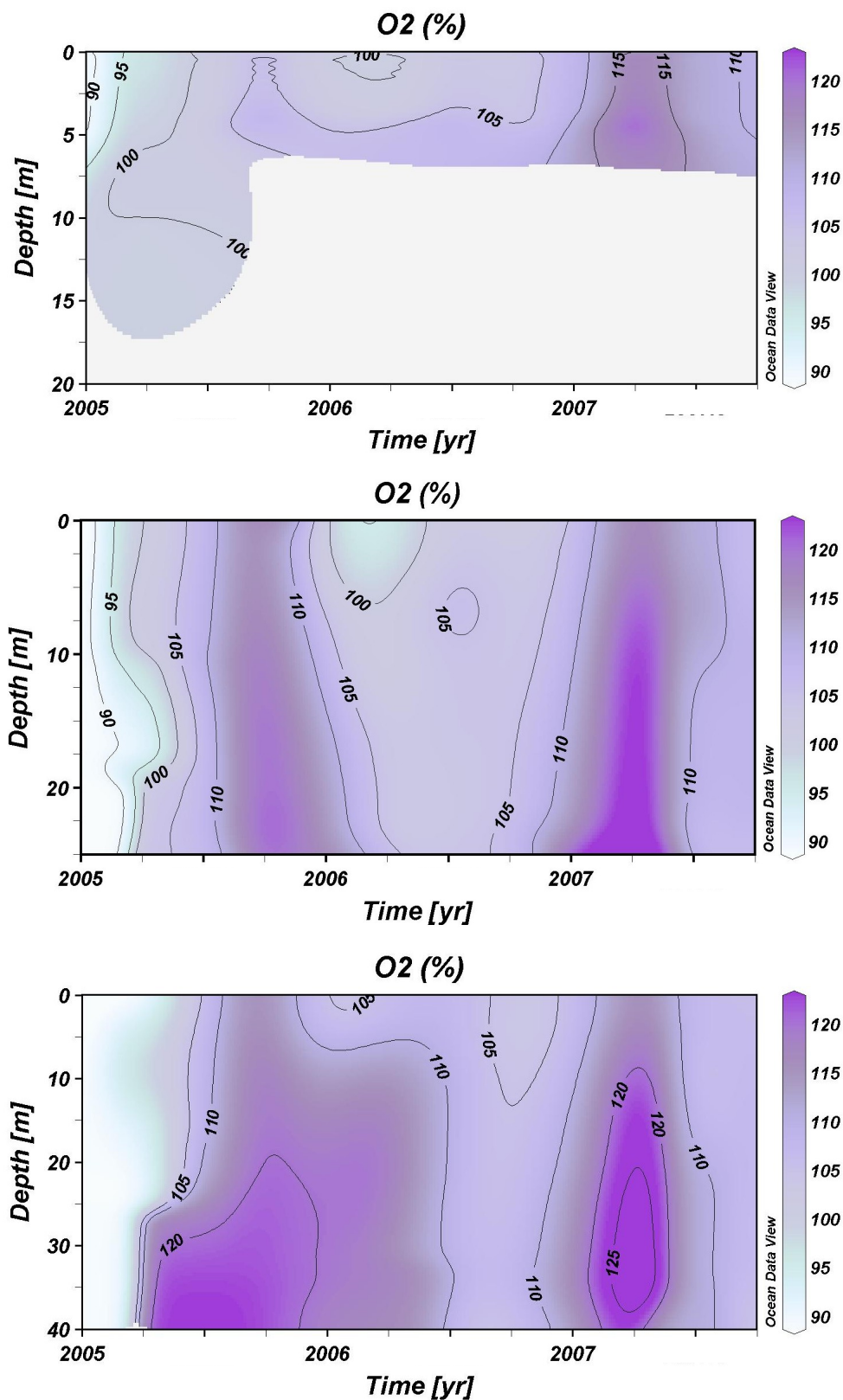


Fig. 5.5.2-7 Ossigeno % trimestrale nel periodo 2005-2007

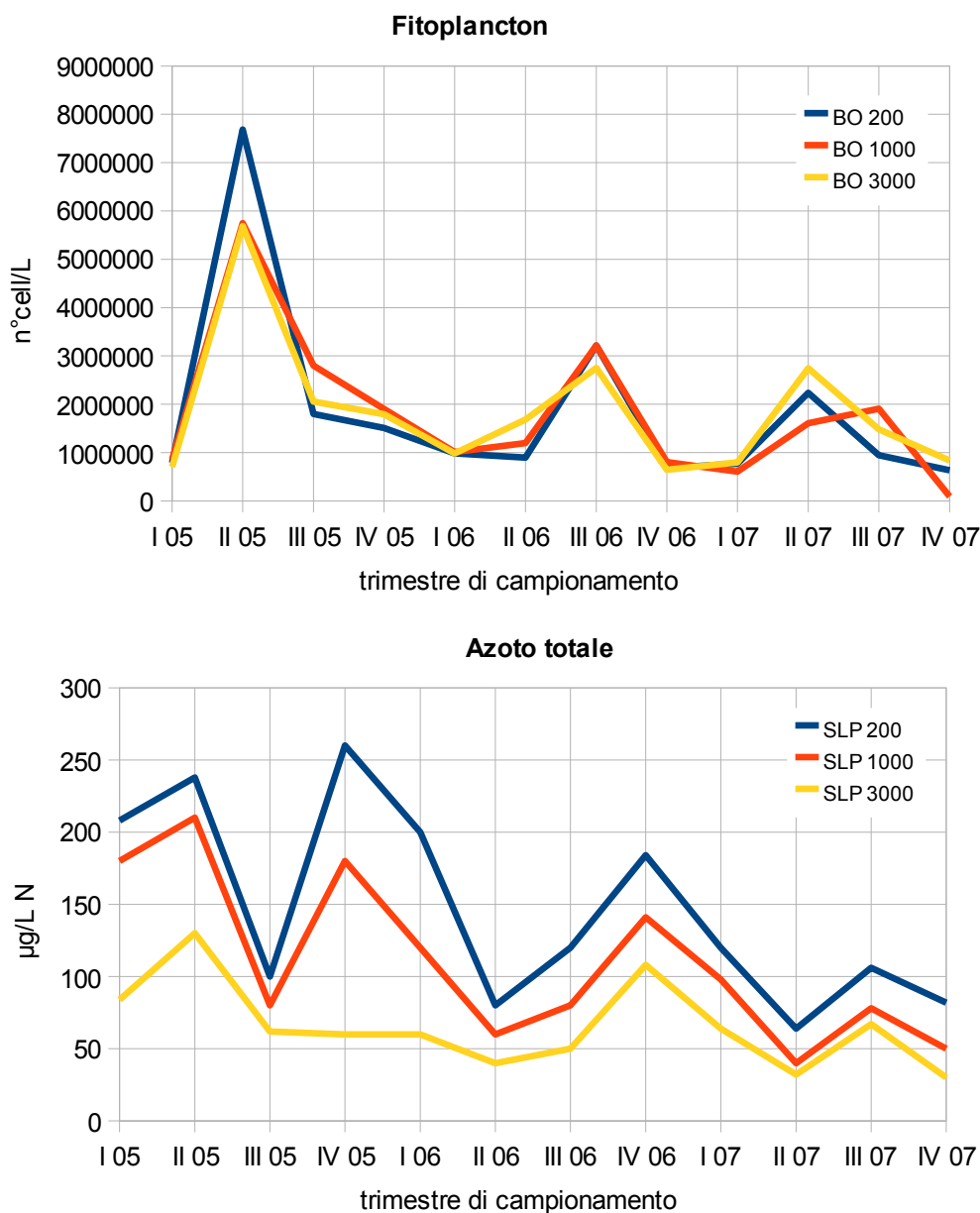


Fig. 5.5.2-8 Fitoplancton, N totale, P totale misurati in campioni d'acqua superficiali nel periodo 2005-2007

I profili verticali di temperatura mostrano un marcato andamento stagionale caratterizzato da bassi valori invernali e primaverili ed alti valori estivi ed autunnali nel corso del triennio.

Anche in questo caso è possibile notare come l'anno 2005 presenti in generale temperature invernali più basse di quelle rilevate nei due anni successivi e temperature estive più alte, nonché una profondità del termoclino maggiore nel 2007 rispetto agli anni precedenti.

Le serie temporali di salinità di figura 5.5.2-6 mettono in evidenza la presenza di tre

principali lenti d'acqua meno salata (37 psu) nei primi 10 metri di profondità delle stazioni SLP1000 ed SLP3000 in corrispondenza dei mesi primaverili-inizio estivi di tutti e tre gli anni.

Dall'analisi dei profili verticali di ossigeno disciolto si evincono due masse d'acqua molto ossigenate (120%) che caratterizzano lo strato compreso tra i -10 m ed i -30 m delle stazioni SLP1000 e SLP3000, in corrispondenza della stagione autunnale del 2005 e di quella primaverile del 2007. Tali picchi sono correlati alla produzione di ossigeno da parte degli organismi fitoplanctonici i cui popolamenti presentano un massimo di crescita nelle stagioni tardo-primaverili ed inizio-autunnali, come mostrato in figura 5.5.2-8.

Anche il ciclo stagionale dei nutrienti è strettamente legato alla dinamica di popolazione degli organismi fitoplanctonici. I grafici di figura 5.5.2-8 mostrano come in tutti e tre gli anni i mesi primaverili ed estivi sono caratterizzati da un progressivo aumento della densità cellulare degli organismi fotoautotrofi ed una contemporanea diminuzione dei nutrienti, consumati dalla crescente biomassa fitoplanctonica. Ai picchi di massima concentrazione di densità fitoplanctonica corrispondono, infatti, i picchi minimi di azoto e fosforo totale. In corrispondenza del IV trimestre di campionamento, invece si registrano i massimi valori di nutrienti. Questo perchè, con l'inizio della stagione autunnale le masse d'acqua cominciano a rimescolarsi determinando la risalita dei nutrienti dal fondo. Il grafico relativo all'andamento del fosforo totale mette in evidenza le basse concentrazioni, al di sotto del limite di rivelabilità del metodo, registrate nella stazione SLP3000, ad indicare la progressiva diminuzione dei nutrienti fosfati all'aumentare della distanza dalla costa.

5.6 Modelli matematici di dispersione del materiale sospeso HR Wallinford

Il modello SEDPLUME-RW di HR Wallinford è stato utilizzato per simulare la dispersione di diverse tipologie granulometriche di sedimenti derivati dalle operazioni di dragaggio nel porto di Civitavecchia al fine stimare il potenziale impatto degli interventi nelle zone sensibili.

Gli obiettivi principali dello studio sono quindi:

- mettere a punto un modello numerico dell'area usando i dati storici disponibili;
- valutare l'impatto dell'ampliamento del porto sull'attuale regime idrodinamico e quindi stimare i potenziali effetti sul trasporto solido e la morfologia;
- studiare i fenomeni di sospensione e dispersione del materiale dragato per valutare la concentrazione di sedimenti sospesi che potrebbero sollevarsi durante la fase di costruzione.

5.6.1 Materiali e metodi

Il SEDPLUME è un modello di dispersione dei sedimenti che simula il rilascio di sedimenti da una sorgente puntuale che, in questo caso, è il disgregatore o il troppo pieno della draga.

Nello specifico si tratta di un modello integrato che risolve l'equazione di conservazione del volume, della quantità di moto e del flusso sedimentario lungo delle traiettorie di uno sversamento con tipologia turbolenta all'interno di un ambiente ben stratificato. La sedimentazione si verifica quando la componente radiale della velocità di caduta del sedimento eccede quella necessaria per far muovere il sedimento stesso. Quando la plume raggiunge la superficie, essa viene trattata come una corrente di gravità che si disperde in maniera radiale, per la quale esistono soluzioni per il tasso di deposizione dei sedimenti. La flocculazione di particelle siltose ed argillose è modellata utilizzando misure empiriche che prendono in considerazione la velocità di deposizione attraverso la quale è possibile risalire alla velocità di caduta della componente fine.

Lo scopo della modellazione è costruire un campione rappresentativo di scenari che possano dimostrare la possibile forma del pennacchio di sedimenti quando si disperde in condizioni naturali.

Queste informazioni saranno usate per determinare il rischio delle attività di dragaggio sulle aree sensibili all'interno della zona oggetto di studio.

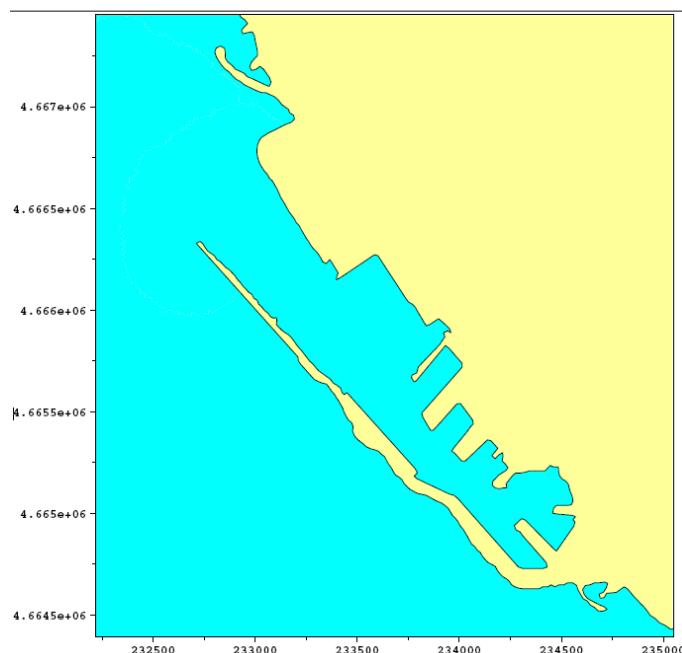


Figura 5.6.2-1: Porto di Civitavecchia – Planimetria schematizzata del modello numerico

Diverse simulazioni saranno effettuate per un certo numero di località di rilascio, rappresentando i limiti delle operazioni di dragaggio. Il modello è stato usato per simulare la dispersione del pennacchio di sedimenti in ogni condizione idrodinamica considerata dove è stato considerato l'effetto del vento che è stato introdotto per modificare il profilo verticale della corrente.

Se il vento soffia dal largo ci sarà una corrente superficiale verso costa e una corrente di ritorno più profonda nella colonna d'acqua. In caso di vento da terra invece ci sarà una corrente superficiale verso il largo ed una corrente di ritorno in direzione opposta vicino al fondale. I venti longitudinali modificano solo marginalmente l'intensità delle correnti longshore e non saranno simulati.

5.6.2 Risultati

Le velocità del vento; usate per ogni direzione, sono le massime misurate. Le simulazioni con il vento sono state eseguite solo per il materiale più fine e sono state fatte girare ognuna per 32 scenari (64 in totale).

I risultati illustrano che per le sabbie si è osservato un deposito con spessore di picco pari a 3 cm su una superficie con raggio pari a 40 cm. La stessa simulazione fatta per i sedimenti più fini

forniscono valori con spessori inferiori a 0.1 mm sotto le stesse condizioni ambientali. La distribuzione delle particelle di sedimento fine è principalmente soggetta agli effetti di marea e del vento proveniente da terra o da mare e l'effetto del loro trasporto e successivo deposito è osservato sino ad una distanza di circa 330 m dalla zona in cui il dragaggio è stato effettuato.

Il modello numerico di HR SEDPLUME utilizza i risultati del modello idrodinamico determinati con il modello numerico TELEMAC-2D ed assume un profilo di velocità logaritmica nella colonna d'acqua per simulare l'effetto tridimensionale del movimento dei sedimenti.

La direzione di dispersione dei sedimenti dipende dall'azione di taglio generata dalla diverse velocità di corrente, mentre la dispersione dovuta alla turbolenza è simulata utilizzando la tecnica della distribuzione random. Il deposito e la messa in sospensione delle particelle di sedimento viene modellata stabilendo valori critici di taglio al fondo sia per il fenomeno del deposito che per quello della messa in sospensione. Fenomeni di messa in sospensione dei sedimenti si manifestano quando i valori di soglia vengono superati, mentre i depositi si verificano quando i valori sono sotto soglia, condizione che corrisponde al deposito.

Il modello numerico SEDPLUME non rappresenta lo stato delle concentrazioni ma simula l'incremento di questi valori causati da attività di dragaggio. Questo modello è stato impiegato da più di 10 anni nella simulazione del trasporto di sedimenti.

Condizione	Direzione (°N)	Velocità (m/s)
Da terra	125	18
Da mare	305	14

Tabella 5.6.2-1: Condizioni di vento simulate

Descrizione	Sabbia	Limo
Valore critico per il deposito (N/m ²)	0.1	0.1
Valore critico per la sospensione (N/m ²)	0.1	0.1
Costante di sospensione	0.002	0.002
Velocità di sedimentazione (m/s)	0.01	0.0001
Coefficiente di diffusione (m ² /s)	0.2	0.2

Tabella 5.6.2-2: Tipologia di sedimenti utilizzata dal modello

Il modello numerico SEDPLUME è stato fatto girare per periodi pari a 24 ore per ogni condizione idrodinamica, dimensione dei sedimenti e posizione.

Dopo l'analisi delle quattro condizioni idrodinamiche, il peso per simulare gli scenari è stato suddiviso come segue: 45% media Nord, 45% media Sud, 5% picco Nord, 5% picco Sud, che rappresenta un ciclo di dragaggio con una durata pari a 24 ore.

I risultati per sedimenti sabbiosi sono presentati nelle seguenti figure.

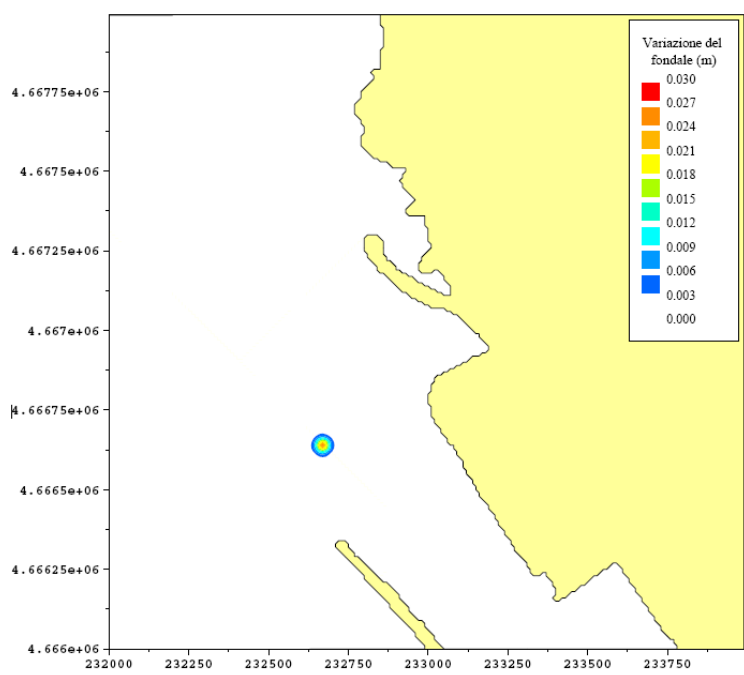


Figura 5.6.2-1: Sabbia dispersa dal punto di dragaggio N.1

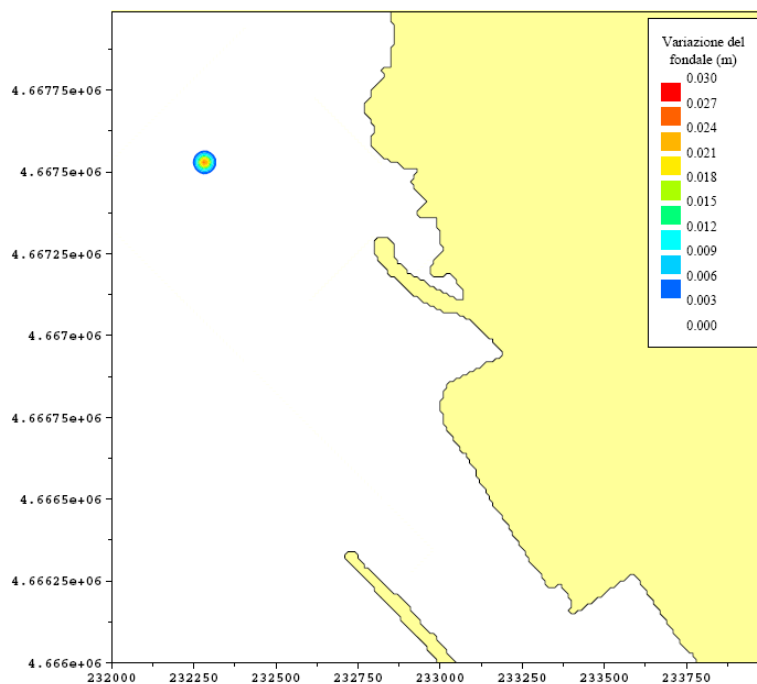


Figura 5.6.2-2: Sabbia dispersa dal punto di dragaggio N.2

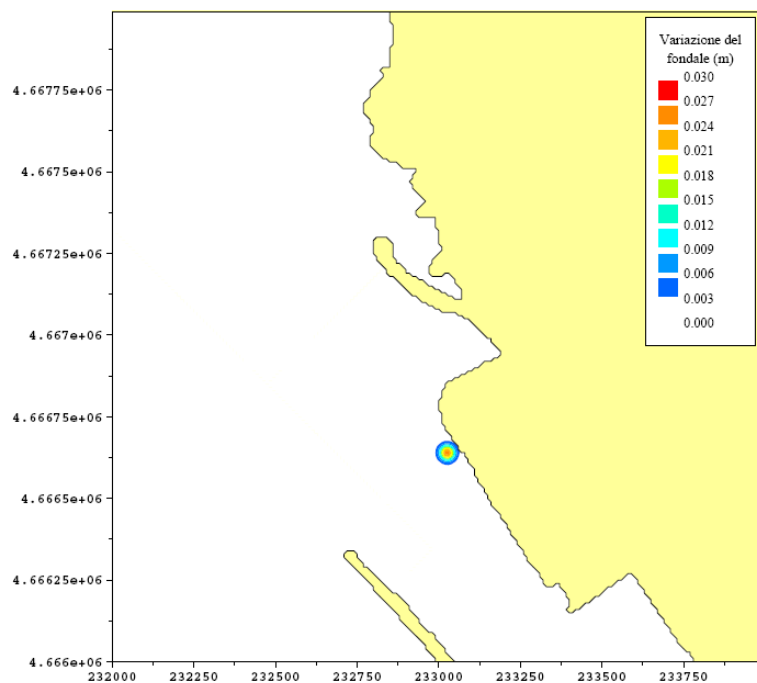


Figura 5.6.2-3: Sabbia dispersa dal punto di dragaggio N.3

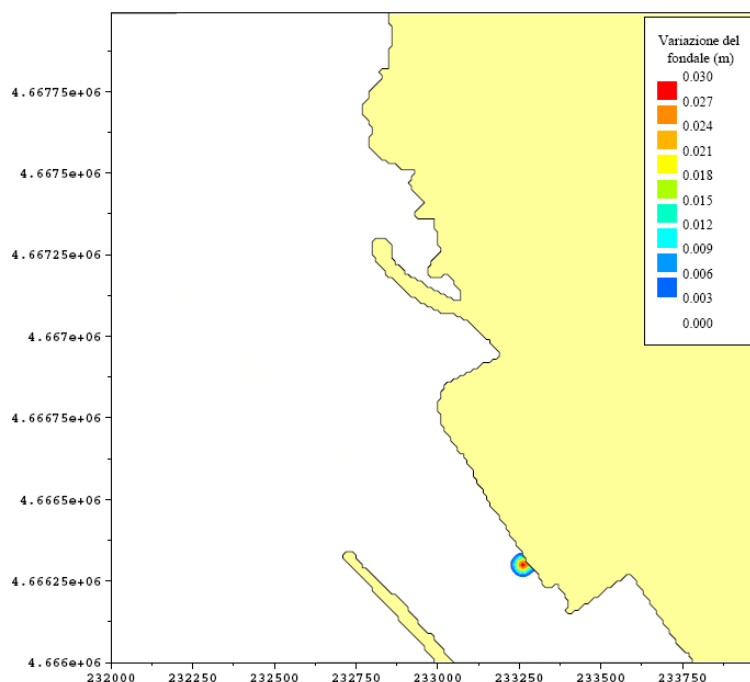


Figura 5.6.2-4: Sabbia dispersa dal punto di dragaggio N.4

La dispersione di sedimenti sabbiosi è simile in tutti e quattro i punti simulati per le attività di dragaggio (Figure 5.6.2-1 — 5.6.2-4). Per ogni punto analizzato l'area interessata dall'effetto della sabbia in sospensione ha un raggio pari a circa 40m. La movimentazione del materiale sabbioso produce un aumento della profondità pari a circa 0.03m. La distribuzione circolare suggerisce che gli effetti causati dalla risospensione di questa tipologia di sedimento ha un effetto circoscritto e limitato intorno al punto di emissione.

I risultati per i sedimenti limosi in assenza di vento sono presentati nelle seguenti figure.

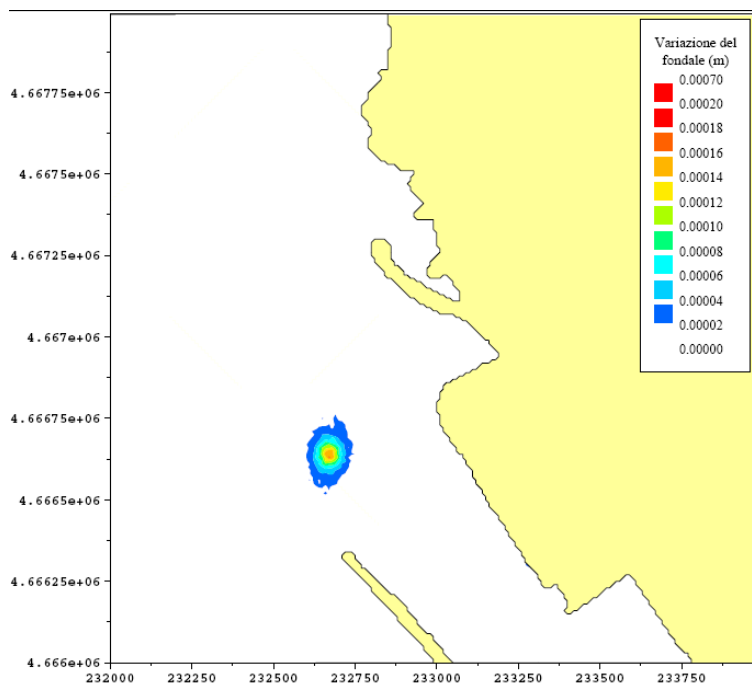


Figura 5.6.2-5: Limo disperso dal punto di dragaggio N.1

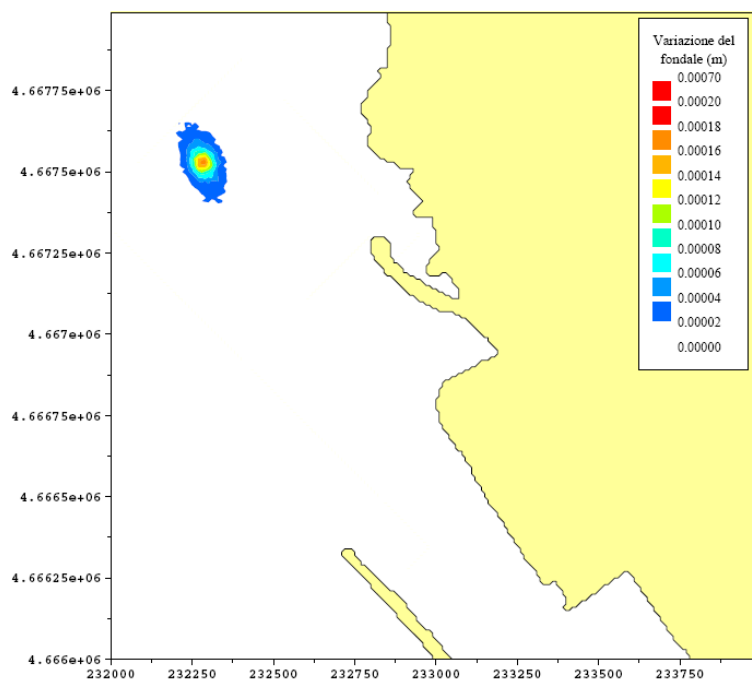


Figura 5.6.2-6: Limo disperso dal punto di dragaggio N.2

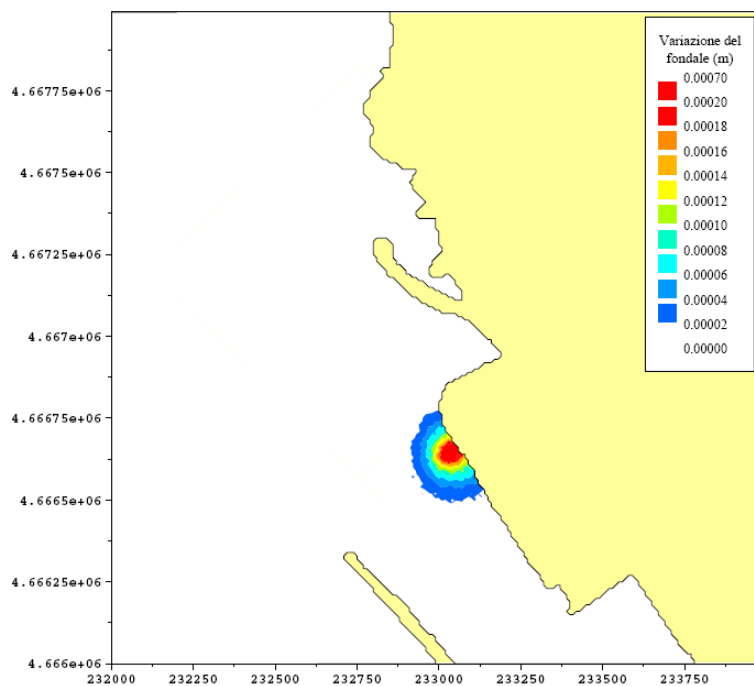


Figura 5.6.2-7: Limo disperso dal punto di dragaggio N.3

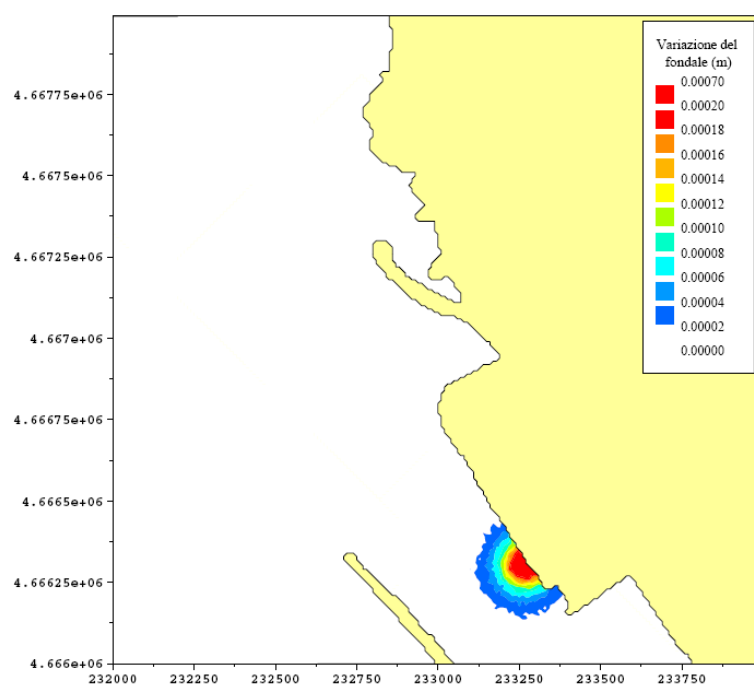


Figura 5.6.2-8: Limo disperso dal punto di dragaggio N.4

Le simulazioni eseguite per i due punti all'esterno del porto (Figure 5.6.2-5 e 5.6.2-6) presentano una plume con forma allungata che segue la direzione del flusso della corrente.

Nel primo punto il pennacchio ha un orientamento con direzione Nord/Sud (Figura 5.6.2-5) per effetto della corrente che si sviluppa parallela alla diga portuale. La zona interessata dal fenomeno di dispersione è pari a circa 110 m, mentre nella direzione Ovest/Est è pari a circa 80 m.

Il punto ubicato all'esterno nella parte a Nord (Figura 5.6.2-6) produce una plume con le seguenti dimensioni: circa 135 m in direzione Nordovest/Sudest, e circa 80m in direzione Est/Ovest.

I punti di Figura 5.6.2-7 e 5.6.2-8, all'interno del porto (rappresentano il fenomeno della tracimazione dalla cassa di colmata) hanno una superficie più regolare ed il picco delle strato depositato raggiunge i 0.03mm (0.0003m). La superficie interessata dal fenomeno ha in questi due casi un raggio pari a circa 145 m intono al punto di rilascio dei sedimenti.

La Figura 5.6.2-9 illustra l'area interessata dal fenomeno con il cerchio di colore rosso.

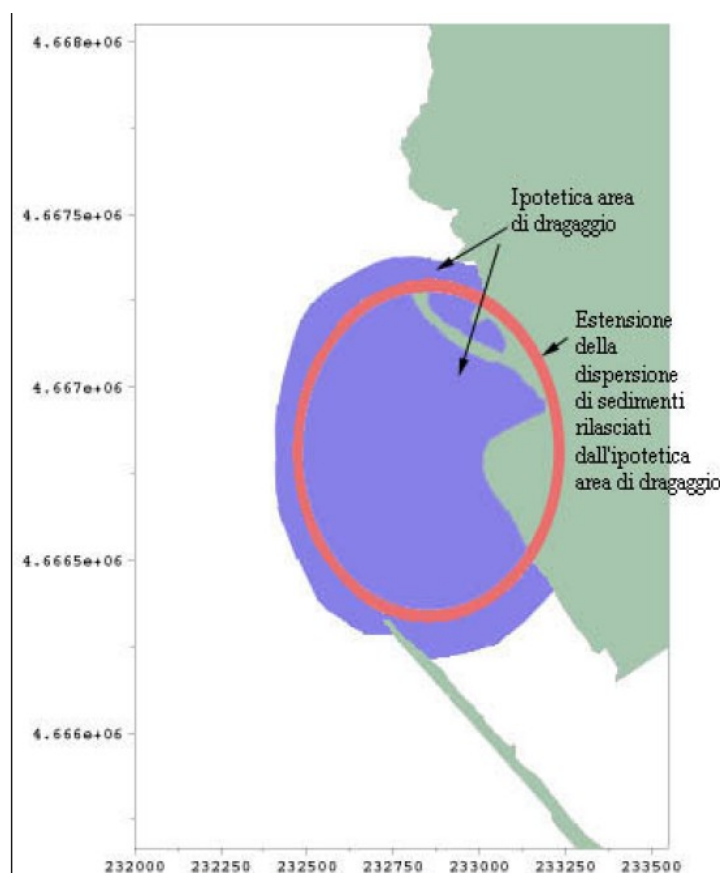


Figura 5.6.2-9: Limo – Area di influenza del dragaggio

I risultati per sedimenti limosi e vento da terra sono presentati nelle seguenti figure.

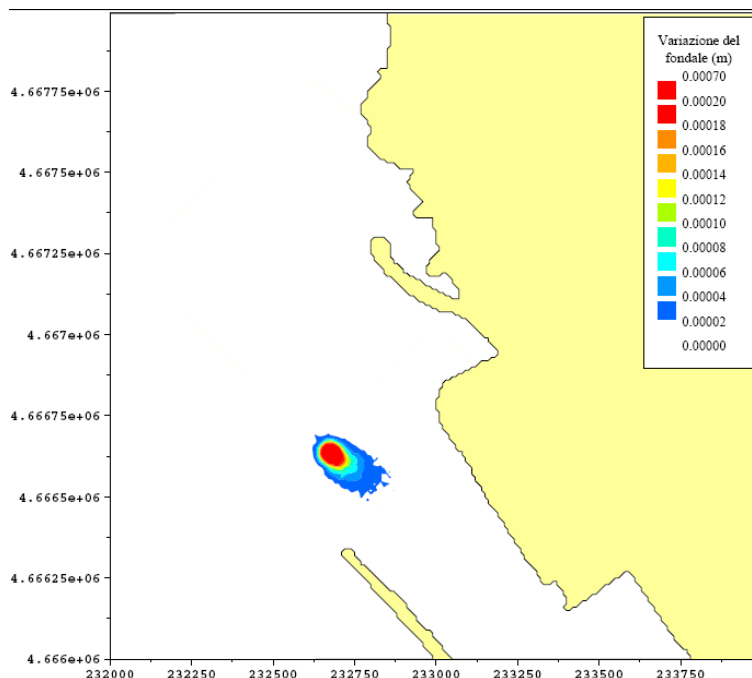


Figura 5.6.2-10: Limo disperso dal punto di dragaggio N.1 con vento da t

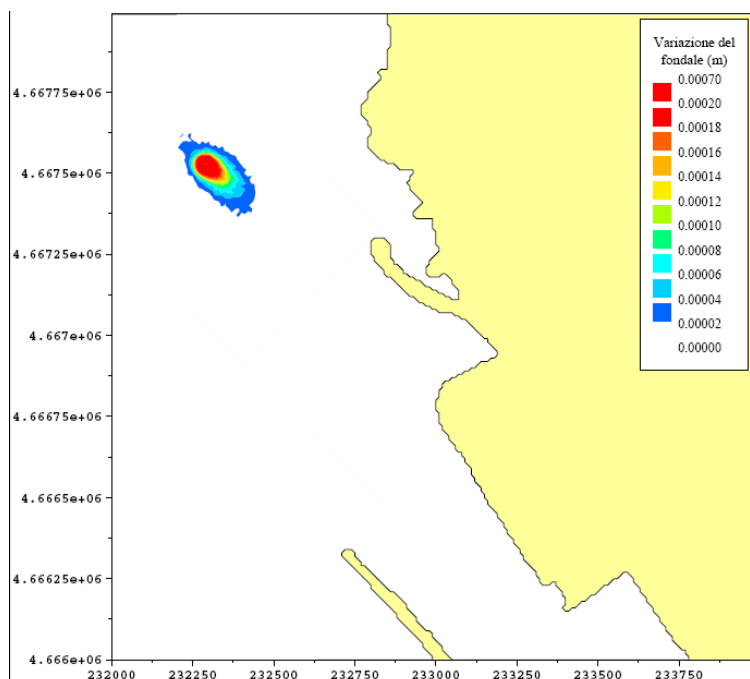


Figura 5.6.2-11: Limo disperso dal punto di dragaggio N.2 con vento da terra

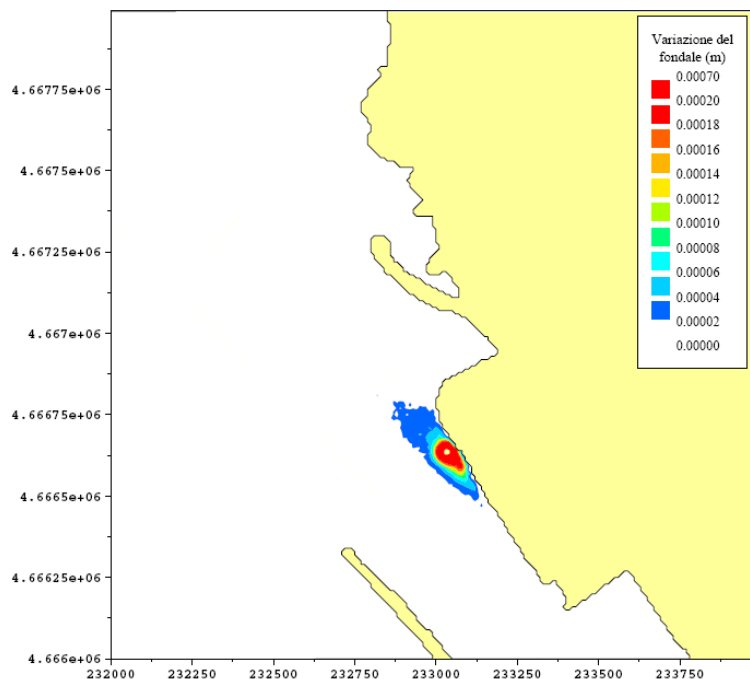


Figura 5.6.2-12: Limo disperso dal punto di dragaggio N.3 con vento da terra

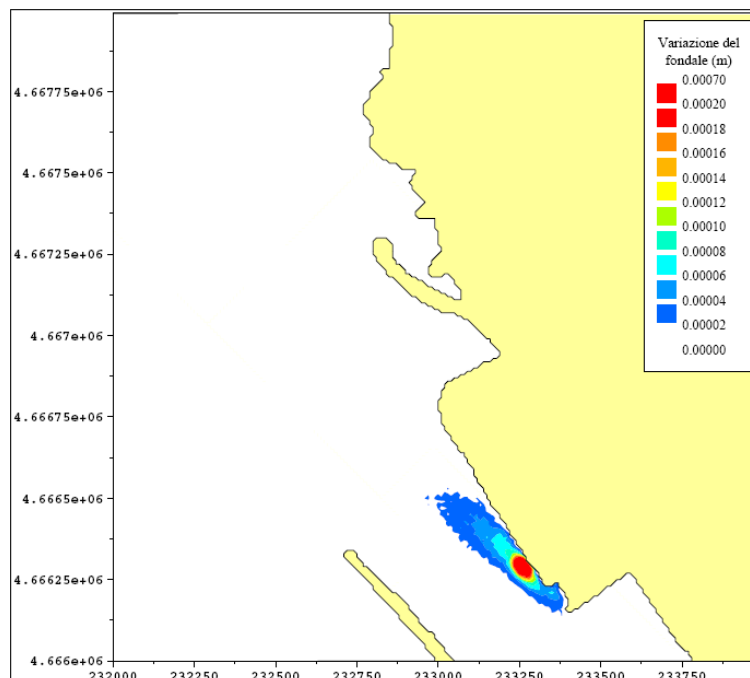


Figura 5.6.2-13: Limo disperso dal punto di dragaggio N.4 con vento da terra

I risultati per sedimenti limosi e vento da mare sono presentati nelle seguenti figure.

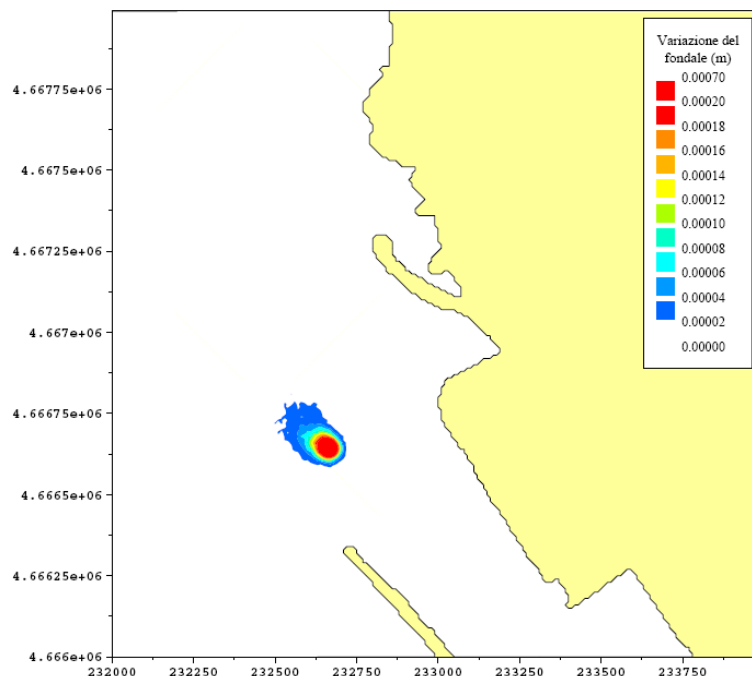


Figura 5.6.2-14: Limo disperso dal punto di dragaggio N.1 con vento da mare

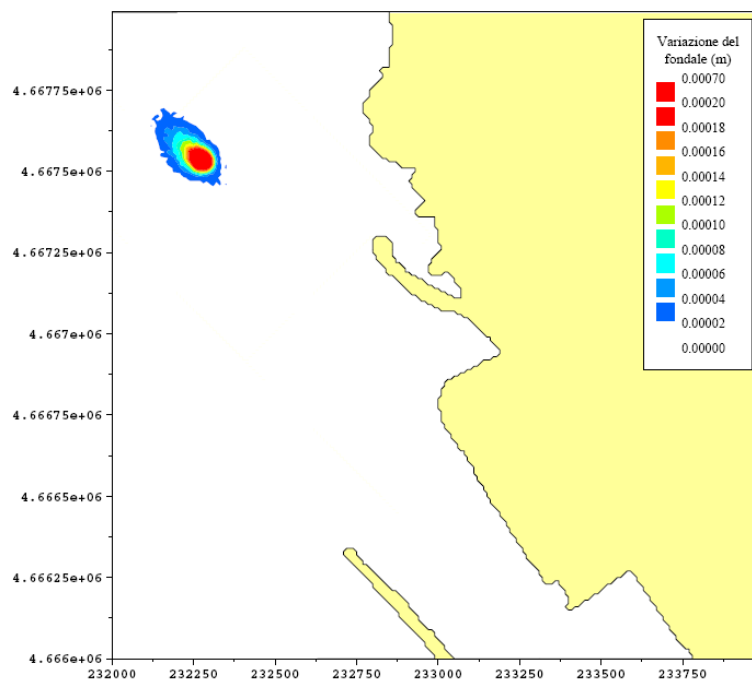


Figura 5.6.2-15: Limo disperso dal punto di dragaggio N.2 con vento da mare

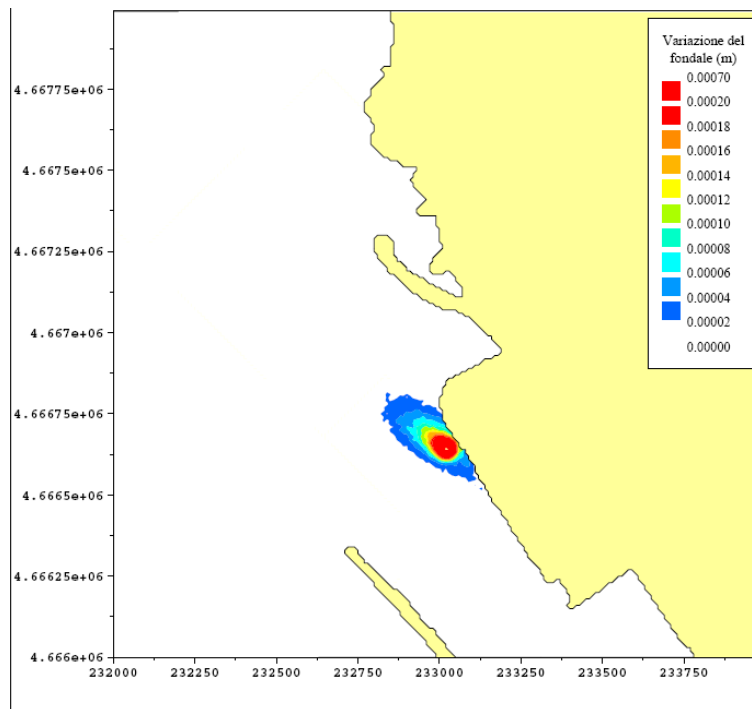


Figura 5.6.2-16: Limo disperso dal punto di dragaggio N.3 con vento da mare

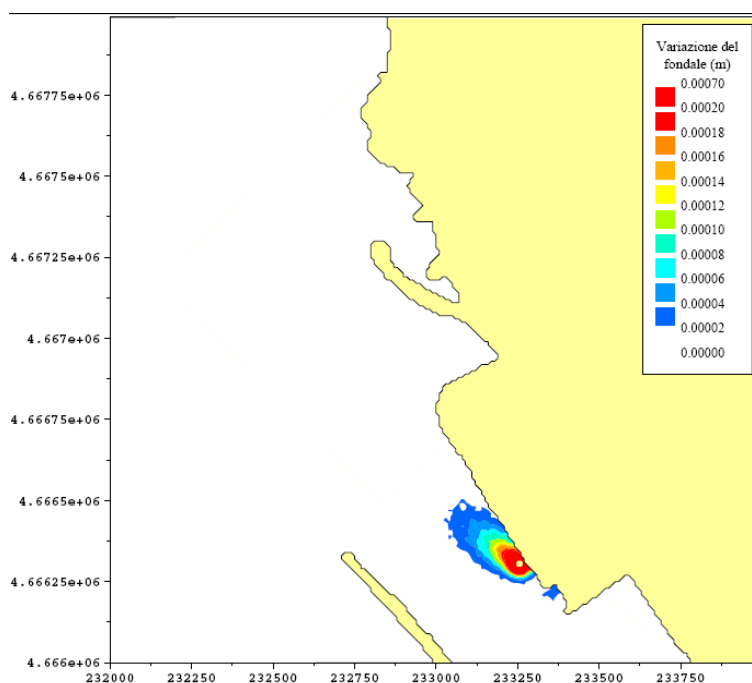


Figura 5.6.2-17: Limo disperso dal punto di dragaggio N.4 con vento da mare

Per le simulazioni eseguite con la condizioni di vento proveniente da terra (Figure 5.6.2-10 – 5.6.2-13) e da mare (Figure 5.6.2-14 – 5.6.2-17), l'ordine dei punti di emissione rispetto alla condizione in assenza di vento. La plume dei sedimenti in sospensione viene ora influenzata dalla direzione di provenienza del vento. I sedimenti fini vengono spostati ad una distanza superiore (circa 330m) e il pennacchio risultante ha una forma ovale allungata.

Le Figure 5.6.2-18 e 5.6.2-19 evidenziano nel cerchio di colore rosso la zona interessata dagli effetti del dragaggio.

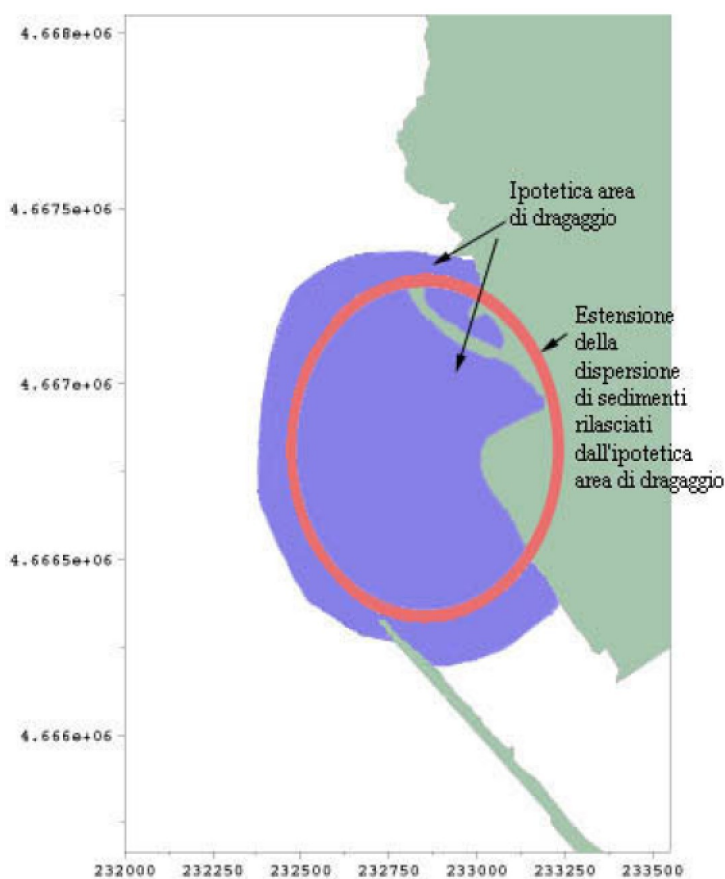


Figura 5.6.2-18 : Limo – Area influenzata dal dragaggio con vento da terra

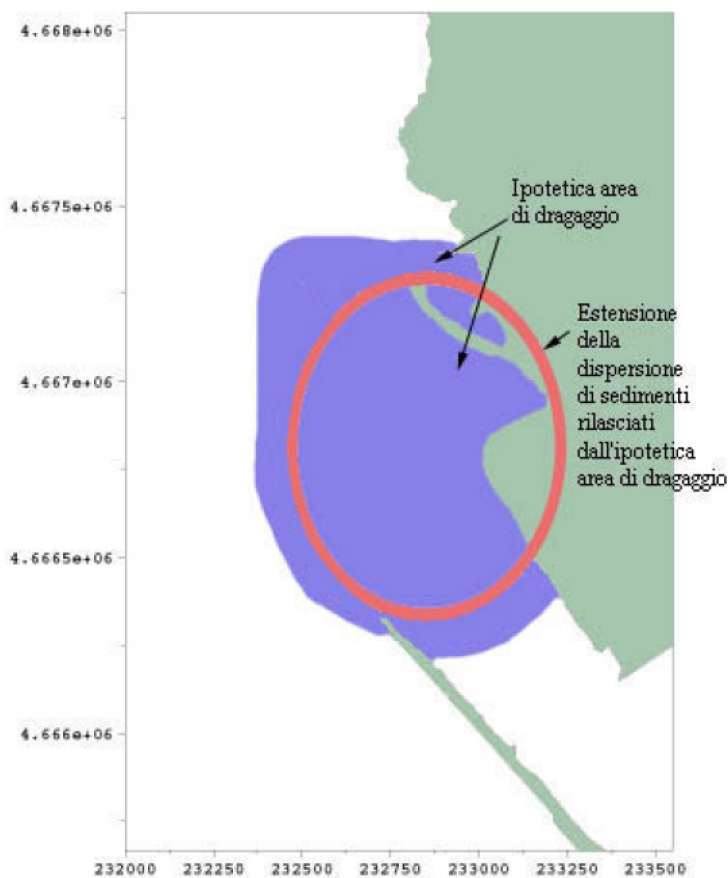


Figura 5.6.2-19 : Limone – Area influenzata dal dragaggio con vento da mare

5.7 Modelli matematici di dispersione del materiale sospeso Tuscia

Ai fini di ridimensionare il piano di monitoraggio relativo a macrozoobenthos e *Posidonia oceanica* nel tratto di costa compreso tra Marina di Tarquinia e Santa Severa, sono state utilizzate i risultati delle simulazioni numeriche in differenti scenari meteomarinari riprodotti attraverso modello PTM (Particle Tracking Module). Per ogni scenario sono state simulate la dispersione di materiali con granulometria pari a silt medio da un punto ubicato all'interno del Porto di Civitavecchia.

5.7.1 Materiali e metodi

Il PTM (Particle Tracking Module) è un modello lagrangiano di trasporto sviluppato dal CIRP (Coastal Inlets Research Program) e dal DOER (Dredging Operations and Environmental

Research Program) ad opera della U.S. Army Engineer Research and Development Center.

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

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

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

Le capacità del PTM includono:

- campo idrodinamico di input (attraverso l'interpolazione delle condizioni del flusso con la posizione di una data particella);
- mobilità (determinazione della mobilità di una data particella nelle condizioni idrodinamiche definite);
- traiettorie (determinazione della traiettoria di una determinata particella assumendo ininfluente l'inerzia della particella stessa).

Tali risultati possono essere ottenuti scegliendo tra tre differenti tipi di approcci: 2D, Q3-D e 3D.

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

La rappresentazione Q3-D si fonda sull'unione nell'utilizzo di funzioni empiriche del trasporto di particolato e l'applicazione delle funzioni relative ai fenomeni di avvezione, precipitazione e dispersione per riprodurre alcuni dei fenomeni fondamentali del caso del trasporto in forma tridimensionale. Vengono presi in considerazione alcune caratteristiche di tipo stocastico nel trasporto di particelle; i movimenti orizzontali delle particelle sono determinati a partire dall'elevazione delle stesse rispetto al fondo, in considerazione di fenomeni di mescolamento, deposizione e reimmissione. La posizione verticale delle particelle nel Q3-D viene utilizzata per la determinazione dell'evoluzione dei moti orizzontali tenendo conto di fattori quali la velocità di

caduta in funzione della granulometria e della dispersione.

PTM permette inoltre di scegliere tra diversi tipi di sorgenti di particelle; nel caso del presente lavoro è stata impostata una sorgente puntiforme di massa (Point Mass Rate Source) con un determinato livello emissione posizionata all'interno dell'area individuata per lo sversamento.

5.7.2 Risultati

Sono stati riprodotti quattro differenti scenari che riproducono le seguenti condizioni meteomarine:

- evento estremo: vento proveniente da Libeccio (225 °N) di 10 m/s a cui è stata associata un'onda dalla stessa direzione con altezza di 3 m (Fig. 5.7.2-1);
- evento estremo: vento proveniente da Maestrale (315 °N) di 10 m/s a cui è stata associata un'onda dalla stessa direzione con altezza di 3 m (Fig. 5.7.2-2);
- condizione reale estiva: dati di vento e onda relativi a una settimana nel mese di Luglio (Fig. 5.7.2-3);
- condizione reale invernale: dati di vento e onda relativi a una settimana nel mese di Dicembre (Fig. 5.7.2-4).

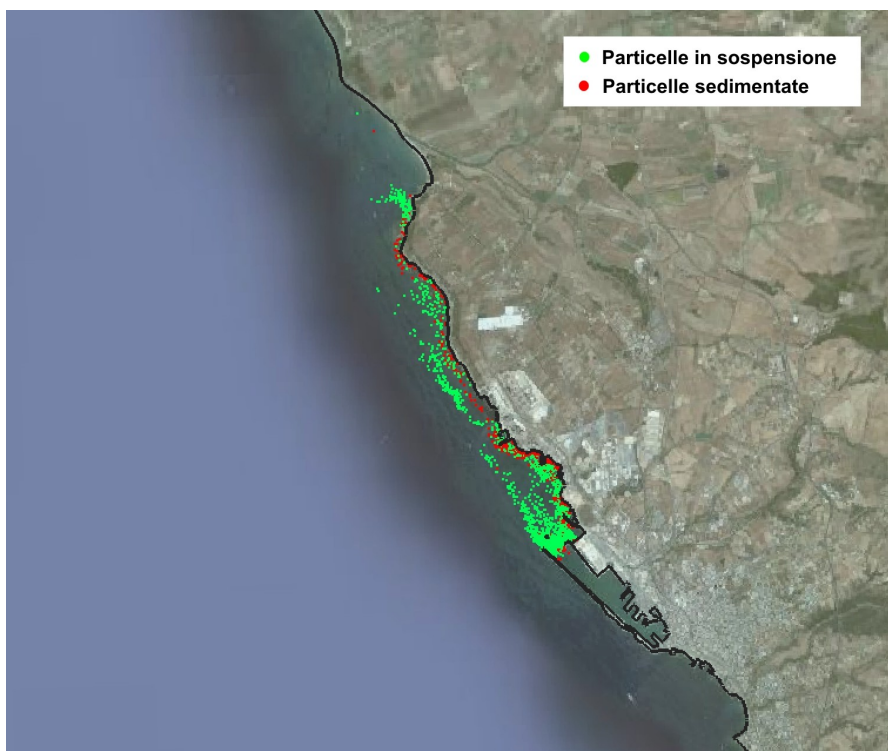


Figura 5.7.2-1 : Dispersione del sedimento proveniente dal dragaggio portuale in condizioni di Libeccio (L'immagine descrive la situazione dopo quattro giorni dal rilascio del sedimento)



Figura 5.7.2-2 : Dispersione del sedimento proveniente dal dragaggio portuale in condizioni di Maestrale (L'immagine descrive la situazione dopo quattro giorni dal rilascio del sedimento)



Figura 5.7.2-3 : Dispersione del sedimento proveniente dal dragaggio portuale in una tipica settimana estiva
(L'immagine descrive la situazione dopo quattro giorni dal rilascio del sedimento)

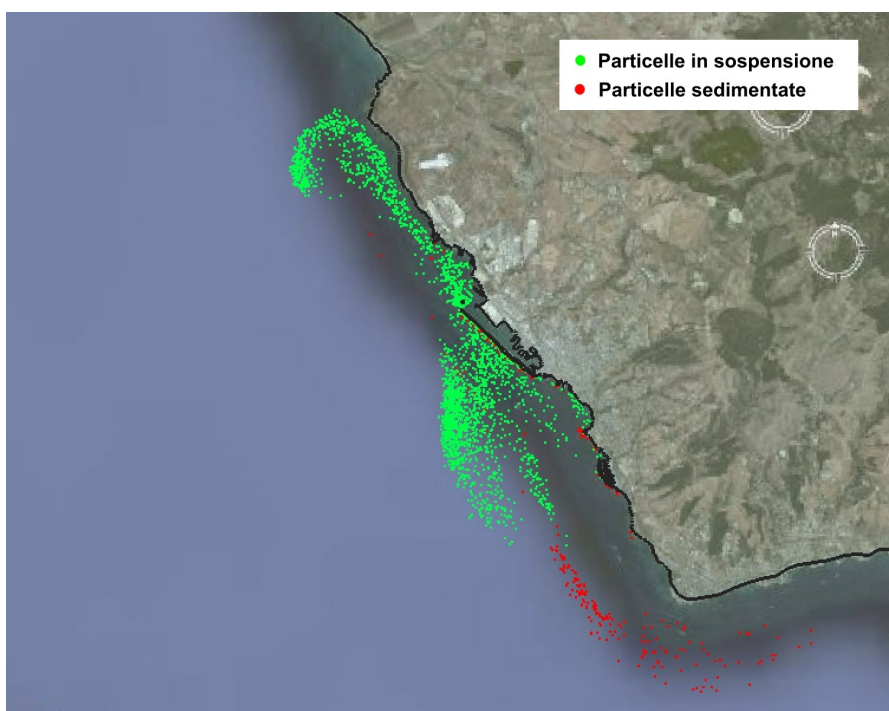


Figura 5.7.2-4 : Dispersione del sedimento proveniente dal dragaggio portuale in una tipica settimana invernale
(L'immagine descrive la situazione dopo quattro giorni dal rilascio del sedimento)

Le immagini evidenziano la presenza di aree critiche per quanto attiene alla deposizione del sedimento proveniente dalle operazioni di dragaggio portuali. Tali zone sono localizzate principalmente:

- a Nord del Porto di Civitavecchia nell'area antistante P.ta Mattonara, P.ta S.Agostino e P.ta della Quaglia (scenario estivo e di Libeccio);
- a Sud del Porto di Civitavecchia in corrispondenza di P.ta del Pecoraro e Capo Linaro (scenario invernale e di Maestrale).